

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Науковий вісник

Таврійського державного агротехнологічного університету



Випуск 13, том 1

Електронне наукове фахове видання

Запоріжжя – 2023 р.

УДК 60/68(08)
T 13

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету:
електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М.
Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. – Вип. 13, том 1. – 516 с.

ISSN 2220-8674

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 10 від 21 квітня 2023 р.

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, AGRIS, «Україна наукова», НБУ
ім. В. І. Вернадського.

Редакційна колегія:

Головний редактор

Кюрчев В. М. чл.-кор. НААН України, д.т.н.,
проф. (Україна)

Заступник головного редактора

Надикто В. Т. – чл.-кор. НААН України,
д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. – д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Волошина А. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

Beloev Hristo – Dr., professor (Bulgaria)

Ivanovs Semjons – PhD (Latvia)

Olt Jüri – PhD, professor (Eesti)

Pascuzzi Simone – Associate Professor (Italia)

Pavol Findura – PhD, professor (Slovakia)

Szafraniec Andrzej – Dr., professor (Poland)

Qawaqzeh Mohamed – PhD (Jordan)

Вершков О. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Гавриленко Є. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Галько С. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Гнагушенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Дідур В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Журавель Д. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Кувачов В. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Кузнецов М. П. – д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кюрчев С. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисенко В. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисенко О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисиченко М. Л. – д.т.н., проф. (Україна)

Ломейко О. П. – к.т.н., доц. (Україна)

Лубко Д. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Малкіна В. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Мацулевич О. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Мірошник О. О. – д.т.н., професор (Україна)

Паламарчук І. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Пріс О. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Самойчук К. О. – д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. – д.т.н., проф. (Україна)

Сидоренко О. С. – к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. – к.т.н., проф. (Україна)

Скляр Р. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Тітова О. А. – д.пед.н., проф. (Україна)

Холодняк Ю. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Шоман О. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Ялпачик В. Ф. – д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Адреса редакції ТДАТУ

Юридична:

пр. Б. Хмельницького 18,
м. Мелітополь, Запорізька обл.
72312 Україна

Фактична:

вул. Жуковського, 66,
м. Запоріжжя, Запорізька обл.
69600, Україна

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2023.

**ЗМІСТ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П.* 1
Методика розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора молока
- Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В., Лепеть Є. І.* 2
Аналітичний огляд методів моделювання засобів механізації обробітку ґрунту
- Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А.* 3
Вплив величини діаметрального зазору на кінематику руху внутрішнього ротора орбітального гідромотора
- Журавель Д. П., Бондар А. М.* 4
Обґрунтування впливу системи очищення відпрацьованих робочих рідин на надійність гідравлічних систем
- Попов С. В., Семенов А. О., Євменов Р. Ю.* 5
Експериментальне дослідження удосконаленої конструкції електропневмоклапану пневматичної системи автопоїзду-зерновозу
- Козаченко О. В., Сєдих К. В., Волковський О. М.* 6
Теоретичний аналіз силової взаємодії дискового робочого органу з ґрунтовим середовищем
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М.* 7
Методика моделювання та оптимізації структури посівних площ
- Захаров А. В., Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Сайчук О. В.* 8
Дослідження зношуючої здатності ґрунтів та її вплив на довговічність робочих органів ґрунтообробних машин
- Дідур В. В., Петриченко Є. А., Новик О. Ю.* 9
Ультразвук та його застосування в промисловості
- Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О.* 10
Ефект зберігання ягід після застосування холоду



- Комар А. С., Болтянський Б. В.* 11
Конструктивно-технологічне вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею
- Пилипака С. Ф., Клендій М. Б., Драган А. П.* 12
Моделювання та дослідження процесу транспортування сипучого матеріалу перевантажувальним патрубком гвинтового конвеєра
- Дідур В. В., В'юнник О. В., Дашивець Г. І.* 13
Аналіз методів очищення олії, віджатої з рослинної сировини
- Палянчика Н. О., Верхоланцева В. О., Червоткіна О. О., Ковальов О. О.* 14
Обґрунтування розробки лабораторної установки імпульсного гомогенізатора
- Ковальов О. О., Самойчук К. О., Фучаджи Н. О.* 15
Методологія дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока
- Самохвал В. А., Самойчук К. О.* 16
Дослідження ефективності роботи обладнання для інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Сукманов В. О., Мулько І. С.* 17
Дослідження реологічних та органолептичних властивостей курячих нагетсів з низьким вмістом хлориду натрію та додаванням яблука
- Кузьміна Т. О., Зубкова К. В., Стоянова О. В., Мамай О. І., Яковенко Т. О.* 18
Розробка рецептури фруктових джемів для профілактичного харчування відповідно до вимог міжнародних стандартів
- Крижак Л. М., Семко Т. В., Іваніщева О. А.* 19
Дослідження особливостей використання штамів пробіотиків у технології виробництва ферментованих м'ясних продуктів
- Болгова Н. В., Ільченко Н. О., Губа С. О., Соколенко В. В.* 20
Аналіз технології виробництва твердого сиру з рослинними добавками



- Горач О. О.* 21
Технологічне обладнання для заморожування плодово-ягідної продукції
- Дзюндзя О. В., Горач О. В., Резвих Н. І.* 22
Технологічні процеси та обладнання для гомогенізації майонезу
- Мельник О. Ю., Мазуренко І. К., Степанова Т. М., Кошель О. Ю., Сабадаш С. М.* 23
Особливості технології нового батончика желейного
- Priss O. P., Sukhenko V. Yu., Bulhakov P. O.* 24
Asparagus dry soluble and insoluble matter during storage
- Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В.* 25
Аналіз використання волоського горіха у харчовій промисловості
- Губа С. О., Бабенко Б. В., Болгова Н. В., Соколенко В. В.* 26
Дослідження рівня обізнаності молоді в питаннях впливу екологічної складової на безпеку харчової продукції
- Вареник А. С., Перцевой Ф. В.* 27
Використання продуктів переробки конопель у виробництві кондитерських борошняних виробів
- Дзюндзя О. В., Погрібняк О. А.* 28
Перспективи використання гарбуза у стравах для закладів ресторанного господарства
- Д. О. Майборода, О. О. Данченко, Л. М. Здоровцева, М. М. Данченко, Ю. В. Ніколаєва* 29
Регулювання якості м'яса гусей біологічно активними сполуками вівса посівного
- Ф. В. Перцевой, Т. І. Фотіна, О. Ю. Кошель, Т. І. Маренкова* 30
Розширення асортименту паштетів збагачених на культивовану грибку сировину при кейтеринговому обслуговуванні
- І. Л. Заморська* 31
Вміст та форми вологи у заморожених ягодах суниці садової функціонального призначення



- Igor Mazurenko, Yunbo Li, Shao Zhengzheng, Yangui Xie* 32
Flour and confectionery products for children. Requirements for quality and safety indicators

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Попова І. О., Чаусов С. В.* 33
Підвищення точності роботи мікропроцесорного пристрою захисту асинхронного двигуна
- Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В.* 34
Процес відновлення акумуляторної батареї комплексним підходом
- Волошин В. С., Азархов О. Ю.* 35
Роль екосистеми «людина» в енергообміні на планеті
- Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Мигуля В. В.* 36
Перспективи застосування автоматизованого проектування систем очищення змащувально-охолоджувальних рідин
- Бабич М. І., Коробка С. В.* 37
Методика обґрунтування параметрів турбіни та дериваційного каналу мікрогідроелектростанції для умов гірської річки
- Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В.* 38
Застосування методів енергозбереження у виробничій діяльності як інструмент підвищення енергоефективності
- Боярчук В. М., Коробка С. В., Стукалець І. Г., Бабич М. І., Сиротюк С. В.* 39
Методика дослідження ефективності електрохімічного акумулювання електроенергії
- Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В.* 40
Використання імпульсного електричного поля як спосіб покращення показників якості насіння

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Холодняк Ю. В., Гавриленко С. А., Зінов'єва О. Г.* 41
Розробка алгоритму моделювання кривих з заданими властивостями



Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г. 42
Проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу

Сіциліцин Ю. О. 43
використання AWS і Heroku для розробки паралельних і розподілених додатків в університетських лабораторіях



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-1

УДК 637.134

С. В. Кюрчев, д.т.н.

ORCID: 0000-0001-6512-8118

К. О. Самойчук, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

О. П. Ломейко, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7407-545X

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: 097-880-54-85

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА СТРУМИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Анотація. Для розробки та досліджень нових типів гомогенізаторів, а також теорій диспергування та гомогенізації мікроемульсій важливим етапом є розробка методики розрахунку експериментального зразка дослідного гомогенізатора. Але основною проблемою при проведенні досліджень струминних гомогенізаторів є відсутність єдиної теорії, та, як наслідок, методики розрахунку таких машин. Тому мета даної статті – розробити методику розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора молока. В результаті проведених досліджень розроблена установка, призначена для проведення експериментальних досліджень процесу струминного диспергування молочної емульсії. Приведено методику та здійснені основні розрахунки експериментального зразка струминного гомогенізатора. Наведені формули для визначення продуктивності, потужності приводу вершків та знежиреного молока, розміри камери гомогенізатора, параметри трубопроводів в залежності від необхідного розміру жирових кульок. Проведені дослідження дають можливість розробити конструкції гомогенізаторів та диспергаторів, енергоефективність яких значно перевищує існуючі.

Ключові слова: гомогенізація, диспергування молока, струминний гомогенізатор, експериментальний зразок, розрахунок.

Постановка проблеми. Експериментальний зразок струминного гомогенізатора призначено для проведення експериментальних досліджень процесу гомогенізації молока. Під гомогенізацією молока розуміють процес його обробки, який призводить до диспергування жирової (дисперсної) фази і рівномірного розподілу її по об'єму дисперсійної фази (молочної плазми) [1].

Областю застосування експериментального зразка струминного



гомогенізатора є експериментальні дослідження, що проводять для:

- перевірки та коригування (при необхідності) розроблених теоретичних залежностей процесу гомогенізації;
- знаходження оптимальних і раціональних параметрів гомогенізатора (конструктивних, технологічних, кінематичних та енергетичних);
- проведення випробувань для перевірки якісних характеристик молока.

В струминних апаратах для диспергування жирової фази молока гомогенізація відбувається за рахунок дії струменя (як вільного, так і затопленого) або потоку продукту. Гомогенізатори з роздільним подаванням жирової фази у потік знежиреного молока [2, 3], або знежиреного молока у струмінь вершків (Т-гомогенізатори) дозволяють досягти високої різниці швидкості між жировою кулькою та плазмою і за показником ефективності гомогенізації не поступаються клапанним [4]. За рахунок використання роздільної гомогенізації (обробка лише жирової фази) вони мають низькі енерговитрати (менше 2 кВт·год/т) [5]. Також вони можуть поєднувати операцію нормалізації молочної суміші за жирністю [6], але при цьому потребують попереднього розділення молока на вершки та знежирене молоко (сепарацію).

Порядок розробки експериментальної установки включає такі складові:

1. Створення схеми експериментальної установки та її складових частин.
2. Визначення наближених основних параметрів установки (продуктивність, дисперсність емульсії та потужність).
3. Технологічні, кінематичні, гідравлічні та енергетичні розрахунки вузлів установки.
4. Вибір готових (покупних) деталей та вузлів установки, які можна запозичити з інших, вже існуючих машин та апаратів.
5. Корекція розрахункових параметрів за умовами обраних покупних вузлів і деталей.
6. Розрахунки на міцність та витривалість деталей установки.
7. Створення креслеників загального виду установки.
8. Створення креслень деталей.
9. Збирання експериментальної установки.

Основною проблемою при проведенні досліджень струминних гомогенізаторів є відсутність єдиної теорії, та, як наслідок, методики розрахунку таких машин. Для проведення експериментальних досліджень необхідним етапом є розробка та створення експериментального зразка. Для цього потрібно знати орієнтовні технологічні, конструктивні, гідравлічні та енергетичні параметри



установки. Основні труднощі, які потрібно вирішити при розробці експериментального зразка: необхідність корекції розрахункових параметрів, зважаючи на покупні елементи установки й необхідність врахування досить широкого діапазону змінних факторів процесу гомогенізації.

Аналіз останніх досліджень. Перед обробкою в експериментальному зразку струминного гомогенізатора молоко повинно бути розділено на вершки та знежирене молоко. Вони мають відповідати умовам ДСТУ ISO 7208:2002 «Молоко знежирене, сироватка та маслянка» та ДСТУ 8553:2015 «Молоко-сировина та вершки-сировина. Правила приймання, відбирання та готування проб до контролювання».

В перспективі, експериментальний зразок струминного гомогенізатора з незначним доопрацюванням, може бути використаний для проведення експериментальних досліджень процесу струминної гомогенізації не тільки молока, але й соків та соковмісних напоїв, сумішей для морозива, майонезів, маргаринів і кетчупів, сумішей для відгодовування телят, тощо.

Технічні характеристики експериментального зразка, що розробляється:

- продуктивність, кг/год – 500;
- тиск насосу подачі знежиреного молока, максимальний, МПа – 5,4;
- потужність електродвигуна приводу подачі знежиреного молока, кВт – 1,5;
- частота обертання валу насоса подачі знежиреного молока, об/хв. – 1400;
- тиск насосу подачі вершків максимальний, МПа – 6;
- потужність електродвигуна приводу подачі вершків, кВт – 0,3;
- середній розмір жирових кульок після обробки, мкм – до 0,8;
- маса установки, кг – 80;
- габаритні розміри, довжина x ширина x висота, мм – 900 x 580 x 420.
- діаметр камери у місці подачі вершків, мм – 2;
- діаметр каналу подачі вершків, мм – 1;
- питомі енерговитрати в розрахунковому режимі, кВт/т, – 0,6.

Для розрахунків використовувались аналітичні дослідження струминної гомогенізації молока, проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного. Крім того використовувались класичні залежності гідравліки та технічної механіки.

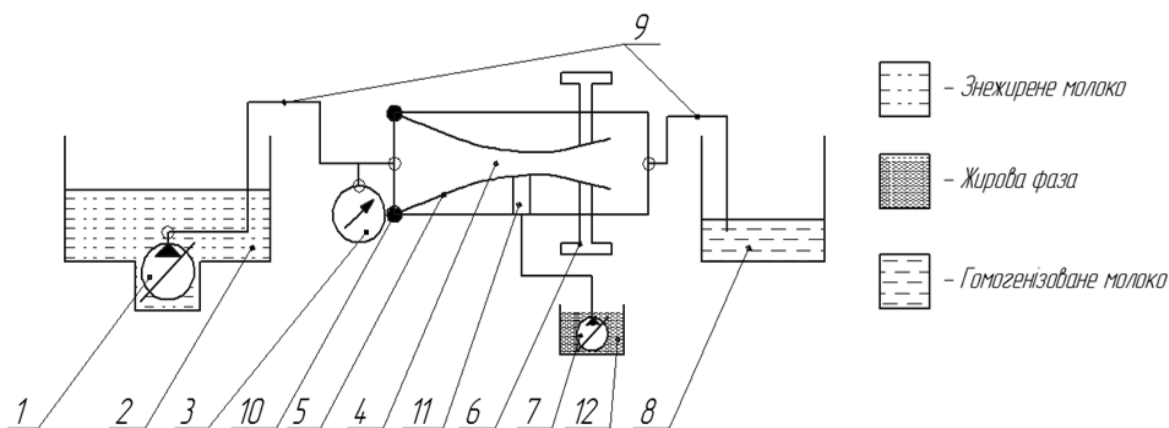
Формулювання мети статті. Мета даної статті – розробити методику розрахунку експериментального зразка струминного

гомогенізатора молока. Така методика необхідна дослідникам на етапі планування експериментальних досліджень процесів диспергування та гомогенізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити вихідні дані та умови до експериментального зразка;
- описати конструкцію та принцип дії експериментального зразка струминного гомогенізатора;
- розробити методику розрахунку основних технологічних параметрів експериментальної установки;
- розробити методику розрахунку на міцність основних вузлів та деталей установки.

Основна частина. Схема зразка струминного гомогенізатора для проведення експериментальних досліджень представлена на рисунку 1.



1 – насос роторного типу; 2 – ємність для знежиреного молока; 3 – манометр; 4 – камера гомогенізації; 5 – направляючі; 6 – регулювальні тяги; 7 – насос подачі жирової фази; 8 – ємність для приймання готового продукту; 9 – трубопроводи; 10 – шарніри; 11 – канал подачі вершків; 12 – ємність для вершків.

Рисунок 1. Схема експериментального зразка струминного гомогенізатора молока

Пристрій працює наступним чином. З ємності 2 знежирене молоко через насос 1 по трубопроводах надходить до камери гомогенізації 4. З ємності для вершків 12, насосом 7 через канал 11 жирова фаза подається до центральної зони камери гомогенізації у потік знежиреного молока, де відбувається процес диспергування.

Для підвищення потоку знежиреного молока в камері гомогенізації встановлені направляючі потоку 5, виготовлені з нержавіючої сталі, які закріплені шарнірами 10 та мають регулювальні тяги для можливості регулювання відстані між направляючими. Корпус камери гомогенізації виготовлено з органічного скла для можливості спостереження за процесом. Манометр 3 необхідний для



контролю значень тиску рідини. У ємності 2 передбачено отвір для зливу залишків продукту. Готовий продукт зливається в ємність 8.

Вихідними даними для розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора є необхідний середній діаметр жирових кульок молока d_{cp} , що регламентується технічним завданням ($d_{cp} < 1$ мкм); жирність вершків J_6 і необхідна жирність нормалізованого молока $J_{н-м}$, продуктивність гомогенізатора Q_2 [7, 8].

Максимальний ступінь диспергування мають клапанні гомогенізатори, середній діаметр жирових кульок після обробки в яких складає 0,8 мкм. Такої якості достатньо для технологічних процесів виробництва молочних продуктів з використанням гомогенізованого молока. Тому це значення приймаємо за розрахункове. Для експериментального зразку продуктивність, з метою економії сировини для досліджень, необхідно підтримувати на мінімальному рівні. З технічного завдання обираємо $Q_2 = 500$ кг/год. Жирність молока та вершків, найбільш типові значення, відповідно 3,2% та 20% [9].

Визначаємо подачу вершків Q_6 і знежиреного молока Q_{zn}

$$Q_{zn} = \frac{Q_2 (J_6 - J_{н-м})}{J_6 - J_{zn}}, \quad (1)$$

$$Q_6 = \frac{Q_2 (J_{н-м} - J_{zn})}{J_6 - J_{zn}}, \quad (2)$$

де J_{zn} - жирність знежиреного молока, %.

$$Q_{zn} = \frac{500(20 - 3,2)}{20 - 0,05} = 421 \text{ кг/год.}$$

$$Q_6 = \frac{500(3,2 - 0,05)}{20 - 0,05} = 79 \text{ кг/год.}$$

Необхідну швидкість знежиреного молока для отримання продукту з заданим середнім розміром жирових часток знаходимо з відомої формули

$$v_{zn} = \sqrt{\frac{We_k \cdot \sigma_{ж-н}}{2 \rho_{пл} \cdot d_{cp} \cdot k_{щ}^2}}, \quad (3)$$

де We_k – критичне значення критерію Вебера;

$\sigma_{ж-н}$ – поверхневий натяг жирової кульки в плазмі молока, Н/м;

$\rho_{пл}$ – густина молочної плазми, кг/м³;

$k_{щ}$ – коефіцієнт щільної гомогенізації.

$$v_{zn} = \sqrt{\frac{28 \cdot 0,1}{2 \cdot 1035 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8^2}} = 50 \text{ м/с.}$$

Параметри циліндричної камери гомогенізації в місці найбільшого



звуження струминного гомогенізатора

$$v_{zn} = \frac{Q_{zn}}{\varepsilon_k \cdot S}, \quad (4)$$

де ε_k – коефіцієнт звуження потоку;

$$S = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4}. \quad (5)$$

Тоді внутрішній діаметр камери щільного гомогенізатора в місці найбільшого звуження буде дорівнювати [10, 11]

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{zn}}{\rho_{zn} \cdot 3600 \cdot \varepsilon_k \cdot \pi \cdot v_{zn}}}. \quad (6)$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 421}{1035 \cdot 3600 \cdot 0,9 \cdot 3,14 \cdot 50}} = 0,002 \text{ м.}$$

Для розрахунків експериментального зразка ширину кільцевої щілини для подачі вершків, виходячи з результатів аналітичних досліджень, приймемо $h=1$ мм. Але для можливості зміни цього параметра при проведенні експериментальних досліджень, мінімальну ширину приймемо 0,6 мм.

Швидкість подачі жирової фази у місці входження до руху потоку знежиреного молока можна знайти зі співвідношення [12, 13]

$$v_g = \frac{Q_g}{\rho_g \cdot 3600 \cdot \pi \cdot d_k \cdot h}. \quad (7)$$

$$v_g = \frac{79}{960 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,002 \cdot 0,0006} = 6 \text{ м/с.}$$

Для гарантованого забезпечення подачі знежиреного молока та вершків, слід обирати насоси об'ємного типу дії, надлишкові тиски для підбору яких розраховуються як

$$\Delta p_{zn} = \frac{\rho_{zn} \cdot v_{zn}^2}{2\varphi^2}, \quad (8)$$

$$\Delta p_g = \frac{\rho_g \cdot v_g^2}{2\varphi^2} + \Delta p_{zn}, \quad (9)$$

де φ_k – коефіцієнт швидкості потоку.

$$\Delta p_{zn} = \frac{1035 \cdot 50^2}{2 \cdot 0,85^2} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_g = \frac{960 \cdot 6^2}{2 \cdot 0,85^2} + 1,8 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Потужності насосів, що використовуються для приводу насосів подачі знежиреного молока та вершків можна визначити з залежностей



[14, 15]

$$P_{\epsilon} = \frac{Q_{\epsilon} \cdot \Delta p_{\epsilon}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (10)$$

$$P_{zn} = \frac{Q_{zn} \cdot \Delta p_{zn}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_n}, \quad (11)$$

де η_{ϵ} , η_n – відповідно коефіцієнти корисної дії насосів подачі вершків і знежиреного молока.

$$P_{\epsilon} = \frac{79 \cdot 2 \cdot 10^6}{3600 \cdot 960 \cdot 0,8} = 60 \text{ Вт.}$$

$$P_{zn} = \frac{421 \cdot 1,8 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1035 \cdot 0,8} = 254 \text{ Вт.}$$

Установка, що розробляється призначена для проведення експериментальних досліджень процесу гомогенізації, тобто необхідний тиск повинен бути в 3 рази більше, за мінімальний для можливості варіювання параметрами гомогенізатора, тобто 6 МПа для подачі вершків та 5,4 МПа для насоса подачі знежиреного молока [16, 17]. Тоді потужність електродвигунів для приводу подачі вершків та знежиреного молока

$$P_{\text{дв}\epsilon} = \frac{Q_{\epsilon} \cdot \Delta p_{\epsilon}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon} \eta_{\text{дв}\epsilon}}, \quad (12)$$

$$P_{\text{дв}zn} = \frac{Q_{zn} \cdot \Delta p_{zn}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_n \eta_{\text{дв}zn}}, \quad (13)$$

де $\eta_{\text{дв}\epsilon}$, $\eta_{\text{дв}zn}$ – коефіцієнти корисної дії двигунів приводу насосів подачі вершків і знежиреного молока.

$$P_{\text{дв}\epsilon} = \frac{79 \cdot 6 \cdot 10^6}{3600 \cdot 960 \cdot 0,8 \cdot 0,7} = 257 \text{ Вт.}$$

$$P_{\text{дв}zn} = \frac{421 \cdot 5,4 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1035 \cdot 0,8 \cdot 0,7} = 1100 \text{ Вт.}$$

Для приводу насоса подачі вершків обираємо електронасос (насос, спущений з електродвигуном) REOF 10A, потужністю 300 Вт [18].

Для приводу насоса знежиреного молока використовується електричний двигун АІР80В4 з частотою обертання 1400 об/хв та потужністю 1,5 кВт.

Таким чином загальна максимальна споживана потужність експериментального зразка гомогенізатора становить $1100+257=1357$ Вт. Загальна розрахункова споживана потужність $60+254=314$ Вт.

Питомі витрати енергії гомогенізатора при розрахунковому режимі роботи [8]



$$E_{num} = \frac{P}{Q_2} \quad (14)$$

$$E_{num} = \frac{314}{500} = 0,6 \text{ Вт/кг.}$$

або 0,6 кВт/т молока.

Вибір діаметрів трубопроводів залежить від витрати продукту, що транспортується та його виду. Швидкість руху продукту по трубах залежить від її в'язкості та повинна забезпечувати ламінарний режим руху потоку. Такий режим забезпечується при русі молока зі швидкістю 0,5 – 1,5 м/с, вершків – 0,5 м/с.

При перекачування знежиреного молока діаметр трубопроводу, який з'єднує насос з форсунками $d_{Тзн}$, м, розраховується за формулою

$$d_{Тзн} \geq 2 \sqrt{\frac{Q_{зн}}{3600 \cdot \rho_{зн} \cdot \pi \cdot v_{зн}}} \quad (15)$$

$$d_{Тзн} \geq 2 \sqrt{\frac{421}{3600 \cdot 1035 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,010 \text{ м.}$$

Тобто внутрішні діаметри трубопроводів подачі знежиреного молока повинні бути більше 10 мм.

Аналогічно розраховуємо мінімальний діаметр трубопроводів для подачі вершків

$$d_{Тв} \geq 2 \sqrt{\frac{Q_v}{3600 \cdot \rho_v \cdot \pi \cdot v_v}} \quad (16)$$

$$d_{Тв} \geq 2 \sqrt{\frac{79}{3600 \cdot 960 \cdot 3,14 \cdot 0,5}} = 0,0076 \text{ м.}$$

Тобто внутрішні діаметри трубопроводів подачі вершків повинні бути більше 8 мм.

Фрагмент кресленника розробленого струминного гомогенізатора молока показаний на рисунку 2.

Основні характеристики розробленого пристрою: продуктивність – 500 кг/год, питомі енерговитрати – 0,6 кВт/т, маса – 80 кг, габаритні розміри 900 мм x 580 мм x 420 мм,

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблена методика розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора молока. Такий зразок призначений для проведення експериментальних досліджень процесу струминного диспергування молочної емульсії. Приведено опис принципу дії гомогенізатора, що

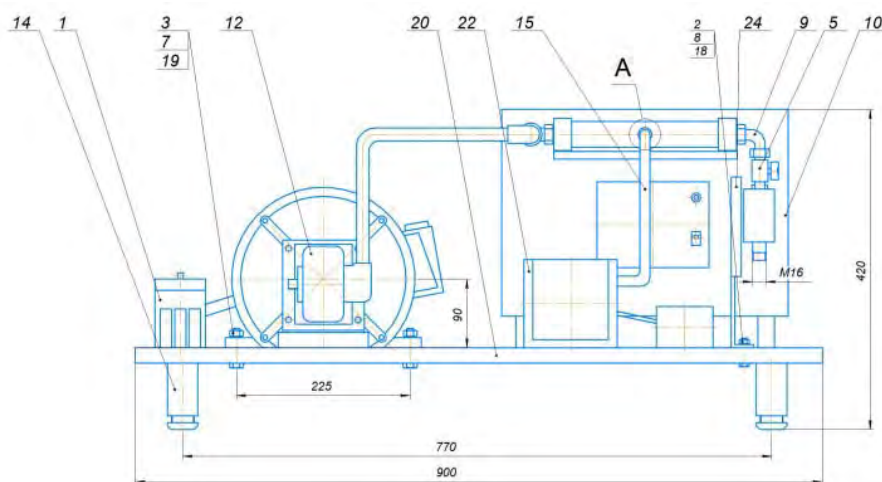


Рисунок 2. Фрагмент кресленика розробленого струминного гомогенізатора молока

базується на подачі тонкого струменя вершків у швидкісний потік знежиреного молока. Розраховані його технічні характеристики: продуктивність – 500 кг/год, питомі енерговитрати – 0,6 кВт/т, маса – 80 кг, габаритні розміри 900 мм х 580 мм х 420 мм, які не мають відхилень від вимог, встановлених технічним завданням.

Приведено методику та здійснені основні розрахунки експериментального зразка струминного гомогенізатора. В якості приводу для роботи насоса подачі вершків було обрано електронасос (насос, поєднаний з електродвигуном) REOF 10A, потужністю 300 Вт. Для приводу насоса знежиреного молока обрано електричний двигун АІР80В4 з частотою обертання 1400 об/хв та потужністю 1,5 кВт. Загальна максимальна споживана потужність експериментального зразка гомогенізатора становить близько 1,4 кВт.

Проведені дослідження дають можливість розробити конструкції гомогенізаторів та диспергаторів, енергоефективність яких значно перевищує існуючі. Причому не тільки в харчовій і переробній, але і хімічній, фармацевтичній, сільськогосподарській та багатьох інших галузях промисловості. Розроблена методика розрахунку гомогенізатора завдяки підвищеній енергоефективності буде затребувана підприємствами-виробниками обладнання для харчової промисловості.

Список використаних джерел

1. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип.16. Т.1. С. 9–15.

2. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Кюрчев С. В.,



Олексієнко В. О., Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О. Протитечійно-струминна гомогенізація молока: монографія. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2017. 188 с.

3. Нужин, Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монографія. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с

4. Самойчук К. О., Бойко В. С., Олексієнко В. О., Петриченко С. В., Тарасенко В. Г., Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О., Ковальов О. О., Задосна Н. О. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник. К : ПрофКнига, 2020. 428 с.

5. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази. *Обладнання та технології харчових виробництв: зб. наук. праць. Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського*. Донецьк: ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2012. Вип. 28. С. 42–46.

6. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. Вип. 11. Т.6. С. 77–83.

7. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Султанова В. О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип.15. Т.1. С. 240–248.

8. Ялпачик В. Ф., Ломейко О. П., Циб В. Г., Ялпачик Ф. Ю., Самойчук К. О., Олексієнко В. О., Шпиганович Т. О. Монтаж експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств. Навчальний посібник: Практикум. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2014. 235 с.

9. Ялпачик В. Ф., Буденко С. Ф., Ялпачик Ф. Ю., Гвоздєв О. В., Циб В. Г., Бойко В. С., Самойчук К. О., Олексієнко О. В., Клевцова Т. О., Паляничка Н. О. Розрахунки обладнання харчових виробництв: навч. посібник. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2014. 264 с.

10. Ялпачик В. Ф., Загорко Н. П., Паляничка Н. О., Буденко С. Ф., Самойчук К. О., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Олексієнко В. О., Циб В. Г. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва: Лабораторний практикум. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 274.

11. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR J. Eng.* 2014, 4, 1–8. <https://doi.org/10.9790/3021-04540108>

12. Huppertz T. Homogenization of Milk Other Types of Homogenizer



(High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). In *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2011, 761–764. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00226-0>

13. Ciron C., Gee V., Kelly A., Auty M. Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *Int. Dairy J.* 2010, 20, 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.018>

14. Håkansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C., Bergenståhl B. Velocity measurements of turbulent two-phase flow in a high-pressure homogenizer model. *Chem. Eng. Commun.* 2013, 200, 93–114. <https://doi.org/10.1080/00986445.2012.691921>

15. Yong A., Islam M., Hasan N. The Effect of pH and High-Pressure Homogenization on Droplet Size. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 2017, 35, 1–22. <https://doi.org/10.26776/IJEMM.02.04.2017.05>

16. Wang X., Wang Y., Li F., Li L., Ge X., Zhang S., Qiu T. Scale-up of microreactor: Effects of hydrodynamic diameter on liquid–liquid flow and mass transfer. *Chem. Eng. Sci.* 2020, 226, 115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>

17. Valencia-Flores D., Hernández-Herrero M., Guamis B., Ferragut V. Comparing the Effects of Ultra-High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Phys, and Chem Quality of Almond Beverages. *J. Food Sci.* 2013, 78, 199–205. https://doi.org/10.1111/1750_3841.12029

18. Acharyaa S., Mishrab V., Patelc J. Enhancing the mixing process of two miscible fluids: A review. *AIP Conference Proceedings* 2021, 2341, 030025 <https://doi.org/10.1063/5.0051818>

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи "Розроблення технології переробки молочних продуктів з використанням нових типів гомогенізаторів", яка фінансується МОН за договором № ДЗ/132 - 2022.

Стаття надійшла до редакції 20.02.2023 р.

S. Kiurchev, K. Samoichuk, O. Lomeiko, O. Kovalov
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

CALCULATION METHODOLOGY OF THE EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE STREAM MILK HOMOGENIZER

Summary

For the development and research of new types of homogenizers, as well as the



theories of dispersion and homogenization of microemulsions, an important stage is the development of a methodology for calculating an experimental sample of an experimental homogenizer. But the main problem in conducting research on jet homogenizers is the lack of a single theory, and, as a result, the methodology for calculating such machines. Therefore, the purpose of this article is to develop a methodology for calculating an experimental sample of a jet milk homogenizer. As a result of the conducted research, an installation designed for conducting experimental studies of the process of jet dispersion of milk emulsion was developed. The description of the principle of action of the homogenizer, which is based on the introduction of a thin stream of cream into a high-speed flow of skimmed milk, is given. Its technical characteristics are calculated. The methodology and basic calculations of the experimental sample of the jet homogenizer are given. Formulas for determining productivity, cream and skimmed milk drive power, homogenizer chamber dimensions, pipeline parameters depending on the required size of fat balls are given. The total maximum power consumption of the experimental sample of the homogenizer is about 1.4 kW.

The conducted research makes it possible to develop the designs of homogenizers and dispersers, the energy efficiency of which significantly exceeds the existing ones. And not only in food and processing, but also in chemical, pharmaceutical, agricultural and many other industries. The developed method of calculating the homogenizer due to increased energy efficiency will be in demand by enterprises producing equipment for the food industry.

Key words: homogenization, dispersion of milk, jet homogenizer, experimental sample, calculation



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-2

УДК 631.31

Б. А. Волик, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-9861-3723

Г. В. Теслюк, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-4541-5720

А. В. Коновий

ORCID: 0000-0002-2155-0795

Є. І. Лепеть

ORCID: 0000-0002-0482-538X

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

e-mail: volikb@ukr.net, тел.: 097-072-92-85

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Анотація. В статті розглянуті загальні принципи розробки ґрунтообробних знарядь. Показано що всі етапи розробки і проектування машин в сукупності являють собою послідовну систему модельних досліджень. Проаналізовано можливості кожного з видів моделювання, в тому числі і в разі сумісного використання. Обґрунтована перспективність залучення до процесу розробки методів біоніки і фізичного моделювання. Необхідна умова функціонування обох моделей – це наявність адекватної математичної моделі взаємодії з ґрунтом. В разі біонічних досліджень математична модель дозволяє виконати адаптацію до ґрунтового середовища, в разі фізичного – визначити раціональні критерії подібності.

Слід відмітити що жодна з моделей не дозволяє отримати прогнозовані якісні показники кришення і розпушення

Ключові слова: модельні дослідження, біоніка, фізичне моделювання адаптація до середовища, критерій подібності. Критерій раціональності конструкції.

Постановка проблеми. Процес розробки машин має певні закономірності поетапного переходу від формування загальної концепції до отримання технічного рішення натурального зразка машини. Всі етапи можна розглядати як окремі види моделювання. Розглянемо процес послідовно. Перш за все, необхідно проаналізувати існуючий технологічний процес, що виконує машина і окреслити недоліки. Фактично розглядаються зовнішні прояви взаємодії робочого органу з оброблюваним середовищем, тобто досліджується стохастична модель процесу. За результатами приймається рішення по модернізації робочого органу, або заміні його іншим, більш досконалим. Для цього потрібен генератор ідеї, який би видав адекватне технічне рішення, яке

в подальшому буде адаптоване під конкретний технологічний процес за допомогою як натурних, так і модельних досліджень. В якості генератора такого рішення найчастіше виступає сам розробник машини і робить він це на основі власного досвіду і аналізу відомих технічних рішень, Етап можна розглядати як окремий вид моделювання, а саме: інтуїтивно-аналоговий. Виконати це може тільки розробник на основі власної інтуїції і аналізу відомих конструктивних рішень.

Інтуїтивно-аналітичний аналіз – це по суті традиційна дослідницька практика, у ході якої спеціаліст, використовуючи свої знання, логіку і інтуїцію, створює модель досліджуваного процесу і робочого органу для його виконання. Як правило ця модель розробляється на основі систематизації параметрів досліджуваного явища і емпіричного масиву інформаційних даних, що відносяться до нього. Наступні етапи являють собою процес адаптації прийнятого конструктивного рішення до умов реальної експлуатації. Як показує аналіз існує потреба в систематизації складових загального процесу розробки робочого органу, що дозволить раціоналізувати процес.

Аналіз досліджень. В цілому узагальнена схема досліджень може бути представлена наступним чином, рис. 1.

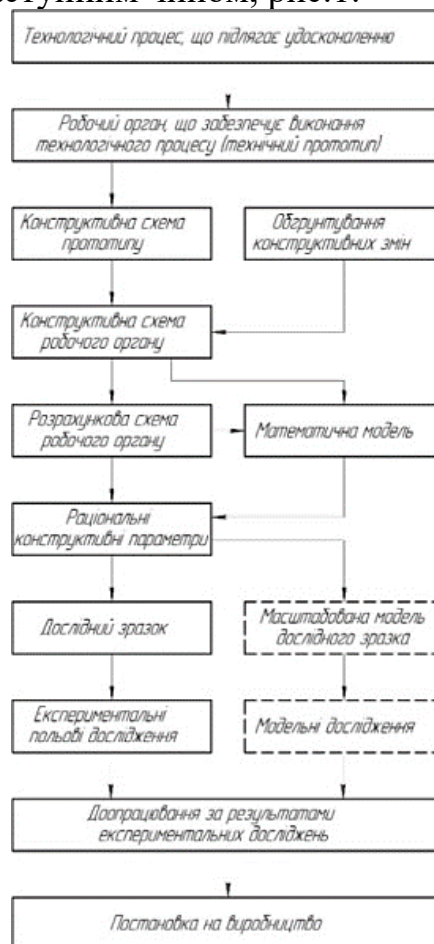


Рисунок 1. Зміст і послідовність операцій по розробці робочого органу

Представлена на рис.1 функціональна схема сама по собі є моделлю технологічного процесу розробки робочого органу і машини в цілому. Схема має ряд складових, систематизація яких представлена на рис. 2.

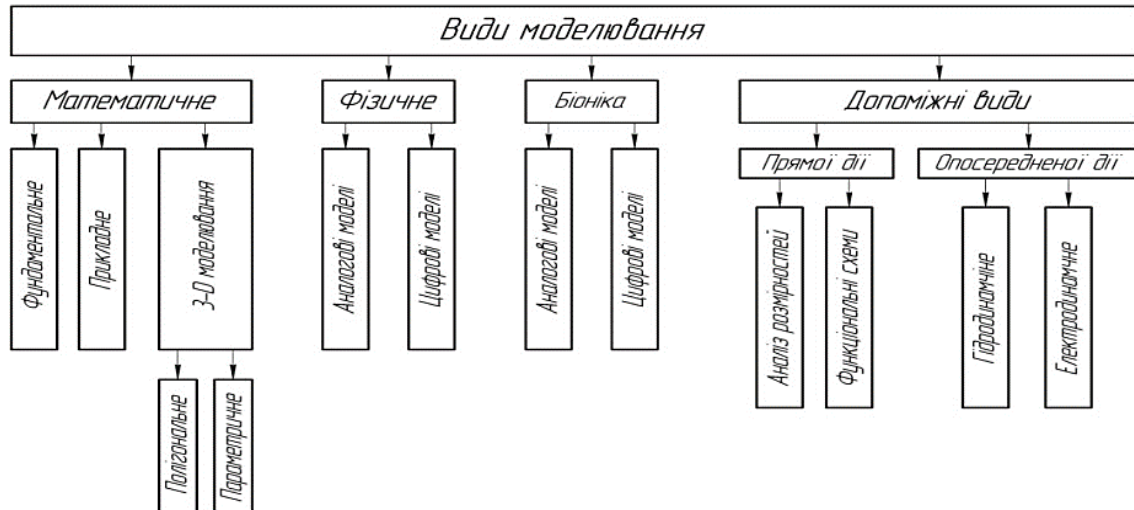


Рисунок 2. Систематизація видів моделювання сільськогосподарських машин

Як видно зі схеми, частина етапів забезпечує формування геометричної і цифрової моделі, а частина адаптацію цієї моделі до виконання технологічного процесу в умовах ґрунтового середовища

На підтвердження працездатності наведеної класифікації необхідно розробити моделі однотипних робочих органів за різними методиками і порівняти конструктивні виконання. Показовими в цьому плані є прикладні моделі формування конструктивних параметрів стрільчастої лапи, глибокорозпушувача і полицевого плуга. Позитивним в такому виборі є також те, що результати досліджень можна порівняти з дослідженнями закордонних авторів [1, 2].

Розглянемо їх в порядку, представленому на рис.2.

1. Математичне моделювання.

Сутність математичної моделі полягає в аналітичному визначенні залежності прогнозованого тягового опору робочого органу і показників якості виконання технологічного процесу від конструктивних параметрів знаряддя і механіко-технологічних властивостей оброблюваного середовища. Загальновідомі математичні моделі [3] в своїй основі мають конструкцію конкретних робочих органів, тобто вони не є універсальними. Тому існує проблема розробки математичної моделі, яку можна було б розповсюдити на широку гаму робочих органів

Фундаментальні моделі безпосередньо не можна використати для обґрунтування конструкцій машин, але на їх основі розробляються прикладні. Проаналізуємо можливості використання фундаментальних



моделей.

1.1. Емпіричні моделі.

Перш за все розглянемо головну емпіричну модель – раціональну формулу В.П. Горячкіна. В розгорнутому виді модель має вид:

$$P = Gf + kabn + \varepsilon abnv^2 \quad (1)$$

де P – тяговий опір;

G – вага плуга;

a, b – відповідно глибина оранки і ширина захвату корпусів;

n – кількість корпусів;

f – коефіцієнт опору на переміщення плуга у борозні;

k – коефіцієнт питомого опору ґрунту, Н/см²;

ε – коефіцієнт форми, кНс²м⁻⁴.

В рівнянні (1) невідомими є коефіцієнти f , k , ε , всі інші величини повинні бути зафіксовані при проведенні експерименту. Особливість такого роду досліджень полягає в тому, що конструктивні вихідні дані розглядають як так звану чорну скриньку, що не дозволяє аналітично визначити їх раціональні значення. Таким чином, результатом досліджень є довідкові таблиці. Але рівняння (1) може бути використане на підтвердження адекватності фізичного моделювання. Сутність полягає в тому що необхідно підтвердити можливість перерахунку складових формули (1) модельних досліджень на натуральний зразок знаряддя. Єдина можливість це виконати – перевести рівняння (1) в критеріальне. У відповідності до третьої теореми подібності [4]: подібними між собою є явища, у яких умови однозначності подібні і визначальні критерії рівні.

Визначальними є критерії подібності, складені тільки з величин, що входять в умови однозначності.

- У нас відоме рівняння, що описує досліджуване фізичне явище, критерії подібності для цього явища можна отримати, приводячи рівняння до безрозмірного вигляду шляхом введення характерних співвідношень фізичних величин.

$$k_1 = \frac{P}{G \times f} ; k_2 = \frac{P}{k \times a \times b \times n} ; k_3 = \frac{P}{\varepsilon \times a \times b \times V^2} \quad (2)$$

де $k_{1,2,3}$ – критерії подібності, що відповідають складовим рівняння (1)

1.2. Фундаментальні аналітичні моделі

Ряд дослідників [5-7] прийшли до висновку, що проблему визначення тягового опору можна вирішити шляхом диференціації діючих сил. Показовою в цьому плані є математична модель [7].



Сутність моделі полягає в наступному. Робочий орган функціонально поділяється на ріжучий периметр і робочі поверхні. Кромки ріжучого периметру зминають ґрунт і відділяють від загального масиву призму сколу, яка надходить на робочі поверхні. Робочі поверхні кришать і розпушують ґрунт. Поверхні сприймають тиск ґрунту, сили тертя і швидкісний напір. Таким чином загальний тяговий опір має наступні складові.[7]

$$P = P_{СК} + (P_N + P_{ТР} + P_{ЗАТ} + P_V) \cdot \cos \left[\arctg \frac{i \cdot \sin \varphi}{\cos \varphi} - \varphi \right] \quad (3)$$

де $P_{СК}$, P_N , $P_{ТР}$, $P_{ЗАТ}$, P_V , – проекції на напрямок руху відповідно сил сколу призми, нормального тиску ґрунту на поверхню, сили тертя при переміщенні ґрунту вздовж робочої поверхні, додаткова сили від затуплення леза, швидкісної складової опору.

Знайшовши аналітичні вирази для наведених складових в автор [7] прийшов до єдиної інтегральної формули [7, С.76-77] взаємодії з ґрунтом робочого органу довільної геометричної форми.

Наведена залежність не може бути використана безпосередньо для обґрунтування конструктивних параметрів бо працює з приведеними значеннями конструктивних параметрів, але на її основі розроблений ряд прикладних моделей, як то полицевий плуг [7,С.79-83], лапа стрільчаста [7,С. 96], диск борони, луцільника, дискатора [7,С.86-87],

V-подібний глибокорозпушувач [7,С.132-133],

Критеріальне рівняння для інтегрального рівняння буде мати вигляд [7]

$$K_{ПН} = \frac{F_H \cdot g}{C_H \cdot V_H^2 \cdot L_H} = \frac{F_M \cdot g}{C_M \cdot V_M^2 \cdot L_M} = K_{ПМ} \quad (4)$$

де F_M , F_H – Тяговий опір відповідно моделі і натурального зразка корпусу;

C_M , C_H – Питоме счеплення часток модельного середовища і ґрунту;

V_M , V_H – поступова швидкість відповідно моделі і натурального зразка машини;

$K_{ПМ}$, $K_{ПН}$ – критерії подібності моделі і натурального зразка машини

L_M , L_H – Визначальний розмір (ширина захвату) моделі і натурального зразка машини;

Таким чином, розрахункова формула для визначення тягового опору знаряддя буде виглядати наступним чином:

$$F_H = \varepsilon \cdot F_M \cdot \frac{C_H}{C_M} \cdot \frac{V_H^2}{V_M^2} \cdot \frac{L_H}{L_M} \quad (5)$$

де $\varepsilon=0,1$ – узгоджуючий коефіцієнт

На підтвердження адекватності методики наводимо значення тягового опору полицевого плуга-букера отриманого за різними



методиками стосовно ідентичних умов експлуатації.

Польові дослідження – 0,235 кН

Розрахункові значення у відповідності до математичної моделі [7] – 0,38 кН

За результатами фізичного моделювання – 0,290 кН.

Аналіз отриманих значень показує на задовільну збіжність результатів

Оглядом літературних джерел встановлено ще ряд аналітичних моделей взаємодії робочого органу з ґрунтовим середовищем.

Модель [8] В своїй основі має методи аналітичної і нарисної геометрії і побудована на принципі можливих переміщень ґрунтового середовища. Не передбачає визначення якісних і силових показників. Робочий орган, побудований за даними принципами потребує додаткового аналітичного і експериментального відпрацювання.

Модель [5] являє собою модель формоутворення робочої поверхні з урахуванням явища обміну об'ємом між робочим органом і ґрунтом.

Модель [6] Отримані аналітичні залежності визначення конструктивних параметрів робочих органів з точки зору впливу на ґрунт з урахуванням його багатофазної структури та зміни властивостей в процесі деформації Запропоновано загальну схему впливу поверхонь робочих органів на ґрунт з урахуванням його багатофазної структури та зміни властивостей в процесі деформації. Отримані аналітичні залежності конструктивних параметрів робочих органів від механіко-технологічних властивостей середовища. Модель цікава з точки зору механіки твердого тіла, але не може служити основою для прикладної моделі.

1.3 *Моделювання 3D* на наш погляд слід вважати різновидом математичного, бо є результатом його візуальної інтерпретації. Метод дозволяє при наявності адекватної математичної моделі відпрацьовувати конструктивні параметри без прив'язки до оброблюваного середовища, тобто чисто конструктивно.

1.4. *Фізичне моделювання.*

В основі фізичного моделювання лежить теорія подібності. Необхідними умовами фізичного моделювання є геометрична подібність (подібність форми) і фізична подібність моделі і природи. Наявність такої пропорційності дозволяє робити перерахунок експериментальних результатів, одержуваних для моделі, на натуру шляхом множення кожної з визначених величин на постійний для всіх величин даної розмірності множник - коефіцієнт подібності.

Переваги фізичного моделювання полягають в можливості візуального контролю технологічного процесу в реальному масштабі часу і можливості впливати на процес шляхом корегування конструктивних параметрів. Проте необхідно відмітити, що



адекватність процесу залежить від прийнятого критеріального рівняння, яке в свою чергу визначається адекватністю математичної моделі. Складність також полягає в тому, що фізична модель ґрунтового середовища повинна відповідати його математичній моделі

1.5. Біоніка

Біоніка - розділ кібернетики, пов'язаний з побудовою технічних пристроїв і систем, а також з рішенням різних інженерних задач на основі вивчення функціонування органів і систем живої природи.

Застосування методів біоніки потребує наявності біологічного аналогу, який був би функціонально подібним розроблюваному знаряддю. Від ступеня подібності залежить і ступінь адаптації робочого органу до конкретних умов його експлуатації. Вся складність полягає в тому, що сліпе копіювання аналогу нічого не дає. Робочий орган працює в інших умовах і для його розробки необхідна математична модель аналогу, але пристосовно до конкретних умов використання, а це вже складна задача.

В галузі використання методів біоніки можна виділити дві наукові школи: Л.Ф. Бабицького[9] і Дніпровського державного аграрно-економічного університету (ДДАЕУ) Обидві школи використовують метод функціональних аналогій: конструкція аргументується з точки зору можливості виконання технологічного процесу на основі зовнішньої функціональної подібності робочого органу і біологічного аналогу. Різниця полягає в тому, що в першому випадку модель є аналоговою, тобто вона є масштабованою копією тіла біологічного аналогу. В другому цифровою: параметри аналогу оцифровують, розробляють регресійне рівняння яке закладається в математичну модель взаємодії з ґрунтовим середовищем, що дозволяє виконати адаптацію моделі до конкретних умов експлуатації. В якості аналогового моделювання можна привести конструкцію зуба ротатійної зубової борони [10] якості цифрового – стрільчасту лапу [11].

1.6. Допоміжні види моделювання.

1.6.1. Аналіз розмірностей

Суть методу полягає в тому, що з параметрів, які характеризують систему, складається вираз-модель, що має потрібну розмірність і певним чином відтворює функціонування фізичної системи. Метод дозволяє отримати безрозмірний вираз, що є основою розробки критерія подібності.

1.6.2. Аналогове моделювання

Аналогове моделювання – це метод моделювання, заснований на аналогії або ізоморфізмі явищ, що мають різну фізичну природу, але описуються однаковими математичними (диференціальними, алгебраїчними або будь-якими іншими) рівняннями. Тобто у разі



однакових критеріальних рівнянь метод може бути застосований.

На даний момент відомі два види аналогового моделювання – це гідродинамічне і електродинамічне.

В основу методу гідродинамічного моделювання закладена функціональна подібність складових рівняння Бернуллі і В.П. Горячкіна:

Повний гідродинамічний напор – тяговий опір зняття; Висотне положення перетину – опір на ухил місцевості; Втрати напору по довжині – опір на перекочування

Як і при фізичному моделюванні методичну основу складають критерії подібності. Головний з них – критерій (число) Ейлера, Характеризує співвідношення між силами тиску, що діють на елементарний об'єм і енергійними силами

$$Eu = \frac{2(p_2 - p_1)}{\rho v^2} \quad (6)$$

де p_2, p_1 – тиск в двох характерних точках потоку;

$\rho v^2/2$ – швидкісний напор;

v – швидкість потоку;

ρ – щільність рідини допоміжні критерії: поелементне співвідношення складових рівнянь.

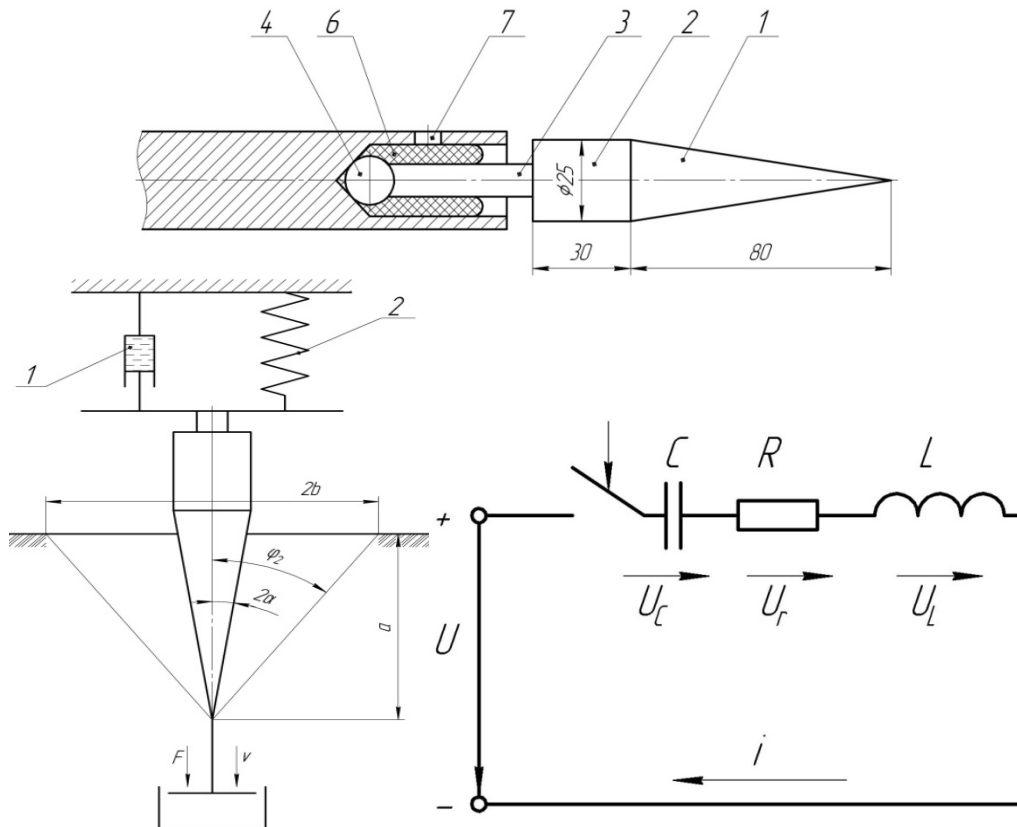
Методика гідродинамічних досліджень детально відроджена ДДАЕУ. Для гідродинамічних досліджень використовується заповнений рідиною гідравлічний лоток. Модель робочого органу навішується на візок, який переміщується по рейкам вздовж лотка. По периметру робочого органу врізані датчики тиску з метою підвищення чутливості, модель виконується у масштабі збільшення.

Метод має ряд суттєвих недоліків Головний з них – це те, що рідина не має кута внутрішнього тертя в тому понятті, що прийняте в землеробській механіці. Тому критерії подібності необхідно штучно приводити до безрозмірної величини, що вносить похибку в кінцевий результат.

В основу методу електродинамічного моделювання закладена подібність рівнянь, що описують закономірності взаємодії з ґрунтом робочого органу і рівняння перехідного процесу електричного ланцюга.

Найбільш наочно методику можна відстежити на пружній голці ротаційної дискової борони [10], рис. 3.

9 з 12



a – схема конструктивна [10]: 1 – наконечник, 2 тіло голки, 3 – хвостовик, 4 – опора, 6 – пружний елемент, 7- технологічний отвір; *б* – модель реологічна : 1 демпфер, 2 – пружний елемент. *в* – модель електродинамічна

Рисунок 3. Експериментальна голка ротаційної зубової борони:

В землеробській механіці загальноприйнятим є визначати заглиблюючу силу робочих органів, які потребують примусового заглиблення через приведену вагу машини [3] на 1,0 м, або на один робочий орган. Тому, рівняння руху механічної системи, рис.3,б має вид:

$$F = F_1 + F_2 = m (dv/dt),$$

де F – занурююча сила;

F_1 – пружна сила;

F_2 – демпферна сила.

v – швидкість занурення;

m – приведена маса на одну голку.

Таким чином, для механічної системи :

$$F = k_1 \cdot x + k_2 v + m (dv/dt) \quad (7)$$

де x – величина абсолютного переміщення голки;

Для електричного ланцюга рівняння перехідного процесу:



$$U = u_c + u_r + u_L = (1/C) \int i dt + ir + L(di/dt) \quad (8)$$

З порівняння рівнянь (7) і (8) витікає, що діюча напруга U , є аналогом сили F , напруга u_c на ємності є аналогом пружної сили пружини, ток i є аналогом швидкості v , u_r — аналог демпферної сили. індуктивність L — аналогом доведеної маси тіла m .

Таким, чином, обидва процеси описують подібні рівняння, що відповідає вимогам аналогового моделювання.

Висновки

1. Розробка ґрунтообробного робочого органу і машини на його основі може розглядатись як послідовність модельних досліджень.

2. Існує значна кількість видів моделювання, які можуть бути застосованими на проектному етапі розробки ґрунтообробних машин. Найбільш раціональним є сумісне використання двох, максимум трьох видів. Використання більшої кількості призводить до ускладнення досліджень і може бути використаним в детально обґрунтованих випадках.

3. З усіх видів моделювання тільки прикладне математичне є достатній мірі відпрацьованим.

Список використаних джерел

1. Basch G. Green Carbon: Making sustainable agriculture real. *European Conservation Agriculture Federation (ECAAF)*. Brussels, Belgium. 8–74, 2014.

2. Van Muysen W., Govers G., Van Oost K. Identification factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage. *Soil Tillage Res.*, 2002; Vol. 65, N 1, P. 77–93.

3. Кобець А. С. Землеробська механіка. Кобець А. С., Сокол С. П., Пугач А. М., Дирда В. І., Волик Б. А., Тищенко С. С., Гаврильченко О. С. Дніпро, Пороги, 2022 408 с.

4. Alabuzhev P. M., Heronimus V. B. (1968) *Teoriya podobyia y razmernostei. Modelirovaniye*. [Theory of similarity and dimensions. Modeling] М.: Vysshaya shkola, 208 p. URL: <https://www.twirpx.com/file/2272710/>

5. Ветохін В. І. Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту :автореф. дис... д-ра техн. наук / В. І. Ветохін; ННЦ ІМЕСГ. – Глеваха, 2010. 40 с.

6. Мударисов С. Г. Повышение качества обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: Автореф. дис... докт. техн.



наук: 05.20.01. Челябинск, 2007. 40с.

7. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями. А. Н. Панченко. Днепропетровск: ДГАУ, 1999. 140 с.

8. Тищенко С. С. Основы проектирования адаптивных поверхностей рабочих органов для дифференциации процессов обработки почвы: автореф. дис... докт. техн. наук: 05.05.11 Киев, 2011. 40 с.

9. Бабицький Л.Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин. К.: Урожай, 2008. 164 с.

10. Volyk В.А., Lepet Ye.I., Konovij A.V. Justification of the design of the rotary tooth harrow based on the analysis of the body structure of the biological analogue / Suchasni stan ta perspektyvy rozvytku aharnoho sektoru Ukrainy: Zb. Naukovykh prats (30 lystopada 2018, m. Nizhyn) / Za nauk. Red. V.S. Lukacha [ta in.]. Nizhyn, 2018 P. 34–41

11. Михайлов Є. В. Обґрунтування конструктивної схеми стрільчастої лапи на основі біологічного прототипу. / Є. В. Михайлов, Б. А. Волик, Г. В. Теслюк, А. В. Коновий. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь 2019. Вип. 19, т.3. С.37–46 DOI:10.31388/2078-0877-19-3-37-45

Стаття надійшла до редакції 21.02.2023 р.

В. Volyk, Н. Tesliuk, А. Konovij, Е. Lepet'
Dnipro State Agrarian and Economic University

ANALYTICAL REVIEW OF MODELING METHODS OF SOIL PROCESSING MECHANISMS

Summary

The article discusses the general principles of development of tillage tools. It is shown that all stages of development and design of machines as a whole represent a consistent system of model studies.

The possibilities of each type of modeling were analyzed, including in the case of joint use. Reasonable prospect of involvement in the process of development of bionics and physical modeling methods. A necessary condition for the functioning of both models is the presence of an adequate mathematical model of interaction with the soil. In the case of bionic research, the mathematical model allows for adaptation to the soil environment, in the case of physical research, it is possible to determine rational similarity criteria. The theory of internal stress is used as the basis of analytical studies, which in turn is synthesized on the basis of analog and simulation modeling of the soil environment. The possibility of involving basic applied models of agricultural mechanics as a basis for research is analyzed.

For analytical studies of tools under development, it is advisable to separate and consider the cutting perimeter and working surfaces separately in the working body, regardless of the type of model studies. As an example, the work presents variants of the



arrowhead of the cultivator, the design of which is based on various types of modeling.

It should be noted that none of the models allows to obtain the predicted qualitative indicators of crumbling and loosening. However, the degree of crushing can be indirectly estimated through the volume of the chipped prism and the amount of traction resistance.

The results of experimental studies are presented. If all methodological requirements are met, it is possible to achieve convergence of research results within 10-15%.

Key words: model studies, bionics, physical modeling, adaptation to the environment, criterion of similarity. Criteria of design rationality.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-3

УДК 621.225.001.4

А. І. Панченко¹, д.т.н. проф.

ORCID: 0000-0002-6113-1923

А. А. Волошина¹, д.т.н. проф.

ORCID: 0000-0003-4052-2674

І. А. Панченко¹, інж.

ORCID: 0000-0003-2150-4278

А. А. Волошин², інж.¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного²Мелітопольський фаховий коледж ТДАТУ

e-mail: voloshinaa2012@gmail.com, тел.: 097-526-26-03

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ДІАМЕТРАЛЬНОГО ЗАЗОРУ НА КІНЕМАТИКУ РУХУ ВНУТРІШНЬОГО РОТОРА ОРБІТАЛЬНОГО ГІДРОМОТОРА

Анотація. Дослідженням кінематики переміщення внутрішнього ротора орбітального гідромотора встановлено, що відсутність «жорсткого» кінематичного зв'язку між роторами дозволяє їм займати два положення: при значенні діаметрального зазору менше критичного («самогерметизація») роторів і при значенні діаметрального зазору більше критичного («розгерметизація»). Високе значення та сталість об'ємного ККД орбітального гідромотора пояснюється властивістю його роторів «самогерметизуватися» у процесі переміщення усуваючи перетікання. При зміні зазору між роторами в діапазоні 0.4...0.8 мм відбувається зменшення кутової швидкості від 34 до 27 рад/с, викликане додатковими переміщеннями внутрішнього ротора на ділянці. Зменшення об'ємного ККД на 18%, загального ККД на 35% та збільшення витрати витоків від 0 до 17 л/хв пояснюється наявністю витрати витоків між камерами високого та низького тиску («розгерметизація» роторів).

Ключові слова. Орбітальний гідромотор, ротор, самогерметизація, розгерметизація, діаметральний зазор, кутова швидкість, витрата витоків, ККД.

Постановка проблеми. Для приводу активних робочих органів самохідної техніки використовуються різні типи гідравлічних машин [1-4], але особлива увага приділяється орбітальним гідромоторам [2, 5, 6]. Орбітальні гідромотори відносяться до нових маловивчених гідромашин з високим крутним моментом і низькою частотою обертання вихідного валу. Ці гідромашини знайшли широке



застосування у мехатронних системах з безредукторним гідравлічним приводом активних робочих органів та ходових систем будівельної, дорожньої, сільськогосподарської, бурової, комунальної, лісозаготівельної та іншої самохідної техніки.

Відмінною особливістю цих гідромоторів є наявність зовнішнього та внутрішнього роторів із спеціальним гіпоциклоїдальним профілем зубів [5, 6]. Між центрами роторів орбітального гідромотора відсутній «жорсткий» кінематичний зв'язок, що призводить до нестандартних змін його вихідних характеристик [7, 8]. Стабільність вихідних характеристик гідравлічних приводів самохідної техніки визначається параметрами гідромоторів, які застосовують у цих приводах.

Тому, для забезпечення стабілізації вихідних характеристик гідроприводів активних робочих органів будівельної, дорожньої, сільськогосподарської, комунальної та іншої самохідної техніки необхідні комплексні дослідження, спрямовані на вивчення питань зміни вихідних характеристик орбітального гідромотора. У зв'язку з цим питання дослідження впливу величини діаметрального зазору на кінематику руху роторів орбітального гідромотора, з метою стабілізації його вихідних характеристик, і як наслідок стабілізації вихідних характеристик гідроприводів самохідної техніки, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Розроблено методику проектування гідравлічних мехатронних систем з елементами багатокритеріальної оптимізації, що дозволяє проектувати мехатронну систему із заданими вихідними характеристиками [9, 10], досліджено динамічні процеси мехатронних систем з планетарними гідромоторами з метою прогнозування зміни їх вихідних характеристик [11, 12], вивчено системи з гідравлічним приводом на шасі, що складається з аксіально-поршневого регульованого насоса та двох мехатронних модулів (ступиці колеса) з орбітальними гідравлічними двигунами [2]. Вплив конструктивних особливостей планетарних (орбітальних) гідромоторів на їх функціональні параметри не досліджувався.

В останні роки йде напружений пошук та вдосконалення застосовуваних гідромашин з метою створення максимально простих та технологічних конструкцій за мінімальної вартості [1]. Особлива увага приділяється розробці тихохідних гідромоторів, робочі елементи яких повинні мати низьку швидкість переміщення та розвивати високі крутні моменти. Таким вимогам задовольняють орбітальні та планетарні гідромашини [2, 11]. Обґрунтовано параметри варіювання, що визначають зміну вихідних характеристик планетарного гідромотора в залежності від конструктивних особливостей його системи роторів [13, 14] та розподільної системи [15-18]. Встановлено [18], що одним з основних вузлів у цих гідромашинах, що викликають



пульсації тиску, є його розподільна система. Обґрунтовано геометричні параметри елементів розподільних систем [19, 20], досліджено вплив геометричних параметрів та робочих процесів усередині розподільних систем орбітальних гідравлічних машин на зміну їх вихідних характеристик [4, 15]. Розглянуто сили, що діють у зубчастому циклоїдальному зачепленні [21], розроблено математичні моделі, що описують роботу роторів [22], зміну геометрії робочих поверхонь роторів [23] та навантажень у зубчастому зачепленні [24]. Представлені способи та методи підвищення несучої здатності циклоїдальних зубчастих коліс [25, 26], запропоновано оптимальний профіль зуба для циклоїдальних передач [27], розроблені математичні моделі, що описують взаємозв'язок конструктивних особливостей роторів і вихідних характеристик орбітального гідромотора [6], розглянуто ефекти зношування, що призводять до змін рельєфу поверхні орбітальних двигунів [28], запропоновано метод визначення надійності гідромотора шляхом моделювання змін технічного стану роторів [29]. Кінематика переміщення роторів не розглядалася.

Проведено теоретичний аналіз внутрішніх роторів епітрохідальних, гіпотрохідальних [30], оригінальних роторних [31] та гіпогероторних [32] гідромашин, представлена конструкція героторного профілю, заснована на теорії зачеплення [33]. Запропонована теорія зубчастого зачеплення для побудови математичної моделі внутрішнього циклу різницею зубів [34], отримана аналітична модель зносу без гідродинамічного ефекту [35] та математична модель [36], що дозволяє отримати повне визначення профілів ротора в параметричній формі. Досліджено вплив геометричних та кінематичних параметрів профілю зубчастої пари [37], виконано аналіз витіснення [38], проведено порівняльний аналіз аналітичних та чисельних розрахунків контактних напруг [39], запропоновано оптимальну конструкцію геротора для їх зниження [40]. Запропоновано метод факторного експерименту [41], представлено багатокритеріальну оптимізацію геометрії героторного зубчастого колеса [42] за допомогою генетичного алгоритму з урахуванням кінематичної та фактичної пульсації потоку [43] за допомогою алгоритмів еволюційної стратегії [44] з використанням пакетів ANSYS-CFX [45] та GEROLAB [46], проведено чисельний аналіз та експериментальна перевірка героторних насосів [47]. Запропоновано структурно-функціональну схему динамічної моделі мехатронної системи з планетарним гідромотором [48], проведено експериментальні дослідження пропускну здатності розподільних систем планетарних гідромоторів [49, 50], обґрунтовано параметри оптимізації елементів керування мехатронною системою з гідравлічним приводом [11]. Питання розрахунку, моделювання та



проектування орбітальних гідромоторів не розглядалися.

Аналіз проведених досліджень показує, що питання дослідження впливу величини діаметрального зазору на кінематику руху роторів орбітального гідромотора не приділялося достатньої уваги, що обмежує можливість проектування нових видів орбітальних гідромашин. Тому дана робота присвячена питанням дослідження впливу величини діаметрального зазору на кінематику руху роторів орбітального гідромотора, з метою прогнозування зміни його вихідних характеристик на етапах проектування, виготовлення та експлуатації.

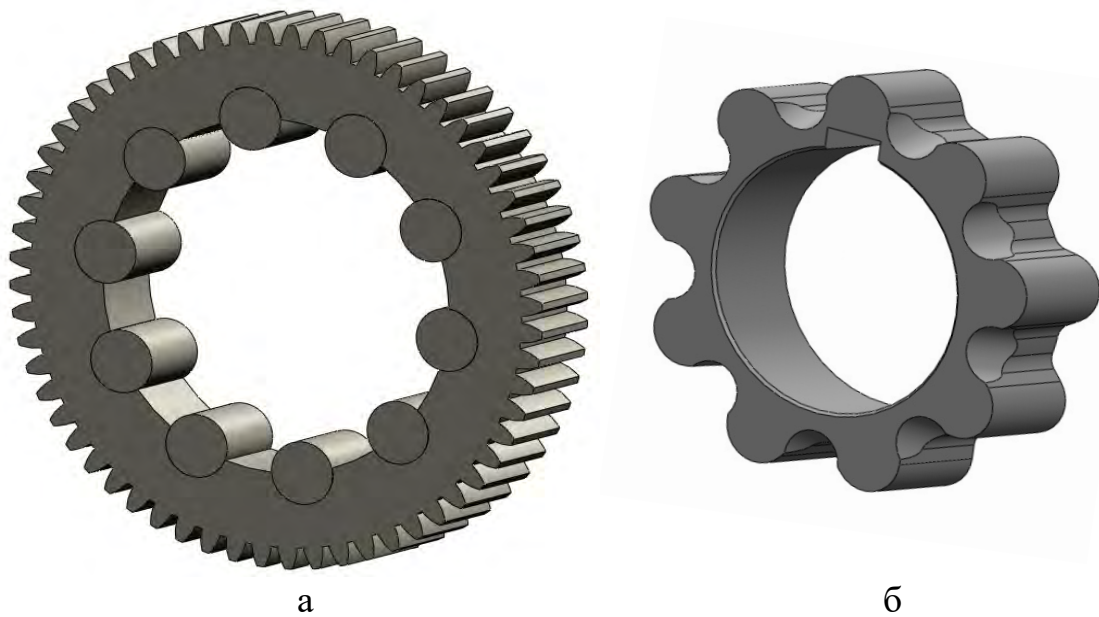
Формування мети статті. Прогнозування зміни вихідних характеристик орбітального гідромотора шляхом дослідження впливу величини діаметрального зазору на кінематику руху роторів орбітального гідромотора.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити фізичну модель та математичний апарат, що описує залежність зміни сталої кутової швидкості переміщення внутрішнього ротора орбітального гідромотора за наявності діаметрального зазору;
- обґрунтувати кінематику переміщення внутрішнього ротора орбітального гідромотора за наявності діаметрального зазору;
- дослідити зміну вихідних характеристик орбітального гідромотора шляхом моделювання кінематики руху його роторів за наявності діаметрального зазору.

Основна частина. Технологічні труднощі, пов'язані з виготовленням роторів планетарного гідромотора, викликані їх конструктивними особливостями, зумовлюють певну похибку форми зубчастої поверхні роторів (рис. 1), що призводять до коливань діаметрального зазору між зовнішнім (рис. 1, а) та внутрішнім (рис. 1, б) роторами [5, 6, 51, 52]. В процесі експлуатації, коливання діаметрального зазору чинять негативний вплив на зміну вихідних характеристик планетарного гідромотора.

Отже, реальне з'єднання роторів планетарного гідромотора відрізняється від теоретичного наявністю діаметрального зазору та відсутністю жорсткого кінематичного зв'язку між внутрішнім і зовнішнім роторами [5, 6, 51, 52]. Тому, дослідження впливу діаметрального зазору між внутрішнім і зовнішнім роторами планетарного гідромотора на зміну його вихідних характеристик є актуальною задачею, рішення якої дозволить забезпечувати стабільність вихідних параметрів планетарних гідромоторів на стадії проектування.

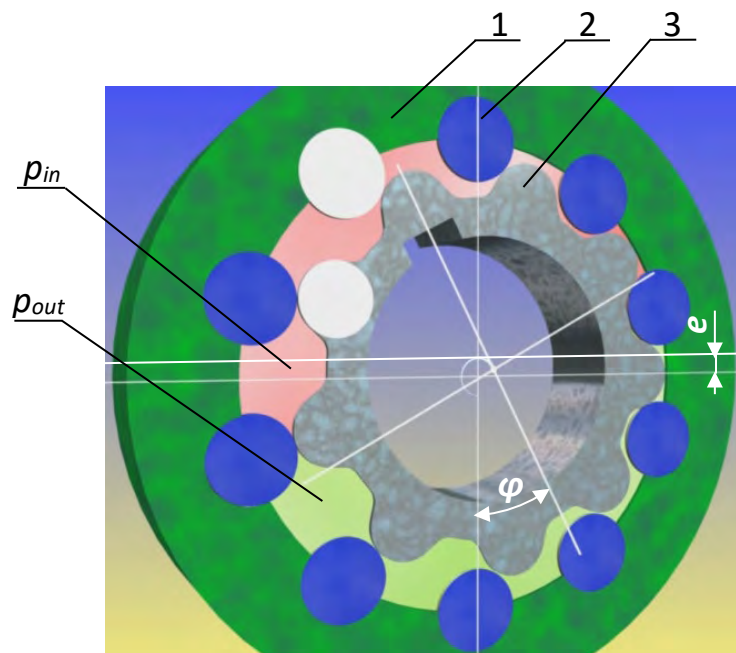


а – зовнішній ротор (ротор); б – внутрішній ротор (шестерня).
Рисунок 1. Елементи витискувальної системи

Основою планетарного гідромотора є витискувальна система (рис. 2) що складається із зовнішнього нерухомого ротора 1 і внутрішнього рухомого ротора 3. Для зниження контактних навантажень між відповідними зубами роторів, зуб'я 2 зовнішнього ротора 1 виконують у вигляді вставних роликів. При роботі гідромотора, під дією тиску нагнітання p_{in} робочої рідини внутрішній ротор 3 повертається на кут переміщення відносно зовнішнього ротора 1. При русі внутрішнього ротора 3 його центр описує коло радіусом e навколо центру зовнішнього ротора 1.

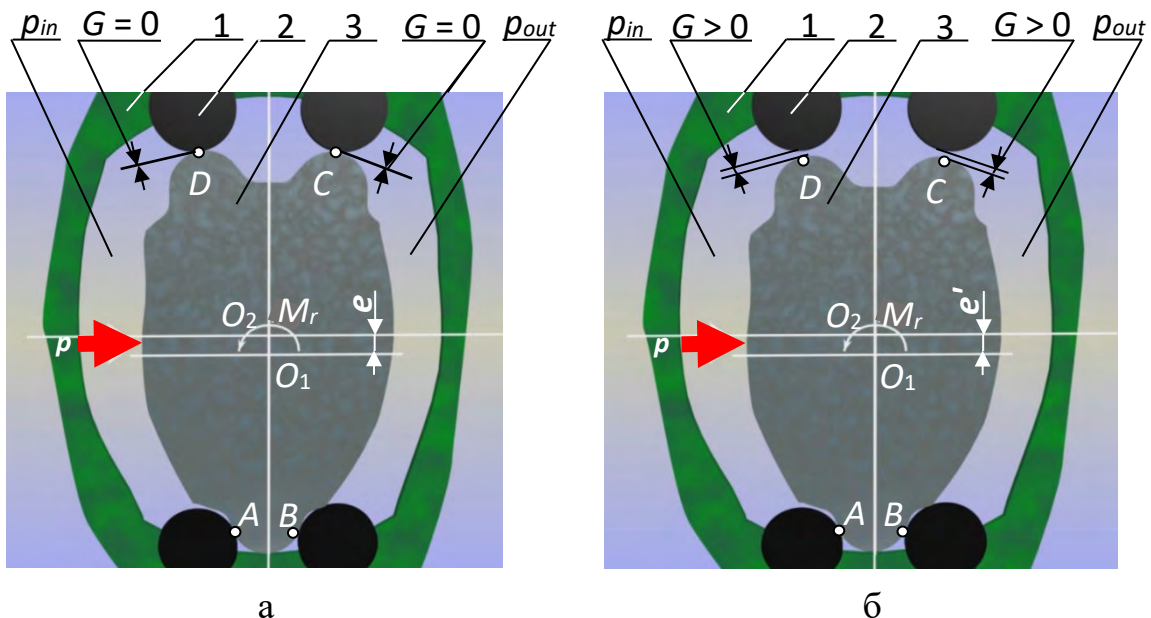
Похибки апроксимації гіпоциклоїдального контуру профілю зубів зовнішнього 1 та внутрішнього 3 роторів, допуски на їх виготовлення призводять до наявності початкового діаметрального зазору G у розташуванні роторів (рис. 3). При роботі планетарного гідромотора, в результаті зношування зубів його роторів діаметральний зазор G постійно збільшується [5, 6, 48]. Тому, при дослідженні кінематики переміщення роторів планетарного гідромотора розрізняють два випадки розташування роторів: теоретичний (рис. 3, а) та реальний (рис. 3, б).

При теоретичному розташуванні роторів (рис. 3 а) діаметральний зазор G відсутній ($G = 0$). Один із зубів внутрішнього ротора 3 завжди торкається двох зубів 2 зовнішнього ротора 1 в точках A і B , а діаметрально протилежні зуби внутрішнього ротора 3 контактують із зубами 2 зовнішнього ротора 1 в точках C і D .



1 – зовнішній ротор; 2 – зуб (ролик) зовнішнього ротора; 3 – внутрішній ротор; e – ексцентриситет; φ – кут переміщення внутрішнього ротора щодо зовнішнього; p_{in} – тиск робочої рідини на вході в гідромотор; p_{out} – тиск робочої рідини на виході з гідромотора

Рисунок 2. Схема розташування роторів планетарного гідромотора:



e и e' – ексцентриситет; O_1 и O_2 – центра внутрєнного и внешнего роторов, соответственно; M_r – момент сопротивления нагрузки; 1 – внешний ротор; 2 – зуб (ролик); 3 – внутренний ротор

Рисунок 3. Исходное положение роторов для: а – теоретического расположения ($G = 0$); б – реального расположения ($G > 0$)



Точки торкання зубів A , D і B , C завжди розташовані по різні сторони лінії центрів роторів, що дозволяє відокремлювати зону високого тиску p_{in} від зони низького тиску p_{out} без додаткових конструктивних елементів. Необхідно відзначити, що між рештою пар зубів роторів, що знаходяться в інтервалі точок контакту A , D і B , C , відповідно, зазор $G > 0$.

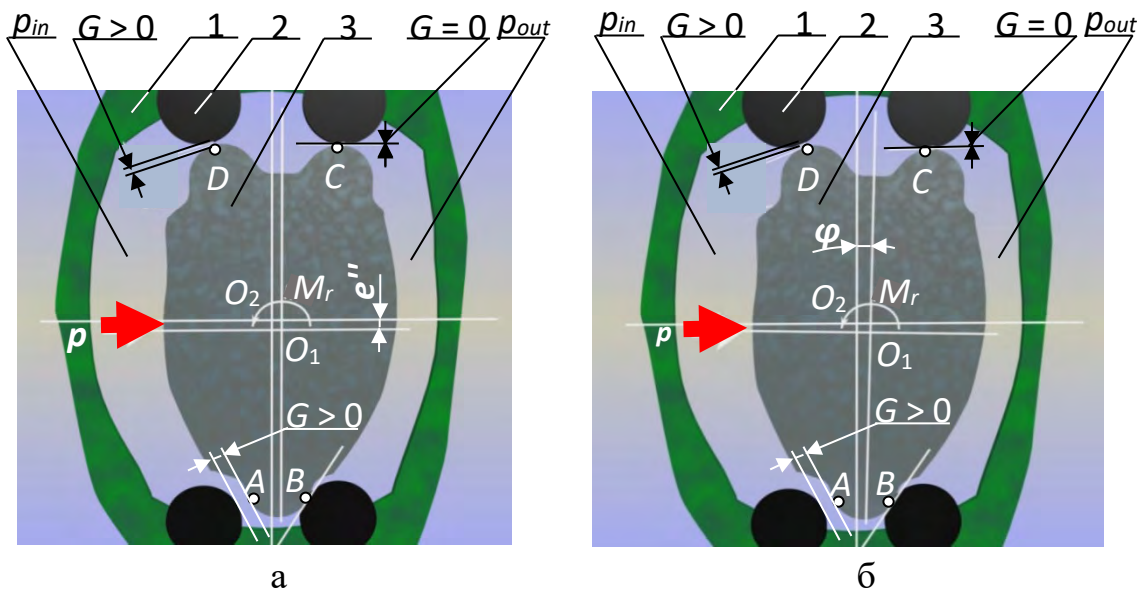
Таке контактування роторів обумовлено тільки геометрією профілів їх зубів, що сполучаються, та забезпечує кінематичний зв'язок між центрами роторів O_1 і O_2 , розташованих на відстані рівній ексцентриситету e . На внутрішній ротор 3 діють: результуюча сила P від тиску нагнітання p_{in} робочої рідини та момент M_r у точці O_1 . Під дією результуючої сили P внутрішній ротор 3 з числом зубів z_1 , переміщаючись плоско-паралельно, повертається на кут φ , обкочуючись по внутрішньому ротору 1 передаючи крутний момент M_{tor} .

При реальному розташуванні роторів (рис. 3 б) завжди є діаметральний зазор $G > 0$, пов'язаний з технологічними особливостями виготовлення і необхідний для компенсації температурних розширень роторів. У вихідному положенні внутрішній ротор 3 одним зі своїх зубів торкається двох зубів 2 зовнішнього ротора 1 в точках A і B . Аналогічні точки C і D двох діаметрально протилежних зубів ротора 3 знаходяться на відстані G від відповідних зубів 2 ротора 1. Так як при реальному розташуванні роторів відсутній «жорсткий» кінематичний зв'язок між центрами роторів O_1 і O_2 , відстань між ними змінюється і дорівнює $e = e + G/2$. Зона високого тиску p_{in} при реальному розташуванні роторів, гідравлічно замикається через подвійну щілину висотою G (у точках D і C) із зоною низького тиску p_{out} , викликаючи перетічки, що зменшують об'ємний ККД планетарного гідромотора. Таке положення роторів (рис. 1.3, б) умовимося називати положенням I.

У положенні I (рис. 3, б) на ротор 3 діють ті ж сили, що і при теоретичному розташуванні роторів, тому для подальшого дослідження переміщення роторів орбітального гідромотора скористаємося схемою, представленою на рис. 4.

Під дією результуючої сили P внутрішній ротор 3 буде переміщатися з положення I у положення II (рис. 4, а) до дотику діаметрально протилежного зуба ротора 3 з відповідним зубом ротора 1 в точці C . Переміщаючись в положення II, внутрішній ротор 3 рухається поступово вгору, рухаючись за нормаллю, прикладеною в точці B , аналогічно переміщенню поршня гідроциліндра. При переміщенні з положення I у положення II внутрішній ротор 3 не може повернутися на кут переміщення φ , під дією моменту опорів навантаження M_r . Переміщаючись у положення II ротор 3 «спливає» на

величину діаметрального зазору G змінюючи відстань між центрами O_1O_2 роторів, роблячи його рівним $e' = e - G/2$. Такий «сплив» ротора 3 планетарного гідромотора викликаний відсутністю «жорсткого» кінематичного зв'язку між центрами роторів O_1O_2 , що дозволяє роторам займати різні положення в діапазоні діаметрального зазору G . У положенні II відбувається «самогерметизація» роторів, так як точки торкання роторів B і C розділяють зони високого p_{in} та низького p_{out} тиску, усуваючи перетікання.



e'' – ексцентриситет; φ – кут переміщення внутрішнього ротора; O_1 та O_2 – центру внутрішнього та зовнішнього роторів, відповідно; M_r – момент опорів навантаження; 1 – зовнішній ротор; 2 – зуб (ролик); 3 – внутрішній ротор;

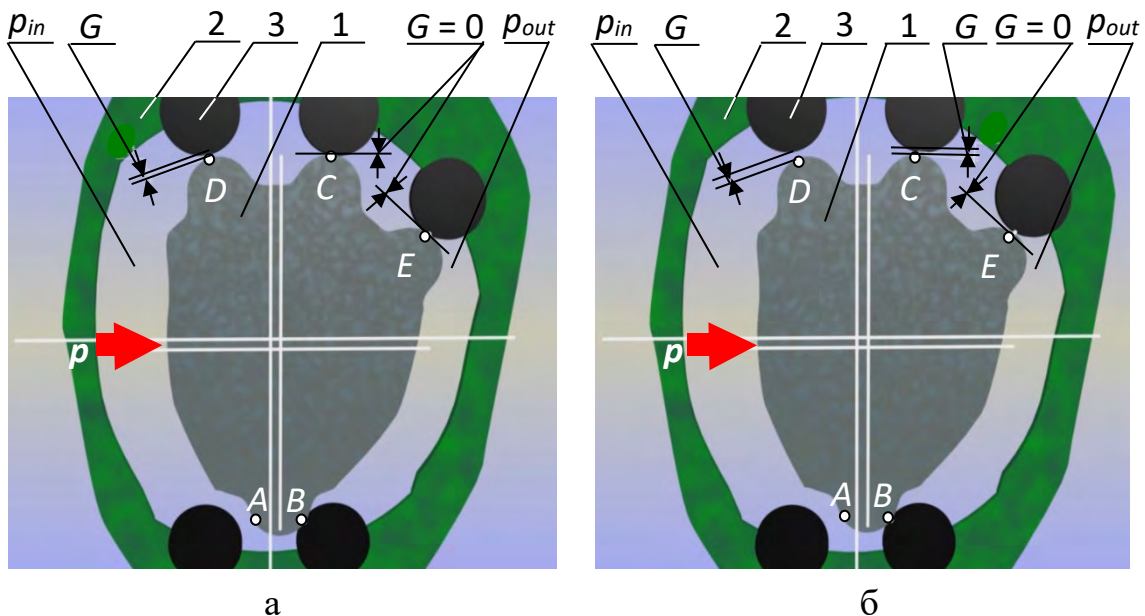
Рисунок 4. Схема переміщення внутрішнього ротора при реальному розташуванні: а – «сплив» внутрішнього ротора; б – поворот внутрішнього ротора

Після «спливу», під дією результуючої сили P , внутрішній ротор 3 передаючи крутний момент M_{tor} , повертається на кут φ займаючи положення III (рис. 4, б). У положенні III так само відбувається «самогерметизація» роторів, оскільки точки їх дотику B і C розділяють зони високого p_{in} і низького p_{out} тисків усуваючи перетікання.

Отже, наявність діаметрального зазору G у реальному розташуванні роторів не викликає перетікань у радіальному напрямку, оскільки відсутність «жорсткого» кінематичного зв'язку між роторами дозволяє їм займати положення, при якому відбувається «самогерметизація». Тому можна стверджувати, що збільшення діаметрального зазору G в процесі зносу роторів не будуть впливати на зменшення об'ємного ККД планетарного гідромотора. Привертає увагу

«вимушене» переміщення внутрішнього ротора 3, при якому він займає додаткове проміжне положення II (рис. 4, а). На це переміщення витрачається додатковий час, що позначається на зниженні кутової швидкості обертання внутрішнього ротора 3 і як наслідок валу планетарного гідромотора.

Аналіз кінематики руху внутрішнього ротора [51, 52] показав, що відсутність між роторами «жорсткого» кінематичного зв'язку, за наявності діаметрального зазору G , дозволяє внутрішньому ротору займати 1 положення з торканням в точках B і C (рис. 5, а). У цьому положенні і відбувається «самогерметизація» роторів, незважаючи на наявність діаметрального зазору G у точці D . При значенні діаметрального зазору G рівному своєму критичному значенню G_{lim} ($G = G_{lim}$) відбувається одночасне торкання зубів внутрішнього ротора 1 з зубами 3 зовнішнього ротора 2 в трьох точках B , C та E (рис. 5, а).



а – при $G = G_{lim}$; б – при $G > G_{lim}$; p_{in} – камера високого тиску; p_{out} – камера низького тиску; 1 – внутрішній ротор; 2 – зовнішній ротор; 3 – зуб (ролик)

Рисунок 5. Схема кінематики руху «спливання» внутрішнього ротора планетарного гідромотора зі збільшенням діаметрального зазору

При експлуатації планетарного гідромотора подальше збільшення діаметрального зазору G пов'язано зі зносом зубчастої поверхні його роторів. Коли значення діаметрального зазору G більше критичного G_{lim} ($G > G_{lim}$), то переміщення внутрішнього ротора 1 під дією сили тиску робочої рідини p (при його «спливі») призводить до утворення зазору G у точці C при контакті зубів у точках B та E (рис. 5, б). Наявність зазору G у точці C (рис. 5, б) говорить про те, що при



значеннях діаметрального зазору G більше критичного G_{lim} ($G > G_{lim}$), «самогерметизація» між камерами високого p_{in} і низького p_{out} тисків відсутня. Відсутність ефекту «самогерметизації» говорить про те, що між камерами нагнітання p_{in} і зливу p_{out} з'явилася витрата витоків і, отже, характеристики планетарного гідромотора при значенні діаметрального зазору $G > G_{lim}$ будуть змінюватися як у стандартної гідромашини об'ємної дії.

Аналіз кінематики переміщення роторів планетарних гідромашин [51, 52] дозволяє зробити висновок, що наявність діаметрального зазору G і відсутність жорсткого кінематичного зв'язку між роторами викликає додаткові переміщення роторів, змінюючи кінематику їх руху. Явище «самогерметизації» роторів планетарного гідромотора, викликане їх додатковими переміщеннями, обумовлює нестандартну зміну деяких вихідних характеристик гідромоторів даного типу. До нестандартних змін вихідних характеристик планетарного гідромотора відносяться: відсутність витрати витоків, немінуча за наявності зазору між роторами, і, як наслідок, стабілізація об'ємного ККД; зменшення кутової швидкості обертання вала гідромотора внаслідок додаткових переміщень ротора. Тому, для прогнозування зміни частоти обертання валу планетарного гідромотора в залежності від діаметрального зазору G , необхідно визначити залежності зміни сталої кутової швидкості обертання при теоретичному і реальному положенні його роторів.

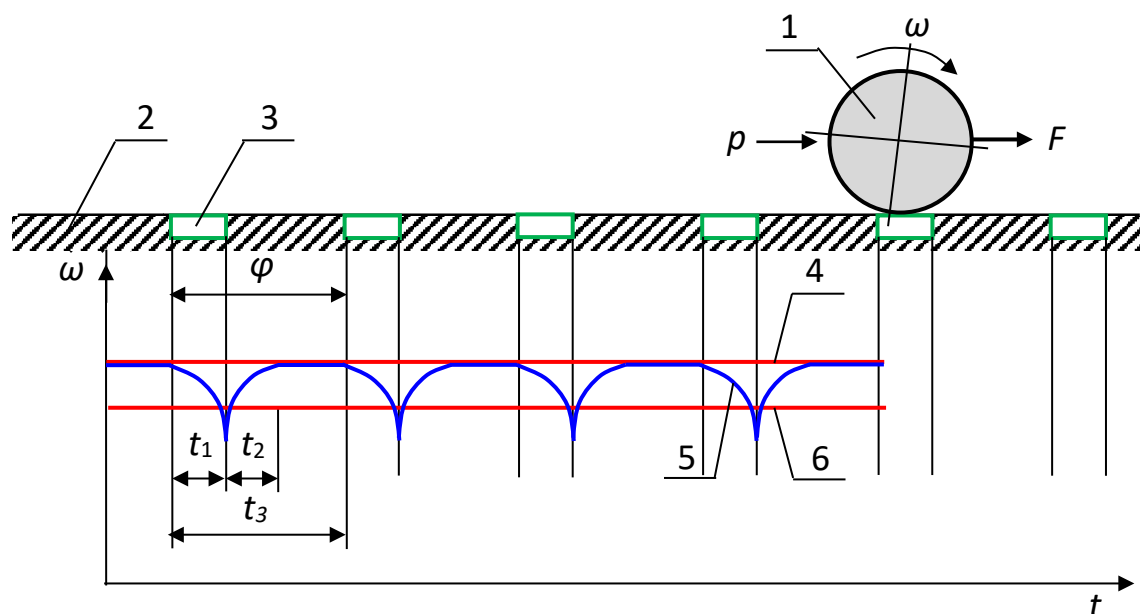
За допомогою розробленої фізичної моделі (рис. 6), що пояснює принцип роботи планетарного гідромотора, продемонстровано переміщення внутрішнього ротора 1, який під дією результуючої сили тиску робочої рідини p без ковзання котиться по «нескінченній» розгортці зовнішнього ротора 2. При відсутності діаметрального зазору теоретична кутова швидкість ω_T внутрішнього ротора 1 (рис. 6, крива 4) дорівнюватиме [51, 52]:

$$\omega_T = \frac{\pi \cdot Q}{30 \cdot V_0},$$

де Q – витрата робочої рідини, пройденої через гідромотор;

V_0 – робочий об'єм планетарного гідромотора.

Проведеними дослідженнями встановлено [5, 6, 51, 52], що за наявності діаметрального зазору та відсутності «жорсткого» кінематичного зв'язку між роторами планетарного гідромотора, під впливом тиску робочої рідини внутрішній ротор «спливає», тобто. переміщається без обертання. На фізичній моделі (рис. 6) внутрішній ротор 1, переміщаючись у зоні спливання 3, рухається без обертання, поступально (ковзає).



1 – внутрішній ротор; 2 – "нескінченна" розгортка зовнішнього ротора; 3 – зона «спливання» (уповільнення); 4 – теоретична кутова швидкість переміщення; 5 – реальна швидкість переміщення; 6 – середня швидкість переміщення внутрішнього ротора; t_1 – час "спливу"; t_2 – час розгону внутрішнього ротора; t_3 – загальний час повороту внутрішнього ротора

Рисунок 6. Фізична модель переміщення внутрішнього ротора за наявності діаметрального зазору

Час «спливання» t_1 необхідний для переміщення внутрішнього ротора 1 (рис. 6) у зоні «спливання» 3 (довжина ділянки ковзання) визначається величиною діаметрального зазору. Під час «спливу» t_1 відбувається уповільнення кутової швидкості ω_p обертання внутрішнього ротора 1. Після «самогерметизації» роторів, під час повороту t_2 внутрішнього ротора 1, на початку спостерігається його розгін протягом часу t_3 . Тому реальне значення кутової швидкості ω_p , з урахуванням поступальних переміщень (ковзання) внутрішнього ротора 1 можна зобразити кривою 5, а середнє значення параметра ω_p – кривою 6 (рис. 6).

При визначенні середнього значення параметра кутової швидкості ω_p (рис. 6, крива 6) прийемо наступні припущення: всі ділянки зони «спливання» 3 рівні між собою і визначаються величиною діаметрального зазору G , а час «спливання» t_1 (уповільнення) внутрішнього ротора 1 дорівнює часу його розгону t_2 .

Так як під час «спливання» внутрішній ротор 1 переміщається поступально, на величину діаметрального зазору G , то з урахуванням геометричних параметрів внутрішнього ротора 1, час «спливання» t_1 можна визначити, як [51, 52]:



$$t_1 = \frac{G \cdot D_{e1} \cdot b_1}{4Q \cdot \cos \delta}, \quad (1)$$

де D_{e1} – діаметр розташування центру зубів внутрішнього ротора 1;
 b_1 – ширина внутрішнього ротора 1;
 $\cos \delta$ – кут нормалі «спливання».

Звідси випливає, що зі збільшенням діаметрального зазору G (при зносі) час «спливу» t_1 зростає.

Кут повороту φ внутрішнього ротора 1, який здійснюється протягом часу t_3 залежить від числа його зубів z_1 і дорівнює $\varphi = 2 \cdot \pi / z_1$.

Тоді, з урахуванням прийнятих припущень, маємо:

$$\omega_T = \frac{2\pi \cdot / z_1}{t_3 - 2t_1}, \quad (2)$$

$$\omega_p = \frac{2\pi \cdot / z_1}{t_3}, \quad (3)$$

З рівняння (2) визначимо загальний час повороту t_3 внутрішнього ротора, що характеризує швидкість повороту

$$t_3 = \frac{2\pi}{\omega_T \cdot z_1} - 2t_1. \quad (4)$$

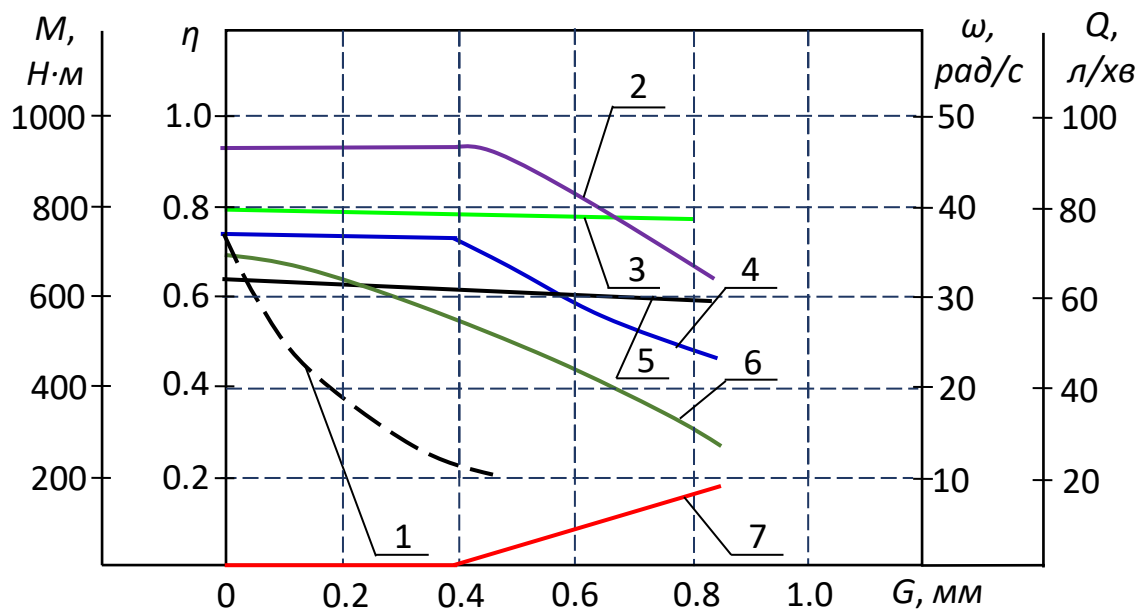
Дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора планетарного гідромотора за наявності діаметрального зазору G , дозволили отримати математичний апарат, що описує залежність зміни сталої кутової швидкості ω_p , яка визначається сукупністю рівнянь (1), (2), (3) і (4).

В результаті теоретичних досліджень розроблено фізичні моделі та математичний апарат, що дозволяють описати взаємозв'язок конструктивних особливостей внутрішнього і зовнішнього роторів та вихідних характеристик планетарного гідромотора.

Дослідження зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора за наявності діаметрального зазору проводилося шляхом моделювання кінематики руху роторів за допомогою системи динамічного моделювання VisSim. Моделювання проводилося для планетарного гідромотора потужністю 22 кВт з робочим об'ємом 250 см³ залежно від зміни значень діаметрального зазору G між його роторами [51, 52]. При дослідженні процесів зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора в залежності від зміни діаметрального зазору G (рис. 7) використовувався розроблений математичний апарат.

Дослідження зміни загального ККД стандартної роторної гідромашини об'ємного принципу дії проводилося за даними аксіально-поршневого гідромотора MFS90 з робочим об'ємом 89 см³ [51, 52]. Під

час визначення загального ККД аксіально-поршневого гідромотора використовували загальновідомі математичні залежності.



1 – загального ККД аксіально-поршневого гідромотора; 2 – об'ємного ККД; 3 – гідромеханічного ККД; 4 – загального ККД; 5 – крутного моменту M_{tor} ; 6 – кутової швидкості ω ; 7 – витрати витоків Q_r
Рисунок 7. Залежність зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора від діаметрального зазору

Аналіз залежності зміни функціональних характеристик планетарного гідромотора від діаметрального зазору G з урахуванням кінематики переміщення його роторів показує (рис. 7), що вони відрізняються від характеристик звичайних гідромашин об'ємної дії. Привертає увагу характер кривої 1, що характеризує залежність зміни загального ККД стандартної гідромашини об'ємної дії від зміни зазору між роторами (рис. 7). При зміні цього зазору в діапазоні 0...0,4 мм загальний ККД гідромашини об'ємної дії зменшується в 3,6 рази (0,75...0,21), що пояснюється перетічками, що зростають між її роторами. Загальний ККД планетарного гідромотора (рис. 7, крива 4) при аналогічних змінах діаметрального зазору G залишається практично незмінним, оскільки гідромеханічний та об'ємний ККД цієї гідромашини не змінюють своїх значень.

Високе значення (0,92) та сталість об'ємного ККД (рис. 7, крива 2) планетарного гідромотора пояснюється властивістю його роторів «самогерметизуватися» у процесі переміщення, усуваючи перетікання в діаметральному напрямку.

Постійне значення гідромеханічного ККД (рис. 7, крива 3) і крутного моменту (рис. 7, крива 5) при зміні зазору між роторами



гідромашин об'ємної дії це нормальне явище для всіх гідромашин такого типу.

На особливу увагу заслуговує зміна кутової швидкості обертання валу планетарного гідромотора (рис. 7, крива 6) значення якої зменшуються від 35 до 27 рад/с при збільшенні зазору від 0 до 0,4 мм. Така зміна кутової швидкості валу планетарного гідромотора пояснюється додатковими переміщеннями його внутрішнього ротора, що виникли за наявності діаметрального зазору та відсутності «жорсткого» кінематичного зв'язку між центрами його роторів.

Аналіз представлених залежностей показує (рис. 7), що критичне значення діаметрального зазору дорівнює $G_{lim} = 0.4$ мм. При зміні діаметрального зазору G , залежно від ступеня зношування зубчастих поверхонь роторів, зміну вихідних характеристик планетарного гідромотора можна розділити на дві ділянки. Перша ділянка при значеннях діаметрального зазору $G = 0 \dots 0.4$ мм менше критичного G_{lim} ($G < G_{lim}$), а друга при значеннях діаметрального зазору $G = 0.4 \dots 0.8$ мм більше критичного G_{lim} ($G > G_{lim}$).

Усі розглянуті залежності (рис. 7, криві 2, 3, 4, 5 і 7) зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора в залежності від діаметрального зазору, представлені на першій ділянці (при $G < G_{lim}$) паралельні осі абсцис. Це свідчить про «самогерметизацію» роторів планетарного гідромотора, у яких відсутня «жорстка» міжцентрова відстань.

Порівняння залежностей зміни загального ККД (рис. 7, крива 1) аксіально-поршневого гідромотора та загального ККД планетарного гідромотора (рис. 7, крива 4) вказує на суттєву різницю в характері їх зміни. Така відмінність пояснюється тим, що у стандартної роторної гідромашини об'ємної дії при значеннях діаметрального зазору $G = 0 \dots 0.4$ мм (перша ділянка) мають місце великі витоки в робочих камерах. У зв'язку з цим об'ємний ККД, а отже, і загальний ККД аксіально-поршневого гідромотора, зменшується до значення 0.2, що унеможливорює його подальшу експлуатацію.

Привертає увагу різке зменшення кутової швидкості від 34 до 27 рад/с (рис. 7, крива 6), викликане додатковими переміщеннями внутрішнього ротора планетарного гідромотора на ділянці, що розглядається.

Характер зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора (рис. 7), що представлені на другій ділянці (при $G > G_{lim}$) підтверджує дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора та пояснює нестандартні зміни розглянутих характеристик. При значеннях діаметрального зазору $G = 0.4 \dots 0.8$ мм зміна загального ККД аксіально-поршневого гідромотора (рис. 7, крива 1) не розглядалася через непроездатність гідромашини в цьому діапазоні зазорів між



робочими елементами.

Усі інші залежності (рис. 7, криві 2, 3, 4, 5, 6 та 7) зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора від діаметрального зазору, що представлені на другій ділянці (при $G > G_{lim}$) можна розділити на дві групи.

Перша група – це залежності, характер зміни яких є продовженням відповідних залежностей, зазначених на першій ділянці ($G < G_{lim}$). До цієї групи (рис. 7) відносяться залежності зміни гідромеханічного ККД (рис. 7, крива 3), крутного моменту (рис. 7, крива 5) і кутової швидкості (рис. 7, крива 6), характер зміни яких залишився незмінним. У діапазоні зміни діаметрального зазору $G = 0...0.8$ мм зменшення гідромеханічного ККД становлять 3% (0.8...0.78), крутного моменту – 5% (620...595 Н·м), а кутової швидкості – 56% (34...15 рад/с).

Друга група – це залежності, характер зміни яких різко відрізняється від відповідних залежностей, представлених першому ділянці ($G < G_{lim}$). До цієї групи належать (рис. 7) залежності зміни об'ємного ККД (рис. 7, крива 2), загального ККД (крива 4) та витрати витоків (рис. 7, крива 7). У діапазоні зміни діаметрального зазору $G = 0.4...0.8$ мм зменшення об'ємного ККД становить 18% (0.94...0.68), загального ККД – 35% (0.73...0.48) та спостерігається збільшення витрати витоків від 0 до 17 л/хв. Ці зміни підтверджують дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора та пояснюються наявністю витрати витоків (рис. 7, крива 7) через зазор G , що утворився в точці C торкання зубів роторів (рис. 5, б). Наявність витрати витоків (рис. 7, крива 7) між камерами високого і низького тисків (рис. 1.5) є фактором, що знижує об'ємний (рис. 7, крива 2), і як наслідок, загальний ККД (рис. 7, крива 4) досліджуваного планетарного гідромотора за зміни діаметрального зазору в діапазоні $G = 0.4...0.8$ мм.

Проведені дослідження дозволяють прогнозувати зміни вихідних характеристик планетарних гідромоторів та гідроприводів самохідної техніки в цілому як на стадії розробки, так і на стадії проектування.

Висновок. В результаті проведених досліджень розроблено кінематичну схему переміщення роторів планетарного гідромотора, яка дозволила обґрунтувати кінематику руху роторів планетарного гідромотора та проаналізувати зміну його вихідних характеристик.

Дослідження фізичної моделі переміщення внутрішнього ротора планетарного гідромотора дозволили отримати математичний апарат, що описує залежності зміни реального значення кутової швидкості в залежності від діаметрального зазору. Це дозволить визначати кількісні значення діаметрального зазору (знос зубчастих поверхонь роторів) у процесі експлуатації планетарного гідромотора.

Аналіз досліджень зміна вихідних характеристик планетарного гідромотора шляхом моделювання кінематики руху його роторів



показує, що до нестандартних змін вихідних характеристик гідромоторів даного типу відносяться зміни загального ККД і зміни кутової швидкості обертання його валу. При зміні зазору між роторами в діапазоні 0...0,4 мм загальний ККД гідромашини об'ємної дії зменшується в 3,6 рази (0,75...0,21), що пояснюється перетічками, які зростають між її роторами. Загальний ККД планетарного гідромотора за аналогічних змін діаметрального зазору G залишається практично незмінним.

Високе значення (0,92) та сталість об'ємного ККД планетарного гідромотора пояснюється властивістю його роторів «самогерметизуватися» у процесі переміщення усуваючи перетікання в діаметральному напрямку.

Аналіз досліджень зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора шляхом моделювання кінематики руху його роторів показує, що при значеннях діаметрального зазору 0...0.4 мм на першій ділянці всі розглянуті залежності зміни вихідних характеристик орбітального гідромотора від діаметрального зазору паралельні осі абсцис. Це свідчить про «самогерметизацію» роторів орбітального гідромотора, проте, привертає увагу значне від 34 до 27 рад/с зменшення кутової швидкості, викликане додатковими переміщеннями внутрішнього ротора.

Характер зміни вихідних характеристик, представлених на другій ділянці, підтверджує дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора і пояснює нестандартні зміни розглянутих характеристик. При значеннях діаметрального зазору 0.4...0.8 мм, усі отримані залежності зміни вихідних характеристик поділяються на дві групи:

– перша група – це залежності зміни гідромеханічного ККД, крутного моменту та кутової швидкості, характер зміни яких залишився незмінним. Встановлено, що зменшення гідромеханічного ККД становлять 3%, крутного моменту – 5 %, а кутової швидкості – 56 %. Зменшення кутової швидкості від 34 до 27 рад/с викликано додатковими переміщеннями внутрішнього ротора на ділянці, що розглядається;

– друга група – це залежності, що характеризують зменшення об'ємного ККД на 18%, загального ККД на 35% та збільшення витрати витоків від 0 до 17 л/хв. Ці зміни підтверджують дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора і пояснюються наявністю витрати витоків між камерами високого та низького тисків, і тому є фактором, що знижує об'ємний і, як наслідок, загальний ККД гідромотора, що досліджується.

Список використаних джерел



1. Gamez-Montero P., Codina E. and Castilla R. A Review of Gerotor Technology in Hydraulic Machines. *Energies*. 2019. 12 (12). 2423. <https://doi.org/10.3390/en12122423>.
2. Panchenko A., Voloshina A., Milaeva I., Luzan P. Operating Conditions' Influence on the Change of Functional Characteristics for Mechatronic Systems with Orbital Hydraulic Motors. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham. 2019. 169–176. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_18.
3. Voloshina A., Panchenko A., Boltyansky O., Titova O. Improvement of Manufacture Workability for Distribution Systems of Planetary Hydraulic Machines. In: Ivanov, V. (eds). *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II*. DSMIE 2019: LNME. Springer, Cham. 2019. 732–741. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_73.
4. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Засядько А.І. Поліпшення вихідних характеристик планетарних гідромашин. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 2. С. 68–85. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-2-68-85>.
5. Panchenko A., Voloshina A., Milaeva I., Panchenko I., Titova O. The Influence of the form Error after Rotor Manufacturing on the Output Characteristics of an Orbital Hydraulic Motor. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. 7 (4.3). 1–5. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19542>.
6. 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*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 33–48. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-33-48>.
7. Panchenko A., Voloshina A., Panchenko I., Titova O., Pastushenko A. Reliability design of rotors for orbital hydraulic motors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 708 (1). 012017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012017>.
8. 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. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-82-92>.
9. Panchenko A., Voloshina A., Titova O., Panchenko I., Zasiadko A. The Study of Dynamic Processes of Mechatronic Systems with Planetary Hydraulic Motors. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds). *Advanced Manufacturing Processes II*. InterPartner 2020: LNME. Springer, Cham. 2021. 704–713. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_68.
10. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А. Дослідження динамічних характеристик мехатронних систем з



гідравлічним приводом. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 58–72. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-58-72>.

11. Voloshina A., Panchenko A., Panchenko I., Titova O., Caldare A. Design of Hydraulic Mechatronic Systems with Specified Output Characteristics. In: Ivanov, V. (eds). *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III*. DSMIE 2020: LNME. Springer, Cham. 2020. 42–51. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_5.

12. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Волошин А.А. Проектування мехатронних систем з заданими вихідними характеристиками. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 18–35. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-18-35>.

13. Voloshina A., Panchenko A., Titova O., Milaeva I., Pastushenko A. Prediction of Changes in the Output Characteristics for the Planetary Hydraulic Motor. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds). *Advanced Manufacturing Processes II*. InterPartner 2020: LNME. Springer, Cham. 2021. 744–754. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_72.

14. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Засядько А.І. Прогнозування зміни вихідних характеристик при проектуванні планетарного гідромотора. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 91–105. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-91-105>.

15. Voloshina A., Panchenko A., Panchenko I., Zasiadko A. Geometrical Parameters for Distribution Systems of Hydraulic Machines *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham. 2019. 323–336. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_34.

16. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А. Обґрунтування геометричних параметрів розподільних систем планетарних гідромашин. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20. Т. 2. С. 23–35. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-2-23-35>.

17. Voloshina A., Panchenko A., Boltyansky O., Panchenko I., Titova O. Justification of the Kinematic Diagrams for the Distribution System of a Planetary Hydraulic Motor. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. 7 (4.3). 6–11. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19544>.

18. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А. Обґрунтування кінематичних схем розподільних систем гідромашин планетарного типу. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 30–49. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-18-2-29-48>.

19. Voloshina A., Panchenko A., Panchenko I., Titova O., Zasiadko A. Improving the output characteristics of planetary hydraulic machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 708 (1). 012038. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012038>.

20. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А.,



Пастушенко С. І. Обґрунтування розташування вікон розподільних систем планетарних гідромашин. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 3–20. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-3-20>.

21. Ivanovic L., Miric N., Devedzic G., Ćuković S. Analysis of forces and moments in gerotor pumps. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2010. 10 (224). 2257–2269.

22. Gamez-Montero 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*. 2012. 5 (134). No: 054502-7. <https://doi.org/10.1115/1.4006440>.

23. Choi T., Kim M., Lee G., Jung S., Bae J. Kim C. Design of Rotor for Internal Gear Pump Using Cycloid and Circular-Arc Curves. *Journal of Mechanical Design*. 2012. 1 (134). 011005-12. <https://doi.org/10.1115/1.4004423>.

24. Stryczek J., Bednarczyk S., Biernacki K. Strength analysis of the polyoxymethylene cycloidal gears of the gerotor pump. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2014. 4 (14). 647–660. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2013.12.005>.

25. Biernacki K. Analysis of the Material and Design Modifications Influence on Strength of the Cycloidal Gear. *System International journal of precision engineering and manufacturing*. 2015. 3 (16). 537–546.

26. Biernacki K. Methods of Increasing Loadability for the Plastic Cycloidal Gears. *Fundamentals of machine design*. 2012. 490. 156–165.

27. Biernacki K. Selection of the optimum tooth profile for plastic cycloidal gears. *Proceedings of the institution of mechanical engineers part c-journal of mechanical engineering science*. 2014. 18 (228). 3395–3404. <https://doi.org/10.1177/0954406214531408>.

28. Furustig J., Almqvis A., Bates C., Ennemark P., Larsson R. A twoscale mixed lubrication wearing-in model, applied to hydraulic motors. *Tribology International*. 2015. 90. 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.04.033>.

29. Furustig J, Almqvist A and Pelcastre, L A strategy for wear analysis using numerical and experimental tools, applied to orbital type hydraulic motors *Proceedings of the institution of mechanical engineers part c-journal of mechanical engineering science*. 2016. 12 (230). 2086–2097. <https://doi.org/10.1177/0954406215590168>.

30. Bonandrini, G., Mimmi, G., Rottenbacher, C. Theoretical analysis of internal epitrochoidal and hypotrochoidal machines. *Proc. Inst. Mech. Eng.* 2009. 223. 1469–1480. <https://doi.org/10.1243/09544062JMES1163>.

31. Bonandrini, G., Mimmi, G., Rottenbacher, C. Theoretical Analysis of an Original Rotary Machine. *J. Mech. Des.* 2010. 132(2). 024501. <https://doi.org/10.1115/1.4000698>.

32. Kwon, S.-M., Kang, H.S., Shin, J.-H. Rotor profile design in a



hypogerotor pump. *J. Mech. Sci. Technol.* 2010. 23. 3459–3470. <https://doi.org/10.1007/s12206-009-1007-y>.

33. Hsieh, C.-F., Hwang, Y.-W. Geometric design for a gerotor pump with high area efficiency. *J. Mech. Des.* 2007. 129, 1269–1277. <https://doi.org/10.1115/1.2779887>.

34. Hwang, Y.-W., Hsieh, C.-F. Geometric design using hypotrochoid and nonundercutting conditions for an internal cycloidal gear. *J. Mech. Des.* 2007. 129 (4), 413–420. <https://doi.org/10.1115/1.2437806>.

35. Kwon, S.-M., Kim, C.-H., Shin, J.-H. Analytical wear model of a gerotor pump without hydrodynamic effect. *J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf.* 2008. 2, 230–237. <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2.230>.

36. Bonandrini, G., Mimmi, G., Rottenbacher, C. Design and simulation of meshing of a particular internal rotary pump. *Mech. Mach. Theory.* 2012. 49. 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2011.11.001>.

37. Ivanovic', L.; Mackic', T.; Stojanovic', B. Analysis of the instantaneous friction coefficient of the trochoidal gear pair. *J. Balk. Tribol. Assoc.* 2016. 22. 281–293.

38. Yang, D.C.H., Yan, J., Tong, S.-H. Flowrate formulation and displacement analyses for deviation function-based gerotor pumps. *Proc. Inst. Mech. Eng.* 2011. 225, 480–487. <https://doi.org/10.1243/09544062JMES2203>.

39. Ivanovic', L., Rakic', B., Stojanovic', B., Matejic', M. Comparative analysis of analytical and numerical calculations of contact stresses at rotational elements of gerotor pumps. *Appl. Eng. Lett.* 2016. 1. 1–7.

40. Kwak, H.-S., Li, S.-H., Kim, C. Optimal design of the gerotor (2-ellipses) for reducing maximum contact stress. *J. Mech. Sci. Technol.* 2016. 30. 5595–5603. <https://doi.org/10.1007/s12206-016-1128-z>.

41. Ivanovic', L.T., Velic'kovic', S.N., Stojanovic', B.Ž., Kandeва, M., Jakimovska, K. The selection of optimal parameters of gerotor pump by application of factorial experimental design. *FME Trans.* 2017. 45. 159–164.

42. Robison, A., Vacca, A. Multi-objective optimization of circular-toothed gerotors for kinematics and wear by genetic algorithm. *Mech. Mach. Theory.* 2018. 128. 150–168. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.05.011>.

43. Robinson, A., Vacca, A. Multi-Objective Optimization of Gerotor Port Design by Genetic Algorithm with Considerations on Kinematic vs. Actual Flow Ripple. *SAE Technical Papers.* 2019. 2019-01-0827. <https://doi.org/10.4271/2019-01-0827>.

44. De Martin, A., Jacazio, G., Sorli, M. Optimization of gerotor pumps with asymmetric profiles through evolutionary strategy algorithm. *Machines.* 2019. 7. 17. <https://doi.org/10.3390/machines7010017>.

45. Bae, J., Kwak, H., San, S., Kim, C. Design and CFD analysis of



gerotor with multiple profiles (ellipse–involute–ellipse type and 3-ellipses type) using rotation and translation algorithm. *Proc. IMechE Part C*. 2016. 230. 804–823. <https://doi.org/10.1177/0954406215583888>.

46. Gamez-Montero, P.J., Castilla, R., Mujal, R., Khamashta, M., Codina, E. GEROLAB package system: Innovative tool to design a trochoidal-gear pump. *J. Mech. Des.* 2009. 131. 074502. <https://doi.org/10.1115/1.3125889>.

47. Pellegri, M., Vacca, M., Frosina, E., Buono, D., Senatore, A. Numerical analysis and experimental validation of Gerotor pumps: A comparison between a lumped parameter and a computational fluid dynamics-based approach. *Proc. IMechE Part C*. 2016. <https://doi.org/10.1177/0954406216666874>.

48. 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*. 2021. 1741. 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012045>.

49. Voloshina, A., Panchenko, A., Titova, O., Pashchenko, V., Zasiadko, A. Experimental studies of a throughput of the distribution systems of planetary hydraulic motors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1021. 012054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012054>.

50. 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>.

51. 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*, 2021. 1021. 1. 012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012045>.

52. Panchenko, A., Voloshina, A., Sadullozoda, S.S., Panchenko, I., Mitin, V. The Changes in the Output Parameters of Planetary Hydraulic Machines with the Increase in the Gap Between Their Rotors. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds). *Advanced Manufacturing Processes IV*. InterPartner 2022: LNME. Springer, Cham. 2023. 540–551, https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_51.

Стаття надійшла до редакції 21.02.2023 р.



A. Panchenko¹, A. Voloshina¹, I. Panchenko¹, A. Voloshin²
¹Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
²Melitopol Vocational College of TSATU

INFLUENCE OF THE VALUE OF THE DIAMETER GAP ON THE KINEMATICS OF MOVEMENT OF THE INNER ROTOR OF THE ORBITAL HYDROMOTOR

Summary

Orbital hydraulic motors are widely used in the gearless hydraulic drive of mechatronic systems of active working parts of self-propelled vehicles. A distinctive feature of the orbital hydraulic motor is its outer and inner rotor with a hypocycloidal tooth profile, between the centers of which there is no “rigid” kinematic connection. Such an arrangement of the rotors of the orbital hydraulic motor leads to non-standard changes in its characteristics during operation, which in turn limits the stability of the output characteristics of the hydraulic drives of self-propelled vehicles. By studying the kinematics of movement of the inner rotor of an orbital hydraulic motor, it has been established that the rotor can occupy two positions: when the value of the diametral clearance is less than the critical value (“self-sealing”) of the rotors and when the value of the diametral clearance is greater than the critical value (“depressurization”). With a change in the gap between the rotors in the range of 0 ... 0.4 mm, the overall efficiency of the volumetric hydraulic machine decreases by 3.6 times, which is explained by increasing leakage between its rotors. The high value (0.92) and the constancy of the volumetric efficiency of the orbital hydraulic motor is explained by the property of its rotors to “seal itself” in the process of moving, eliminating leakage. When the gap between the rotors changes in the range of 0.4...0.8 mm, the angular velocity decreases from 34 to 27 rad/s, caused by additional movements of the inner rotor in the area under consideration. The decrease in volumetric efficiency by 18%, overall efficiency by 35% and the increase in leakage flow from 0 to 17 l/min is due to the presence of leakage flow between the high and low pressure chambers.

Key words: orbital hydraulic motor, rotor, self-sealing, depressurization, diametral clearance, angular velocity, leakage rate, efficiency.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-4

УДК 621.892: 631.3.004

Д. П. Журавель, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

А. М. Бондар, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4761-9084

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua, тел.: 096-878-24-53

ОБГРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ РОБОЧИХ РІДИН НА НАДІЙНІСТЬ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

Анотація. в роботі обгрунтована методика та устаткування для очищення робочих рідин та проведена оцінка впливу з'єднання фільтрів на надійність гідравлічних систем. Розроблено та досліджено математичні моделі надійності системи очищення відпрацьованих гідравлічних оли. Отримано ймовірності станів, які покладені в основу визначення комплексних показників надійності гідравлічної системи сільськогосподарської техніки. В цілому надійність всієї гідравлічної системи залежить від надійності всіх її елементів, а також від якісних показників робочих рідин. Встановлено, що найбільш ефективною системою з'єднання фільтрів слід вважати комбіноване з'єднання, що складається з одного гравітаційного фільтра грубого очищення і трьох перколяційних фільтрів адсорберів. Максимальною імовірністю знаходження фільтрів в справному стані є система з комбінованим з'єднанням фільтрів, ($p_0 = 0,8984$)

Ключові слова: система очищення, надійність системи, відпрацьована гідравлічна олива, фільтрація, з'єднання фільтрів, інтенсивність і ймовірність відмови, інтенсивність відновлення, ресурс.

Постановка проблеми. Не дивлячись на глибокі зміни якісних показників при роботі робочих рідин в гідравлічних системах, основний її вуглеводневий склад змінюється незначно. Якщо з оливи видалити всі механічні домішки і продукти окислення, загальна кількість яких зазвичай не перевищує 4-6 %, то знову можна отримати очищену оливу хорошої якості. А саме на цьому принципі основана система повторного використання оливи, яка дозволить значно скоротити їх витрату для АПК України [1-6].

Аналіз останніх досліджень. Якість робочих рідин характеризується такими загальними фізико-хімічними властивостями,



як кінематична в'язкість, забруднення, температура застигання і спалаху, корозійні властивості і деякі інші. Дані властивості відіграють вирішальну роль для знаходження меж використання олив під час роботи сільськогосподарської техніки [7-10].

В'язкість олив впливає як на режим змащування, так і на експлуатаційні характеристики вузлів і агрегатів – величину крутного моменту, циркуляційні витоки через ущільнення, надійність запуску тощо. Забруднення олив – природний процес, який відбувається внаслідок багатогранних процесів. Основною причиною є забруднення оливи металічними домішками в результаті зносу деталей. Також забруднення відбуваються із-за попадання домішок з атмосфери при заправці, транспортуванні і неправильному зберіганні. Вода також є небажаною домішкою в оливі, так як вона при з'єднанні з сіркою дає реакцію, в результаті якої утворюється сірчана і сірчиста кислоти, які підвищують кислотну агресивність оливи. Для справної функціональної системи вміст води в оливі становить 0,03-0,05%. Перевищення гранично допустимих значень прискорює окислюваність оливи, піддаються гідролізу присадки, порушується колоїдна стабільність забруднень, і внаслідок їх коагуляції блокуються оливні фільтри, погіршуються протикорозійні та протизносні властивості оливи. Температура спалаху в відкритому тиглі – це температура до якої необхідно нагріти оливу, щоб пари її утворили з повітрям вибухову суміш, яка спалахує при піднесенні до неї полум'я. Температура спалаху характеризує вогнебезпечність оливи і вказує на наявність низько киплячих фракцій. Показником корозійних властивостей є втрата маси свинцевих пластин, яка виражена в $г/м^2$ [11-16].

Конкретний метод очищення вибирається виходячи з характеру забруднення, загального складу оливи і необхідного ступеня очищення. При комплексному забрудненні може бути використано кілька стадій очищення оливи з використанням різних методів. В першу чергу проводять очищення від найбільш великих і найбільш легко відокремлюваних забруднень, після чого слідує стадія тонкого очищення. Якщо установка очищення орієнтована на роботу з різними сортами оливи і видами їх забруднень, то в її склад можуть входити апарати очищення різних конструкцій, що підключаються в роботу по необхідності в залежності від конкретного випадку [17-22].

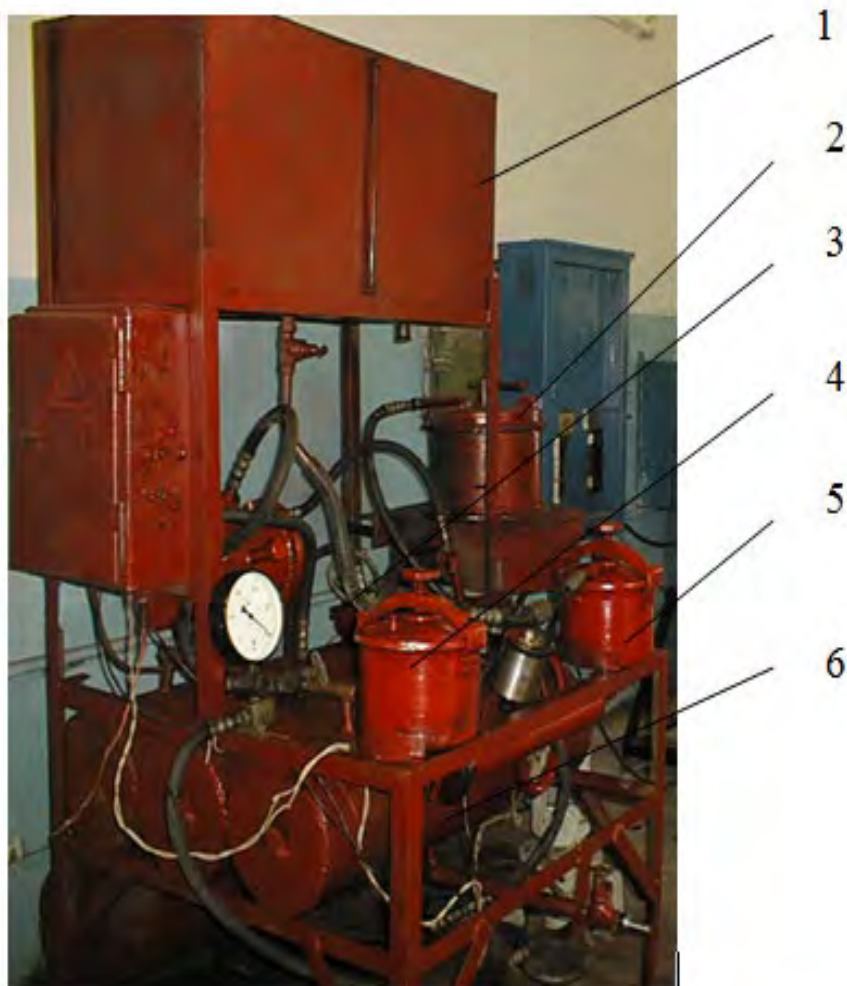
Формулювання мети статті. Обґрунтування методики та устаткування для очищення робочих рідин та проведення оцінки впливу з'єднання фільтрів на надійність гідравлічних систем.

Основна частина. Нами розроблена установка УВОМ-200 для очищення робочих рідин, загальний вигляд якої наведено на рис.1.

Принцип дії установки полягає в наступному: відпрацьована робоча рідина із бака 1 поступає в гравітаційний фільтр грубого

очищення (ГФГО) 2 за допомогою гідронасосу 3. Гравітаційний фільтр грубого очищення складається із корпусу, вхідного і вихідного патрубків, кришки і набору пластин, які виконують функцію гравітаційного очищувача. На цих пластинах під дією гравітаційної сили затримуються грубі механічні домішки. Після чого робоча рідина поступає в перколяційні фільтри адсорбери (ПФА) 4 і 5.

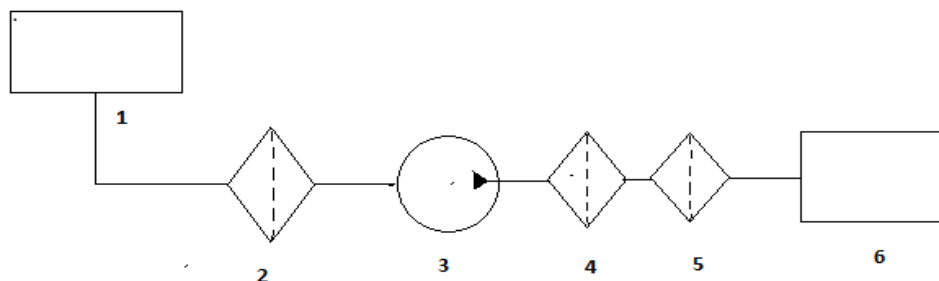
Перколяційні фільтри адсорбери складаються із корпусу, вхідного і вихідного патрубків, кришки і фільтруючого пакету. В якості адсорбенту використовувався модифікований кремнезем, який є широко розповсюдженим природним матеріалом. Процес очищення полягає в проходженні забрудненої оливи через шар адсорбенту. При цьому відбувається відділення частинок твердодисперсної фази, води та органічних з'єднань золистого характеру.



1 – бак для забрудненої оливи; 2 – гравітаційний фільтр грубого очищення (ГФГО); 3 – гідронасос; 4, 5 – перколяційний фільтр адсорбер (ПФА); 6 – бак для очищеної оливи

Рисунок 1. Загальний вигляд установки УВOM-200 для очищення відпрацьованих робочих рідин для гідравлічних систем

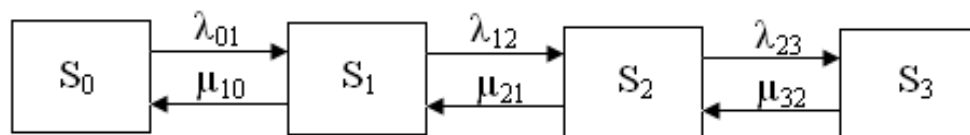
Розглянемо систему для очищення відпрацьованої гідравлічної оливи, яка складається з ГФГО (2), насосу і двох ПФА (4,5), з'єднаних послідовно (рис. 2).



1-бак для забрудненої оливи; 2-ГФГО; 3-гідронасос; 4-ПФА-1; 5-ПФА-2; 6-бак для очищеної оливи

Рисунок 2. Принципіальна схема системи очищення відпрацьованих робочих рідин з послідовно з'єднаними ПФА

Виконаємо теоретичну оцінку надійності системи очищення відпрацьованих робочих рідин при послідовному з'єднанні фільтрів. Систему очищення представимо у вигляді графа станів, який наведено на рис. 3.



S_0 - справний стан системи очищення; S_1 - вихід з ладу ГФГО; S_2 - вихід з ладу ПФА-1; S_3 - вихід з ладу ПФА-2

Рисунок 3. Граф станів системи очищення відпрацьованих робочих рідин при послідовному з'єднанні фільтрів

Досліджувальна система має 4 стани, які описані вище. Всі переходи системи зі стану S_a в S_b відбуваються під впливом найпростіших потоків подій з інтенсивностями $\lambda(a, b)$.

Так, перехід системи зі стану S_0 в S_1 буде відбуватися під впливом потоку відмов першого вузла, а зворотній перехід зі стану S_1 в S_0 - під впливом потоку відновлення, або "закінчення ремонтів" першого вузла і т.п.

Потік відмов фільтрів приймаємо як найпростіший, і час між відмовами в цьому потоці розподіляється по показовому закону і визначається параметрами інтенсивності відмов:

$$\lambda = \frac{1}{t_6}, \quad (1)$$

де t_6 – середній час безвідмовної роботи фільтра.



Час між відновленнями також розподіляється по показовому закону і також визначається параметрами інтенсивності відновлення:

$$\mu = \frac{1}{t_p}, \quad (2)$$

де t_p – середній час відновлення справного стану заміною фільтра.

Використовуючи правило Колмогорова (рівняння граничних ймовірностей), запишемо систему диференціальних рівнянь ймовірностей станів для рис.3.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda_{01}p_0 + \mu_{10}p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_{01}p_0 - \lambda_{12}p_1 + \mu_{12}p_2 - \mu_{10}p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_{12}p_1 - \mu_{21}p_2 - \lambda_{23}p_2 + \mu_{32}p_3 \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_{23}p_2 - \mu_{32}p_3 \end{array} \right. \quad (3)$$

Якщо ліві частини рівнянь прирівняти до нуля, то отримаємо систему алгебраїчних рівнянь граничних станів. Використовуючи нормувальну умову:

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1, \quad (4)$$

а також умову, що при $t = 0$, $p_0 = 1$, отримаємо вирази для визначення ймовірності знаходження досліджуваних фільтрів в справному стані:

$$p_{0П} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}}} \quad (5)$$

Ймовірність відмови ГФГО визначається за формулою:

$$p_{1П} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} p_{0П} \quad (6)$$

Ймовірність відмови ПФА-1 визначається за формулою:



$$P_{2П} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П} \quad (7)$$

Імовірність відмови ПФА-2 визначається за формулою:

$$P_{3П} = \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{10}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П} \quad (8)$$

Якщо взяти за пропускну здатність установки 0,3 л/хв, то інтенсивності відмов розподіляться таким чином:

$$\lambda_{01} = 1/3 = 0,333, \lambda_{12} = 1/6 = 0,167, \lambda_{23} = 1/12 = 0,083.$$

Інтенсивності відновлення розподіляться таким чином:

$$\mu_{10} = 3, \mu_{21} = 2, \mu_{31} = 1.$$

Розраховуємо імовірність знаходження досліджуваних фільтрів в справному стані:

$$\begin{aligned} P_{0П} &= \frac{1}{1 + \frac{0,333}{3} + \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 1} + \frac{0,083 \cdot 0,167 \cdot 0,333}{3 \cdot 2 \cdot 1}} = \\ &= \frac{1}{1 + 0,111 + 0,0278 + 0,00077} = 0,87827 \end{aligned}$$

Розраховуємо ймовірність відмови фільтрів ПФА і ГФГО:

$$P_{1П} = \frac{0,333}{3} \cdot 0,87827 = 0,09749.$$

- для ПФА-1:

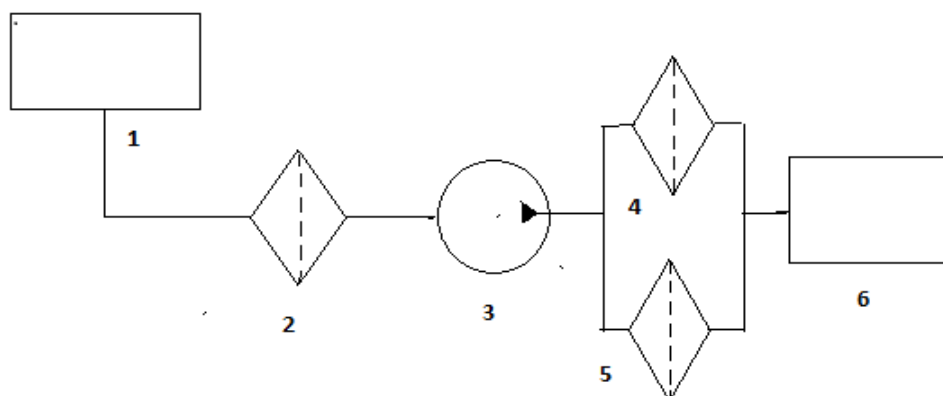
$$P_{2П} = \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 1} \cdot 0,87827 = 0,02442.$$

- для ПФА-2:

$$P_{3П} = \frac{0,083 \cdot 0,167 \cdot 0,333}{3 \cdot 2 \cdot 1} \cdot 0,87827 = 0,00002027.$$

Розглянемо систему для очищення відпрацьованої гідравлічної оливи, яка складається з ГФГО (2), гідронасосу і двох ПФА (4,5),

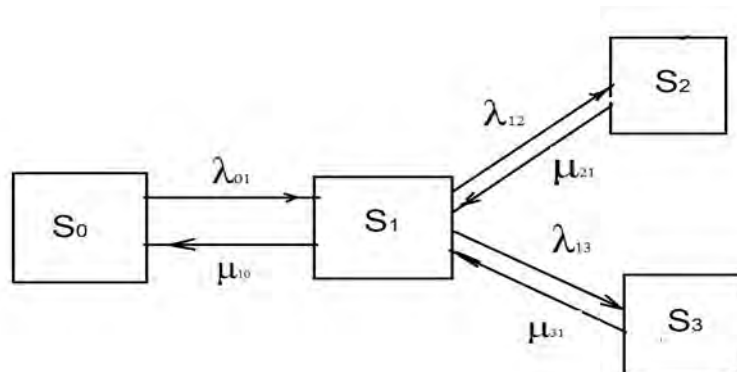
з'єднаних паралельно (рис. 4).



1 - бак для забрудненої оливи; 2 - ГФГО; 3 - гідронасос; 4 - ПФА-1; 5 - ПФА-2; 6 - бак для очищеної оливи

Рисунок 4. Принципіальна схема системи очищення відпрацьованих робочих рідин, з паралельним з'єднанням ПФА

Виконаємо теоретичну оцінку надійності системи очищення відпрацьованих робочих рідин при паралельному з'єднанні фільтрів. Систему очищення представимо у вигляді графа станів, який наведено на рис. 5.



S_0 - справний стан системи очищення; S_1 - вихід з ладу ГФГО; S_2 - вихід з ладу ПФА-1; S_3 - вихід з ладу ПФА-2

Рисунок 5. Граф станів системи очищення відпрацьованих гідравлічних олив при паралельному з'єднанні фільтрів

Проведемо математичний розрахунок ймовірностей знаходження системи фільтрів з паралельним підключенням ПФА-1 і ПФА-2 у робочому стані P_{opr} . Опускаючи диференціальну частину правила Колмогорова (рівняння граничних ймовірностей) і переходячи на алгебраїчну форму запишемо:

$$P_{opr} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{21} \cdot \mu_{10}} + \frac{\lambda_{13} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{31} \cdot \mu_{10}}} \quad (9)$$

Ймовірність відмови ГФГО виходячи із формули (1)



$$P_{1\text{пр}} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \cdot P_{0\text{пр}} \quad (10)$$

Імовірність відмови ГФГО і ПФА-1 знаходимо по формулі:

$$P_{2\text{пр}} = \frac{\lambda_{12} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{21} \cdot \mu_{10}} \cdot P_{0\text{пр}} \quad (11)$$

Імовірність відмови ГФГО і ПФА-2 знаходимо по формулі:

$$P_{3\text{пр}} = \frac{\lambda_{13} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{31} \cdot \mu_{10}} \cdot P_{0\text{пр}} \quad (12)$$

Якщо взяти за пропускну здатність установки 0,3 л/хв, то інтенсивності відмов розподіляться таким чином:

$$\lambda_{01} = 1/3 = 0,333, \quad \lambda_{12} = 1/6 = 0,167, \quad \lambda_{23} = 1/6 = 0,167.$$

Для досліджуваної схеми паралельного підключення фільтрів інтенсивність відновлення буде наступною:

$$\mu_{10} = 3, \quad \mu_{21} = 2, \quad \mu_{31} = 2.$$

Розрахуємо $P_{0\text{пр}}$ – ймовірність знаходження досліджуваних фільтрів в справному стані:

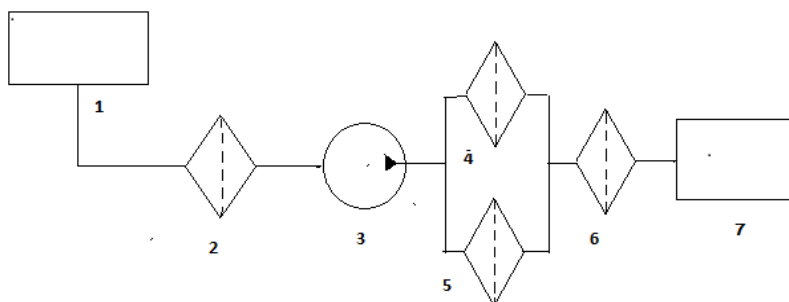
$$P_{0\text{пр}} = \frac{1}{1 + 0,111 + 0,00926 + 0,00926} = 0,88535.$$

Розрахуємо $P_{1\text{пр}}, P_{2\text{пр}}, P_{3\text{пр}}$, - імовірність відмов фільтрів при паралельному з'єднанні:

$$P_{1\text{пр}} = \frac{0,333}{3} \cdot 0,88535 = 0,09827.$$

$$P_{2\text{пр}} = P_{3\text{пр}} = \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 3} \cdot 0,88535 = 0,00821.$$

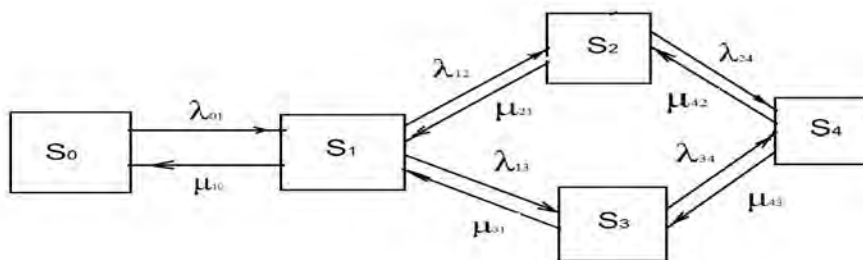
Розглянемо систему для очищення відпрацьованої гідравлічної оливи, яка складається з ГФГО (2), гідронасосу і двох ПФА (4,5), з'єднаних паралельно і одного ПФА (6) з'єданого послідовно (рис. 6).



1 - бак для забрудненої оливи; 2 - ГФГО; 3-гідронасос; 4 - ПФА-1; 5 - ПФА-2; 6 - ПФА-3; 7 - бак для очищеної оливи

Рисунок 6. Принципіальна схема системи очищення відпрацьованих гідравлічних оливи, з комбінованим (паралельно і послідовно) з'єднанням ПФА

Згідно алгоритму попереднього дослідження складаємо граф стану для комбінованої систем рис.6):



S₀ - справний стан системи очищення; S₁ - вихід з ладу ГФГО; S₂ - вихід з ладу ПФА-1; S₃ - вихід з ладу ПФА-2; S₄ - вихід з ладу ПФА-3

Рисунок 6. Граф станів системи очищення відпрацьованої гідравлічної оливи при комбінованому з'єднанні фільтрів

Запишемо формулу для визначення імовірності безвідмовної роботи системи з комбінованим з'єднанням ПФА.

$$P_{0к} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{21} \cdot \mu_{10}} + \frac{\lambda_{13} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{31} \cdot \mu_{10}} + \frac{\lambda_{24} \lambda_{12} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{42} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{10}} + \frac{\lambda_{34} \lambda_{13} \cdot \lambda_{01}}{\mu_{43} \cdot \mu_{31} \cdot \mu_{10}}} \quad (13)$$

Запишемо розподіл інтенсивності відмов :

$$\lambda_{01} = 1/3 = 0,333, \quad \lambda_{12} = 1/6 = 0,167, \quad \lambda_{13} = 1/6 = 0,167.$$

$$\lambda_{24} = 1/12 = 0,0833, \quad \lambda_{34} = 1/12 = 0,0833.$$

Для досліджуваної схеми комбінованого підключення фільтрів інтенсивність відновлення буде такою:

$$\mu_{10} = 3, \quad \mu_{21} = 2, \quad \mu_{31} = 2, \quad \mu_{42} = 1, \quad \mu_{43} = 1.$$



Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи системи з комбінованим з'єднанням ПФА.

$$P_{0к} = \frac{1}{1 + 0,111 + 0,00926 + 0,00926 + 0,00077} = 0,8984.$$

Далі аналогічно з попередніми розрахунками, розраховуємо ймовірності відмов фільтрів при комбінованому з'єднанні:

$$P_{1к} = \frac{0,333}{3} \cdot 0,8984 = 0,09972.$$

$$P_{2к} = P_{3к} = \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 3} \cdot 0,8984 = 0,00832.$$

$$P_{4к} = \frac{0,0833 \cdot 0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 3} \cdot 0,8984 = 0,000693.$$

Розрахунки ймовірностей безвідмовної роботи системи p_0 і ймовірність відмов фільтрів $p_{1...4}$ наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахунки ймовірностей безвідмовної роботи системи p_0 і ймовірність відмов фільтрів $p_{1...4}$

Схеми з'єднання фільтрів в системі очищення	Ймовірність безвідмовної роботи системи, p_0	Ймовірність відмови ГФГО, p_1	Ймовірність відмови ПФА-1, p_2	Ймовірність відмови ПФА-2, p_3	Ймовірність відмови ПФА-3, p_4
Послідовне з'єднання фільтрів ПФА	0,87827	0,09749	0,02442	0,0000203	-
Паралельне з'єднання фільтрів ПФА	0,88535	0,09827	0,00821	0,00821	-
Комбіноване з'єднання фільтрів ПФА	0,8984	0,09972	0,00832	0,00832	0,000693

Висновки. 1. Максимальною ймовірністю знаходження фільтрів в справному стані є система з комбінованим з'єднанням фільтрів, ($p_0 = 0,8984$).

2. Виходячи з отриманих теоретичних даних, можна зробити



висновок, що найбільш ефективною системою з'єднання фільтрів слід вважати комбіноване з'єднання, що складається з одного гравітаційного фільтра грубого очищення і трьох перколяційних фільтрів адсорберів.

3. В результаті очищення відпрацьованих робочих рідин для гідравлічних систем установкою УВОМ-200, його забрудненість зменшилась з 0,91 % мас., що відповідає 19 класу чистоти згідно ГОСТ 17216-2001.

Список використаних джерел

1. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2018. Вип. 282. С.279–292.

2. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. Вип. 18.т.2. Мелітополь, 2018. С. 105–118.

3. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних паливних. *Науковий вісник ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання*. Вип.8. Т.2. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. С. 91–107.

4. Журавель Д. П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. Вип. 19.Т.3. Мелітополь, 2019. С. 57–68.

5. Мілько Д. О. Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С. 91–96.

6. Бондар А. М. Використання біологічної оливи для сільськогосподарської техніки. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний збірник*. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С. 125–131.

7. Galina Gritsaenko, Igor Gritsaenko, Andrei Bondar. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture / Modern Development Paths of Agricultural Production. *Springer Nature Switzerland AG.*, 2019. P. 29–40.

8. Kyrylo Samoichuk, Olga Viunyk, Dmytro Milko, Andrii Bondar Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2020. Vol. 14. P. 142–148.

9. Dmitry Milko, Kyrylo Samoichuk, Yulia Postol Revealing new



patterns in resourcesaving processing of chromium-containing ore raw materials by solidphase reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. Vol. 1/12(103). P. 24–29.

10. Dmytro Milko., Oleksandr Sclyar., Radmila Sclyar., Ganna Pedchenko. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with two-phase compaction. *INMATEH - Agricultural Engineering*. National Institute Of Research-Development For Machines And Installations Designed To Agriculture And Food Industry - INMA Bucharest, Vol. 60, no.1 / 2020. P. 269–274.

11. Kyrylo Samoichuk, Nadiya Palyanichka, Vadim Oleksiienko, Serhii Petrychenko. Improving the quality of milk dispersion in a counter-jet homogenizer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2020. Vol. 14. P.633–640.

12. Бондар А. М. Покращення та оцінка якісних показників відпрацьованих автотракторних олив для сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 15 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-6.

13. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 19 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-10.

14. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машино-тракторного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. С. 85-97. 13 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-16.

15. Dmytro Zhuravel. Research of lubricant properties of used tractor motor oils. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. 18 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-5.

16. Kuznetsov M., Lysenko O., Chebanov A. Ensuring power balance in a hybrid power system with a backup generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (114)), 2021 Pp. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245557>.

17. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Методика обробки емпіричних даних якісних показників роботи колісної машини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. ТДАТУ; гол. ред.



д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 2. 13 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-2.

18. Samoichuk, K.; Petrychenko, S.; Bondar, A.; Hutsol, T.; Kubo´n, M.; Niemiec, M.; Mykhailova, L.; Gródek-Szostak, Z.; Sorokin, D. Modeling of Diesel Engine Fuel Systems Reliability When Operating on Biofuels. *Energies*, 2022, 15, 1795. <https://doi.org/10.3390/en15051795>.

19. Каплан, М.; Klimek, K.; Maj, G.; Bondar, A.; Lemeshchenko-Lagoda, V.; Boltianskyi, B.; Boltianska, L.; Syrotyuk, H.; Syrotyuk, S.; et al. Method of Evaluation of Materials Wear of Cylinder-Piston Group of Diesel Engines in the Biodiesel Fuel Environment. *Energies*, 2022, 15, 3416. <https://doi.org/10.3390/en15093416>.

20. Журавель Д. П. Вплив технічного обслуговування і ремонту на надійність машин та обладнання при використанні біологічних рідин. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. Вип. 10. Том 1. Мелітополь, 2020. 9 с. DOI:10.31388/2220-8674-2020-1-3.

21. Журавель Д. П. Рациональне використання біологічних олив для мобільних енергетичних засобів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. Вип. 10. Том 1. Мелітополь, 2020. 17 с. DOI:10.31388 / 2220-8674-2020-1-9.

22. Мороз Н. Н. Структурный анализ надежности зерноуборочного комбайна. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* Кіровоград: КНТУ, 2006. Вип. 36. С. 94–100.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2023 р.

D. Zhuravel, A. Bondar

Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

JUSTIFICATION OF THE INFLUENCE OF THE WASTE WORKING FLUIDS CLEANING SYSTEM ON RELIABILITY HYDRAULIC SYSTEMS

Summary

The paper substantiates a technique and equipment for cleaning working fluids in order to extend their service life and further ensure the reliability of the hydraulic systems of agricultural machinery. To extend the service life of oils and machine mechanisms, it is necessary to carry out their planned replacement or cleaning using special filtering equipment. When cleaning by physical methods, the oil does not undergo any chemical changes, and the process is carried out using a certain physical effect. The field of gravitational or centrifugal forces, electric or magnetic field, etc. can be used. Various heat exchange processes, filtration and vibration are also used. Methods of this group usually act as an initial stage of cleaning, at which mechanical impurities, liquid pollutants (including water) and gas inclusions are removed. The most common physical methods



of cleaning include the following items: Oil filtration consists in passing contaminated oil through a volume of filter material, the porous or mesh structure of which allows it to pass oil components and retain mechanical and part of liquid inclusions. The degree of purification depends on both the size of the separated particles and the size of the pores or mesh cells. As a filter material, metal or plastic nets, ceramics, fabrics, paper and more complex composite materials can be used. The filtration apparatus is called a filter. Correct selection of filter material allows you to adjust the filter for both coarse and fine cleaning. The main disadvantage of this process is the need to regenerate filter baffles that are prone to clogging during use, or to dispose of them if it is impossible to restore their serviceability. Mathematical models of the reliability of the system for cleaning waste hydraulic oils have been developed and investigated. The probabilities of the states underlying the determination of complex indicators of the reliability of the hydraulic system of agricultural machinery are obtained. In general, the reliability of the entire hydraulic system depends on the reliability of all its elements, as well as on the quality indicators of working fluids. The main existing methods of purification of chemical and chemical parameters of working fluids are substantiated. It has been established that the most effective system for connecting filters should be considered a combined connection consisting of one coarse gravity filter and three percolation filters of adsorbers.

Key words: cleaning system, system reliability, used hydraulic oil, filtration, filter connection, intensity and probability of failure, recovery rate, resource.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-5

УДК 629.113

С. В. Попов, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2381-152X

А. О. Семенов, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-3184-6925

Р. Ю. Євменов

ORCID: 0009-0005-8558-4483

Полтавський державний аграрний університет

e-mail: stanislav.popov@pdaa.edu.ua, тел.: 068-642-33-90

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОПНЕВМОКЛАПАНУ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОПОЇЗДУ-ЗЕРНОВОЗУ

Анотація. На даний час електропневмоклапани широко застосовуються у практиці машинобудування для керування стиснутим повітрям пневматичних систем вантажних колісних транспортних засобів, зокрема й тих, що застосовуються для перевезення продукції сільськогосподарського виробництва, наприклад автопоїздів-зерновозів. Певним недоліком існуючих конструкцій є перегрів котушок електропневмоклапанів. Це призводить до втрати їх роботоздатного стану. Виникають збої у перерозподілі робочого середовища. Запропоновано удосконалити існуючий вузол заміною конструкції котушки, збільшенням діаметру сидла та зміною жорсткості пружини. Наведено методики дослідження вузла за визначеними критеріями роботоздатності. Отримано результати експериментальних досліджень оновленої конструкції електропневмоклапану.

Ключові слова: ефективність, роботоздатність, герметичність, потужність, перепускна здатність, час спрацювання, ударна міцність, температурна стійкість

Постановка проблеми. Для сучасного автомобілебудування характерними є тенденції, що спрямовані на створення більш економічних та безпечних систем транспортних засобів, зокрема тих, що задіяні під час транспортування продукції сільськогосподарського виробництва. Пневматична система є однією із найважливіших систем автопоїздів-зерновозів. Особливо актуальним є використання пневматичного типу приводу у складі гальмівної системи вантажівки.

Аналіз останніх досліджень. Як відомо, пневматичні гальмівні системи класифікують за числом робочих контурів-магістралей (одноконтурні, двоконтурні, багатоконтурні системи). На даний час найбільш ефективною є багатоконтурна система (три контури та



більше). Незважаючи на її складність, вона є ефективною та надійною за своєю конструкцією. Саме це зумовило її поширення на великих вантажівках, зокрема, зерновозах, наприклад КрАЗ-6511С4-500 «Караван». Система забезпечує підвищену стійкість, полегшує керування транспортним засобом та його зупинку.

Для керування потоком стиснутого повітря у пневматичних приводах, а також системах пневматичного управління на автотранспортних засобах використовуються електропневмоклапани [1]. До основного недоліку деяких модифікацій слід віднести нагрівання котушок, навіть під час руху автопоїзду. Підвищена температура призводить до виходу виробу із роботоздатного стану. Саме тому у роботі [1] повідомлено про конструктивні зміни, що стосувалися заміни конструкції котушки із електричною платою, діаметра сидла та пружини.

У роботі [2] розглянуто питання підвищення ефективності роботи гальмівної системи. Автором запропоновано методику визначення безпечної відстані поміж транспортними засобами, що рухаються у супутньому напрямку із аналізом можливості використання резервної гальмівної системи.

Дослідження [3] присвячено особливостям відновлення гальмівної системи транспортного засобу, що перебував тривалий термін в експлуатації. Наведено рекомендації з подальшого конструктивного удосконалення та підвищення ефективності технічного обслуговування.

Аналіз світового автомобілебудування засвідчує, що для транспортних засобів категорії N_3 (понад 12 тон) найбільш ефективним є використання гальмівного приводу у поєднанні із електронними керуючими пристроями регулювання [4].

Автори [5] досліджують динамічні характеристики електричного пневмоклапану із підвищеним гідравлічним опором магістралі на вході. Запропоновано удосконалену конструкцію електричного пневмоклапану.

Імітаційний аналіз процесу гальмування, що запобігає перекиданню довгомірних транспортних засобів представлений у роботі [6]. Досліджувалися вироби, що є складовими частинами пневматичних гальм вантажівок. Адекватність моделей була підтверджена даними результатів польових випробувань.

У роботі [7] проведено ґрунтовні дослідження нової конструкції пневматичної підвіски, що використовується у складі вантажівки, з метою створення динамічно збалансованої системи, що здатна протидіяти крену кузова транспортного засобу та забезпечує тривалу стійкість. Результати дослідження засвідчили, що застосування подвійного вирівнювального клапану гарантує краще регулювання



положення кузова у просторі.

Дослідження пневматичної системи рекуперативного гідроприводу здійснено у роботі [8]. Автори здійснили глибокий аналіз наукових робіт у галузі методів рекуперації різних видів енергії в колісних транспортних засобах, рекуперативних пристроїв, гідроприводів, що дозволяють акумулювати та використовувати енергію стисненого повітря. Були отримані залежності впливу часу на кількість стиснутого повітря, тиск і температуру у пневматичному акумуляторі порожнинах пневмоциліндрів.

Під час дослідження за даним тематичним спрямуванням також активно використовується спеціалізоване програмне забезпечення. Зокрема, у статті [9] на платформі MATLAB/Simulink розроблена математична модель аналізу роботи гідропневматичної підвіски вантажівки, що дозволила визначити оптимальне значення швидкості руху.

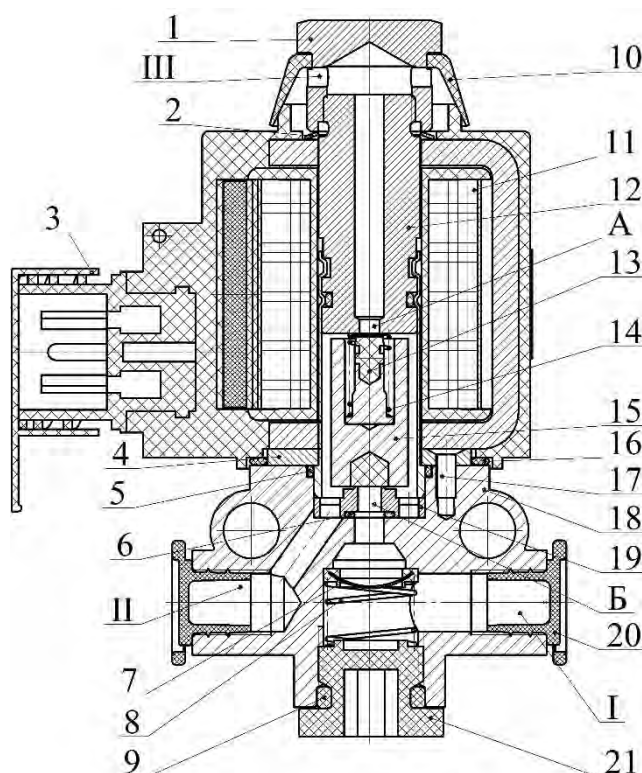
У роботі [10] приділено увагу розробці трьохпозиційного електромагнітного клапану, що використовується у складі пневматичної системи транспортних засобів. Його головною конструктивною особливістю є відсутність синтетичних ущільнювальних матеріалів, гуми, пластику. Металеві поверхні з мікрорельєфом у вигляді кільцевих виступів та западин, що послідовно чергуються, являють собою ущільнювальні поверхні. Запропоноване технічне рішення, на думку авторів, дозволяє суттєво поліпшити основні показники вузла, а саме: цілісність, надійність, довговічність, низька вартість.

Як бачимо, увага науковців усього світу спрямована на постійне поліпшення пневматичних систем вантажних транспортних засобів у цілому, а також їх окремих складових частин.

Формулювання мети статті. Мета роботи полягає у проведенні серії експериментальних досліджень, пов'язаних із дослідженням удосконаленої конструкції електропневмоклапану пневматичної системи, яким обладнуються автопоїзди-зерновози КрАЗ-6511С4-500 «Караван», за визначеними критеріями роботоздатності.

Основна частина. На рисунку 1 наведено загальний вигляд та конструктивну схему удосконаленого електропневмоклапану. Принцип його дії полягає у наступному [1]. Стиснуте повітря з балону подається до входу I. Вихід II з'єднано з магістраллю керування, атмосферним каналом III крізь отвір А та лиски, що наявні на якорі 15. Останній при подачі електричного сигналу на котушку 11 переміщується вгору. При цьому якор 15 долає зусилля, що створюється пружиною 14. У даному випадку ущільнення 13 переміщується вгору. Відбувається закривання отвору А атмосферного виводу 3 та відкривання отвору Б. Здійснюється перепускання стисненого повітря

із входу I у вихід II. При знятті електричного сигналу керування з котушки 11 якір 15 переміщується вниз під дією пружини 14. Своїм ущільненням він закриває отвір Б та відкриває отвір А. Відбувається зупинка перепуску стисненого повітря із I у II вихід. Стиснене повітря з II виходу потрапляє до атмосфери через канал III. Технічна характеристика електропневмоклапану наведена в таблиці 1 [1].



1 – корпус сапуна; 2 – шайба пружинна; 3 – ковпачок; 4 – фланець; 5, 6, 9 – кільце; 7 – фільтр; 8 – пружина; 10 – сапун; 11 – котушка; 12 – гільза; 13 – ущільнення; 14 – пружина; 15 – якір; 16 – кільце; 17 – гвинт; 18 – корпус; 19 – сідло; 20 – пробка транспортна; 21 – заглушка; б – вигляд загальний

Рисунок 1. Електропневмоклапан (конструктивна схема) [1]:

Для дослідження роботоздатності та герметичності електропневмоклапану використовувався лабораторний стенд, зображений на рисунку 2.

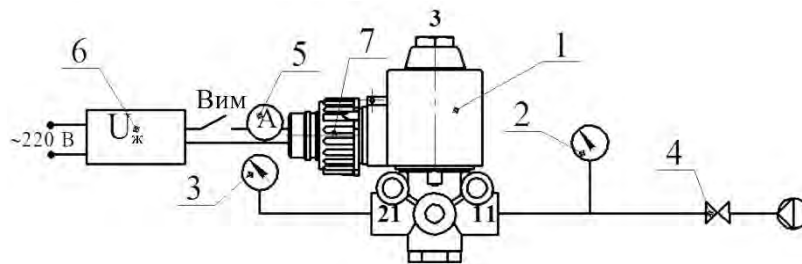
Послідовність випробувань наступна. Відкривався кран 4 та встановлювалася потрібна величина стисненого повітря, яка контролювалася за допомогою манометра 2. Подавалася напруга від 18 В до 30 В на дослідний зразок за допомогою вимикача та джерела живлення 6. При цьому струм на амперметрі 5 повинен мати наступне значення: під час спрацювання клапану в момент втягування якорю 15 (див. рис. 1) не більше 0,7 А; при утриманні якорю після спрацювання клапану до 0,1 А. При цьому повинно відбутися підвищення тиску на

виводі «21», що контролюється манометром 3. Тиск на виводі «21» повинен встановитися рівним до тиску на підводі «11». Це контролюється манометрами 2, 3. Після зняття напруги з клапану повинно відбутися зниження тиску на виводі «21» до нуля та випускання повітря через атмосферний вивід «3». Контроль відбувається за манометром 3. Цикл випробування повторювався не менше трьох разів, після чого кран 4 закривався.

Таблиця 1

Технічна характеристика удосконаленої конструкції електропневмоклапану [1]

№ з.п.	Параметр	Значення
1	Умовний прохід, мм	4
2	Робочий тиск, МПа	0,2...1,05
3	Час спрацювання, с	0,03
4	Струм	DC
5	Напруга, В	24
6	Потужність відкриття, Вт	21,6
7	Потужність утримання, Вт	3
8	Приєднувальна різьба	M10×1-6H 2 отв.
9	Режим роботи (ДСТУ ГОСТ 3940:2007)	S1
10	Габаритні розміри, мм	72×42×108
11	Маса, кг	0,5



1 – дослідний зразок клапану;
2, 3 – технічні манометри; 4 – кран роз'єднувальний; 5 – амперметр;
6 – джерело живлення; 7 – байонетний електричний роз'єм; Вим – вимикач; маркування виводів: «11» – підведення повітря до магістралі, що живить; «21» – вихід повітря до споживачів; «3» – вихід повітря до атмосфери

Рисунок 2. Конструктивна схема лабораторного стенду для дослідження електропневмоклапану

Отже, конструкція є роботоздатною при значеннях тиску 0,03 МПа; 0,85 МПа, 1,05 МПа та напрузі 18...30 В. Витоки повітря на



підводі «11» та відсутності напруги на котушці 11 (див. рис.1) відсутні. Витоки повітря на підводі «11», виводі «21» та поданій напрузі 21 В також були відсутні.

При дослідженнях герметичності відкривався кран 4 та встановлювався тиск повітря 1,05 МПа, що контролювався за манометром 2. Із метою виявлення місць витоків повітря перевірку герметичності здійснювали газовим пухирцевим методом способом обмилювання [11]. Потім дослідження повторювалося, але при значенні тиску 1,5 МПа. Наступним етапом була подача напруга 18 В на клапан за допомогою вимикача. Тиск на виводі «21» встановлювався на рівні 1,05 МПа. Герметичність атмосферного виводу «3» перевірялася також пухирцевим методом способом обмилювання. Допустимі витки не повинні перевищувати 5 см³/хв. Після випробувань напруга знімалася.

Отже, конструкція дослідного зразка є герметичною за зовнішніми стиками під час навантаження надлишковим тиском 1,5 МПа протягом 1 хв.

Номінальну споживану потужність та струм при спрацюванні та утримуванні перевіряли амперметра-вольтметра при мінімальному тискові на підводі «11» та номінальній напрузі 24 В. Струм під час спрацювання клапану при втягуванні якорю не повинен перевищувати 0,9 А тривалістю не більше 1 с, а утримування якорю після спрацювання клапану – до 0,2 А. Номінальна споживана потужність відкриття не повинна перевищувати 21,6 Вт із тривалістю до 1 с, а потужність утримування – до 12 Вт.

Отже, струм при спрацюванні електропневмоклапану в момент втягування якорю при номінальній напрузі 24 В становив 0,78 А, а струм утримування якорю після спрацювання клапану при тому ж значенні номінальної напруги – 0,06 А. Номінальна споживана потужність відкриття становила 18,72 Вт, а утримування 1,44 Вт.

Перепускна здатність визначалася методом вимірювання витрати стиснутого повітря через клапан при абсолютному тискові на виводі «21» не більше 0,15 МПа та перепадах тиску на клапані у межах від 0,01 МПа до 0,02 МПа. Перевірку здійснюємо для ліній: підведення «11» – відведення «21», при поданій на котушку клапану напрузі живлення 24 В; вивід «21» – викид до атмосфери «3» за відсутності напруги. Перепускна здатність визначалася відповідно до методики [12] і повинна бути не меншою, ніж 4.

Отже, витрата повітря через удосконалену конструкцію електропневмоклапану становить $Q = 39$ м³/год. (рис. 3). Перепускна здатність $K_v = 0,33$ м³/год., а умовний прохід $D_y = 4,5$ (рис. 4). Час наповнення ресиверу, що має об'єм 1 л становив 0,66 с ($p_{вих} = 0,9 p_{вх}$, рис.3), а час його випорожнення – 1,7 с ($p_{вих} = 0,1 p_{вх}$, рис.5).

Перевірка часу спрацювання перевірялася методом осцилографування почергово (при мінімальному та максимальному тисках і номінальній напрузі 24 В). За початок відліку часу ввімкнення приймаємо момент подачі напруги на котушку 11 (див. рис. 1). За кінець відліку – момент підвищення тиску на виводі «21» на 90% від значення тиску, що подається до підводу «11». При цьому час спрацювання клапану в номінальному режимі роботи повинен не перевищувати 0,03 с.

На рис. 6 наведено результати досліджень часу спрацювання електропневмоклапану, який склав 0,02 с.

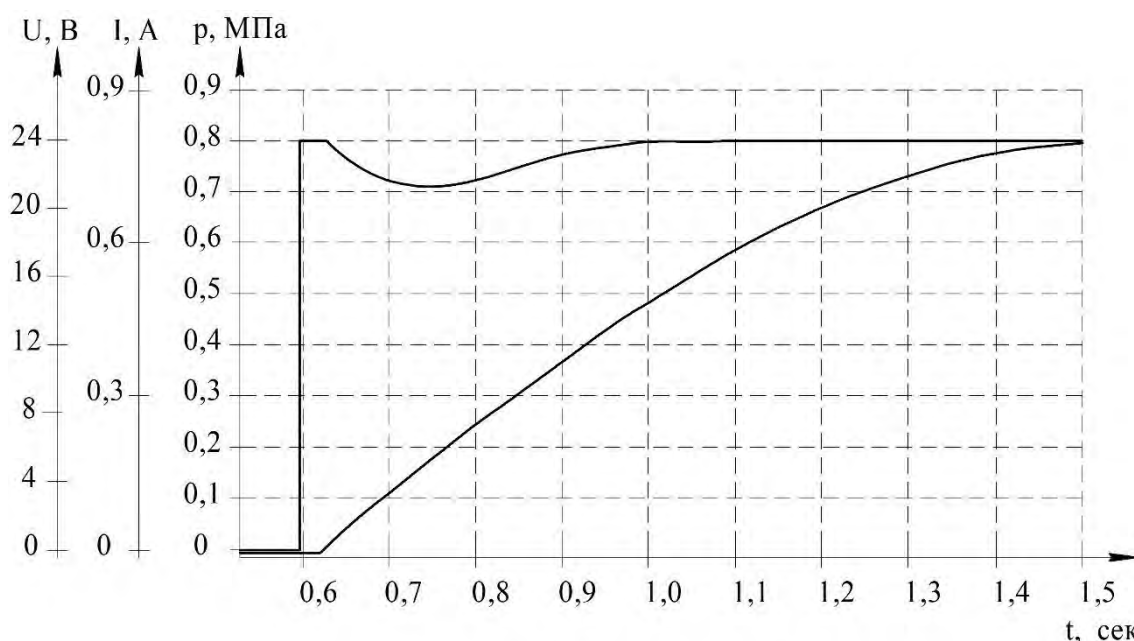


Рисунок 3. Апроксимовані графічні залежності $U=f(t)$, $I=f(t)$, $p=f(t)$ при дослідженні перепускної здатності

Дослідження на ударну міцність відбувалося на ударному стенді TIRA SHOCK 4110, на якому електропневмоклапан закріплювався у робочому положенні та випробувався у неробочому стані із прискоренням $150 \pm 30 \text{ м/с}^2$ та довжиною імпульсу 1-20 с. Тривалість випробувань $1 \cdot 10^4$ ударів. Після проведення 50% обсягу випробувань вузол повертали у вертикальній площині на кут 90° відносно до початкового положення. Після випробувань клапан оглядали та перевіряли на роботоздатність, а також герметичність.

Експерименти засвідчили, що дослідний зразок зберігає роботоздатність після впливу ударних навантажень із прискоренням 15g у кількості 10000 ударів. При поданій напрузі на котушку електропневмоклапан зберіг свою герметичність. За відсутності напруги на котушці наявні витоки стиснутого повітря 2 мл/хв.

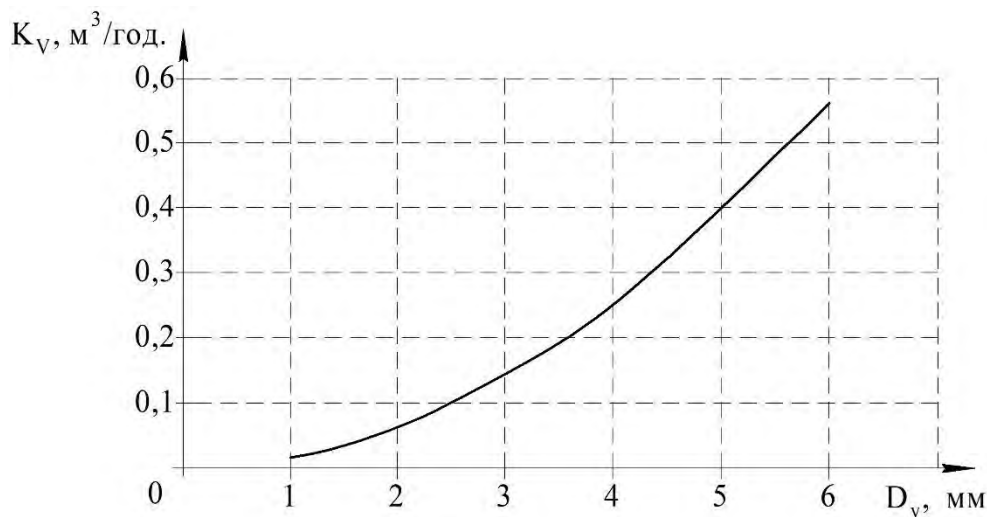


Рисунок 4. Графік залежності перепускнуї здатності від умовного проходу $K_v = f(D_y)$

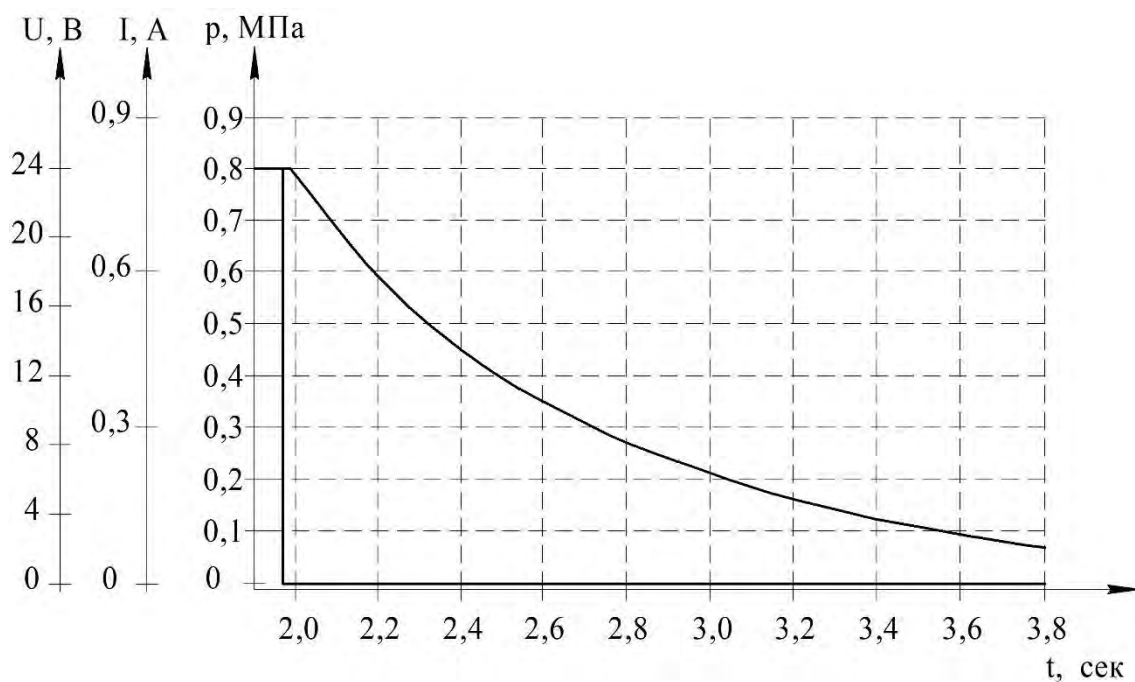


Рисунок 5. Апроксимовані графічні залежності $U=f(t)$, $I=f(t)$, $p=f(t)$ при дослідженні ресивера

Для дослідження надійності (безвідмовності) удосконаленої конструкції електропневмоклапану було застосовано лабораторний стенд, наведений на рис. 7.

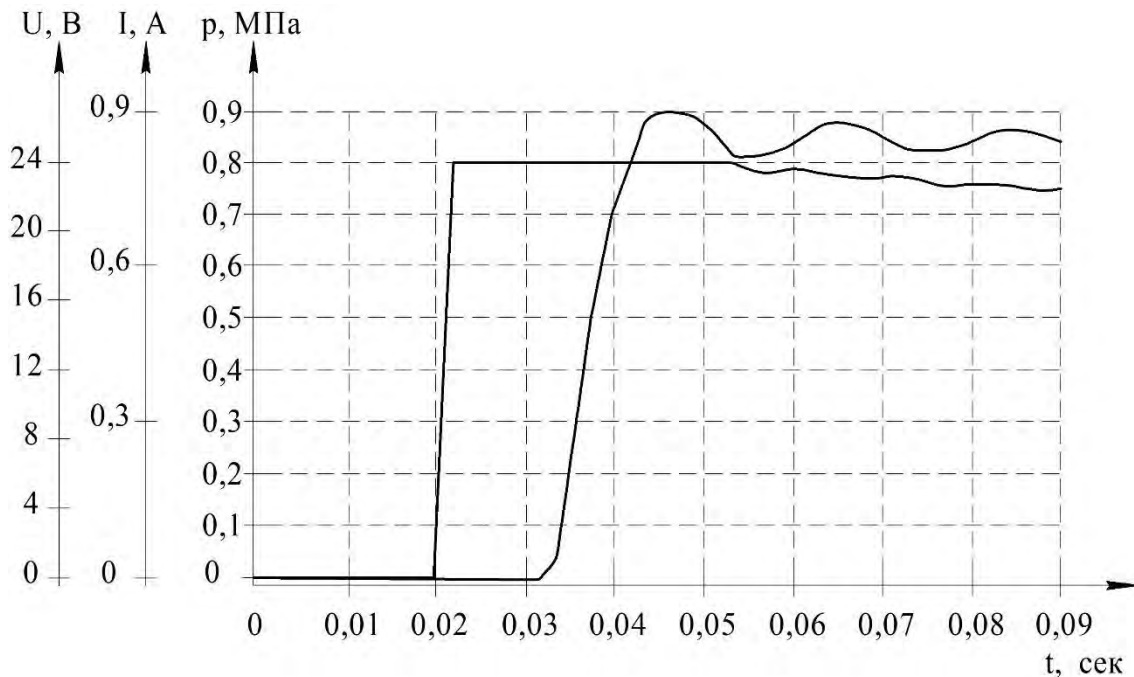
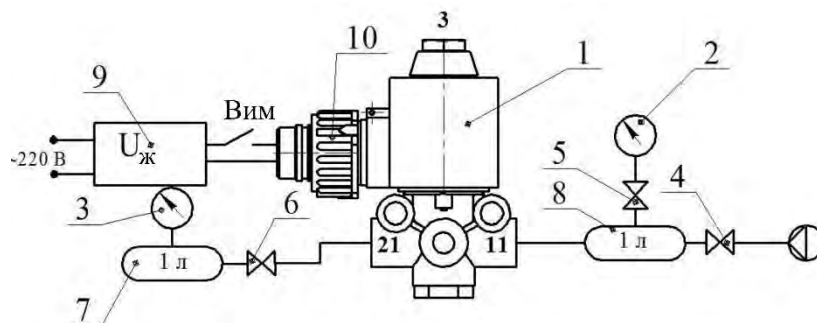


Рисунок 6. Апроксимовані графічні залежності $U=f(t)$, $I=f(t)$, $p=f(t)$ при дослідженні часу спрацювання електропневмоклапану



1 – дослідний зразок клапану; 2, 3 – технічні манометри; 4, 5, 6 – кран роз'єднувальний; 7, 8 – ємності із об'ємом 1 л; 9 – джерело живлення; Вим – вимикач; 10 – електричний штекерний різьбовий роз'єм; маркування виводів: «11» – підведення повітря до магістралі, що живить; «21» – вихід повітря до споживачів; «3» – вихід повітря до атмосфери

Рисунок 7. Конструктивна схема лабораторного стенду для дослідження надійності (безвідмовності) електропневмоклапану:

Під час досліджень було проведено $2,5 \cdot 10^6$ увімкнень із частотою 120 ± 10 увімкнень за хвилину за повторно-короткочасного режиму роботи S3 із тривалістю увімкнень ТУ 50% при підведеному тисковій стиснутого повітря 0,85 МПа та номінальній напрузі 24 В. Після завершення напрацювання $1 \cdot 10^6$; $1,5 \cdot 10^6$; $2,0 \cdot 10^6$; $2,5 \cdot 10^6$ була проведена перевірка, що засвідчила цілковиту роботоздатність та герметичності удосконаленої конструкції електропневмоклапану.



Дослідження на температурну стійкість здійснювалось у неробочому стані за допомогою кліматичної камери TBV-1000, що була попередньо нагрітою (охолодженою) до зазначеної температури. Електропневмоклапан витримували протягом 2 год. за температури -60°C до -55°C та, не виймаючи з камери випробували на роботоздатність та герметичність. Витрата стиснутого повітря до 0,025 л/хв. є припустимою. Також відбувалася витримка дослідного зразка протягом 2 год. за температури $+55^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ та, не виймаючи з камери, випробували на роботоздатність та герметичність. Витрата стиснутого повітря у випадку нагрівання – до 0,005 л/хв. є припустимою. Після перебування клапану в камері у неробочому стані протягом 2 год. при температурі $+90^{\circ}\text{C}$ до $+95^{\circ}\text{C}$ досліджували також на роботоздатність.

Отримані наступні результати випробувань температурної стійкості:

- за температур -55°C , $+55^{\circ}\text{C}$ клапан виявив цілковиту роботоздатність при тисках 0,03 МПа, 0,85 МПа при напрузі 18...30 В, причому витіки були відсутні;

- за температур -60°C , $+95^{\circ}\text{C}$ клапан зберігає роботоздатність після перебування у неробочому стані.

Визначення температури електропневмоклапану здійснювали за тривалого номінального режиму S1 за ДСТУ ГОСТ 3940:2007 із тривалістю постійного навантаження 7 год. при значенні напруги 27 В при температурі оточуючого середовища 25°C . По завершенню випробувань клапан досліджувався на роботоздатність, а також герметичність. Величину нагрівання котушки 11 (див. рис. 1) та корпусу клапану визначали за допомогою мультиметру із термопарою.

Отже, практичне значення усталеної температури корпусу клапану під час роботи за тривалим режимом не перевищило 40°C .

Висновки. Таким чином, серія проведених експериментальних досліджень удосконаленої конструкції електропневмоклапану (на роботоздатність, герметичність, номінальну споживану потужність та струм при спрацюванні та утримуванні, перепускнну здатність, час спрацювання, ударну міцність, надійність (безвідмовність), температурну стійкість, а також перевірку робочої температури) засвідчила, що отримані результати не перевищують допустимих значень. Робоча температура удосконаленої конструкції клапану зменшилася до 40°C , час наповнення 1 л ресивера склав 0,66 с, а потужність утримання зменшилася більше, ніж у 3 рази. Як результат, матимемо паливну економічність та зменшення шкідливих викидів до атмосфери. Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні серії випробувань щодо ступеня захисту, який забезпечується оболонкою, а також опору та міцності ізоляції



електропневмоклапану.

Список використаних джерел

1. Аліпа О. В., Денисенко А. Г., Попова Ю. О., Попов С. В. Модернізація конструкції електропневмоклапану пневматичної системи зерновозів-автопоїздів КрАЗ. *Техніка та технології в агропромисловому виробництві*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Полтава, ПДАУ, 7-8 жовтня 2021 р. Полтава, 2021. С. 11–13.

2. Босенко Є. І. Методика визначення безпечної відстані поміж двома попутними транспортними засобами. *Автомобільний транспорт*. 2011. №29. С. 239–243.

3. Gnitko S., Vasyliiev Ie., Popov S. Designing an improved structure of the tool for repairing the brake pipe connectors in vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №1/1 (109). P. 20–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224912>

4. Ld I., Gu M. Expert System for Detecting and Diagnosing Car Engine Brake Failure Fault using Dynamic Control System (DCS). *Journal of Applied & Computational Mathematics*, 2016. 05 (01). <https://doi.org/10.4172/2168-9679.1000281>

5. Бойко В. С., Конох В. И. Повышение стабильности срабатывания электропневмоклапана с усилением в системе с увеличенным гидравлическим сопротивлением на входе. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2013. №3 (100). С. 90–95.

6. Chen Y., Zhang Z., Neighborgall C., Ahmadian M. When is it too late to brake? *Vehicle System Dynamics*. 2022. <https://doi.org/10.1080/00423114.2022.2144386>

7. Chen Y. Modeling, Control, and Design Study of Balanced Pneumatic Suspension for Improved Roll Stability in Heavy Trucks. 2017. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25216.38405>

8. Katrakilidis K., Posmetev V.I., Nikonov V., Posmetev V.V. Investigation of the pneumatic system of recuperative hydraulic drive of a timber truck. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science 595 (1): 012062*. 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012062>

9. Hung T.T., Long L.X., Van Tuan N., Tan H.A., Truyen V.T. Pavement-Friendly Performance Analysis of an Agricultural Truck with Two Types of Hydro-Pneumatic Suspension Struts. *Advances in Engineering Research and Application*. 2023. Pp. 780–789. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22200-9_82

10. Nefed'ev A.I., Sharonov G.I., Ilyina I.E. Three-position solenoid valve for pneumatic systems of trucks. Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_228

11. ГОСТ 24054-80. Вироби машинобудування та



приладобудування. Методи випробувань на герметичність. Загальні вимоги. [Чинний від 1987-01-01]. URL: https://dnaop.com/html/74413/doc-ГОСТ_24054-80 (дата звернення 01.03.2023).

12. ДСТУ 2268-93. Пневмоприводи. Методи вимірювань параметрів. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1996. 12 с.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2023 р.

S. Popov, A. Semenov
Poltava State Agrarian University

EXPERIMENTAL STUDY OF THE IMPROVED DESIGN OF THE ELECTROPNEUMATIC VALVE OF THE PNEUMATIC SYSTEM OF THE TRAIN-GRAIN TRUCK

Summary

Currently, electropneumatic valves are widely used in mechanical engineering. They are designed to control the compressed air of the pneumatic systems of wheeled goods vehicles. They include road trains-grain trucks for the transportation of agricultural products. A certain disadvantage of existing designs is overheating of electropneumatic valve coils. This leads to the loss of their working condition. There are failures in the redistribution of the working environment. It is proposed to improve the existing node. For this, the design of the coil was replaced, the diameter of the seat and the stiffness of the spring were increased. The methods of node research according to the defined performance criteria are given. The results of experimental studies of the updated electropneumatic valve design were obtained.

Design schemes of laboratory stands have been developed. They made it possible to investigate performance, tightness, nominal power consumption, electric current during activation and retention, throughput by measuring the flow of compressed air, activation time, impact strength, reliability (failure), temperature resistance, operating temperature values.

Approximate graphical dependencies based on the results of experimental studies are obtained. They provided an opportunity to more clearly understand the impact of individual factors on the performance of the electropneumovalve. Experimental data proved the absence of air leaks at the terminals. The construction is hermetic. The tripping current was 0.78 A. The anchor holding current after tripping was 0.06 A. The air flow rate was 39 m³/h. Conditional pass - 4.5. Filling and emptying of the receiver takes place in 0.66 s and 1.7 s, respectively. The operating time of the improved design is 0.22 s. Impact strength and temperature resistance are ensured. The value of the operating temperature of the electric pneumatic valve did not exceed 40°C.

Key words: efficiency, performance, tightness, power, throughput, operating time, impact strength, temperature resistance



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-6

УДК 631.313

О. В. Козаченко, д.т.н.

ORCID: 0000-0003-1326-4307

К. В. Сєдих, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-5720-8430

О. М. Волковський

ORCID: 0009-0006-5516-0601

Державний біотехнологічний університет

e-mail: o.v.kozachenko21@gmail.com, тел.: 099-761-49-17

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ГРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Анотація. В статті висвітлено результати теоретичних досліджень взаємодії дискового робочого органу ґрунтообробного знаряддя із ґрунтовим середовищем. Виконано математичне моделювання переміщення елементарної частинки ґрунту по сферичній поверхні дискового робочого органу задля визначення лінії та площі контакту ґрунтового середовища із поверхнею диска, що здійснюється із урахуванням силового впливу скиби ґрунту, яка утворюється на робочій сферичній поверхні диску, сили Коріоліса та відцентрової сили, які зумовлені його обертальним рухом при виконанні технологічного процесу, та у відповідності до обраних конструктивних параметрів - радіуса сферичної поверхні R диска та його діаметра d , кута атаки α і кута нахилу γ у вертикальній площині та глибини h обробітку ґрунту. Застосуванням відомих аналітичних закономірностей щодо компонентів нормальних напружень пружно-в'язко-пластичного ґрунтового середовища та програмного пакету Mathematica визначено залежності проєкцій сили опору робочого органу дискового знаряддя від обраних конструктивних параметрів, глибини h обробітку ґрунту та швидкості руху.

Ключові слова: дисковий робочий орган, ґрунтове середовище, сферичний диск, конструктивні параметри, кут атаки, кут нахилу.

Постановка проблеми. Забезпечення якості поверхневого обробітку ґрунту при мінімізації енергетичних витрат на виконання технологічного процесу у прогресивних технологіях рослинництва зумовлює широке застосування ґрунтообробних знарядь на основі дискових робочих органів. Враховуючи той факт, що означені показники залежать від конструктивного виконання робочих органів та властивостей ґрунту, важливим і актуальним аспектом залишається



дослідження механіки їх контактної взаємодії для удосконалення та створення нових високоєфективних ґрунтообробних знарядь [1-3].

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню контактної взаємодії дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь в напрямку підвищення їх ефективності при виконанні функцій призначення присвячена значна кількість наукових праць [4-10]. Їх аналіз вказує на індивідуальність підходів вирішення наукових задач. Зокрема, в [4] автором досліджено вплив геометричних характеристик сферичного диска на силову взаємодію із ґрунтовим середовищем. При цьому одержано рівняння руху матеріальної частинки по увігнутій сферичній поверхні дискового робочого органу, встановлено закономірності впливу конструктивно-технологічних параметрів на агротехнічні та енергетичні показники технологічного процесу. Враховуючи особливості взаємодії дискових робочих органів з ґрунтом, в [5] проаналізовано питання формоутворення профіля дна борозни, величини гребенів. Значний інтерес для розвитку обраного напрямку досліджень представляють наукові праці [6, 7], в яких авторами представлені фізичні рівняння зв'язку напружень зі швидкостями деформацій для ґрунтового середовища при дії на нього дискового робочого органу. В [6] авторами встановлено, що надмірне збільшення кута атаки α дисків ґрунтообробного знаряддя може призводити до їх забивання ґрунтом і пожнивними рештками, тому значення граничного кута атаки, зокрема, на луцильниках не повинен перевищувати 35° . Авторами встановлено, що на якість виконання процесу обробітку ґрунту та його енергоємність для аналогічних механічних властивостей ґрунту найбільш суттєвий вплив мають діаметр диска D , радіус його кривизни R , кут атаки α і кут нахилу γ у вертикальній площині. При цьому автори стверджують, що однаковий ефект може бути досягнутий як зміною радіуса кривизни диска, так і кутом нахилу осі обертання γ , що дає можливість вибирати раціональні параметри, виходячи з конкретних умов використання ґрунтообробних знарядь на основі дискових робочих органів.

Проаналізовані наукові роботи вказують на доцільність подальшого вивчення процесу взаємодії дискових робочих органів з ґрунтовим середовищем, впливу конструктивних параметрів та режимів функціонування задля підвищення агрономічних та енергетичних показників ґрунтообробних знарядь.

Формулювання мети статті. Теоретично дослідити процес взаємодії ґрунтового середовища з дисковим робочим органом ґрунтообробного знаряддя і визначити складові сили опору.

Основна частина. Розглянемо частинку P ґрунту масою m_p , що здійснює рух по поверхні дискового робочого органу, який

представляється двовимірною сферою радіусом R з центром в точці O , що обмежена колом діаметром d з центром в точці O' (рис. 1). Дісковий робочий орган виконує поступальний рух вздовж вісі $O'X$ зі швидкістю V і обертовий вздовж вісі $O'O$ з кутовою швидкістю ω . Площина дискового робочого органу знаходиться під кутом до напрямку його руху $O'X$ (кут атаки α) і під кутом до вертикальної осі $O'Z$ (кут нахилу γ). Кут між віссю $O'O$ складає з віссю Oz кут $(90^\circ - \gamma)$. Глибина обробітку ґрунту складає h , яка визначається від нижньої точки D дискового робочого органу до горизонтальної поверхні ґрунту ACX .

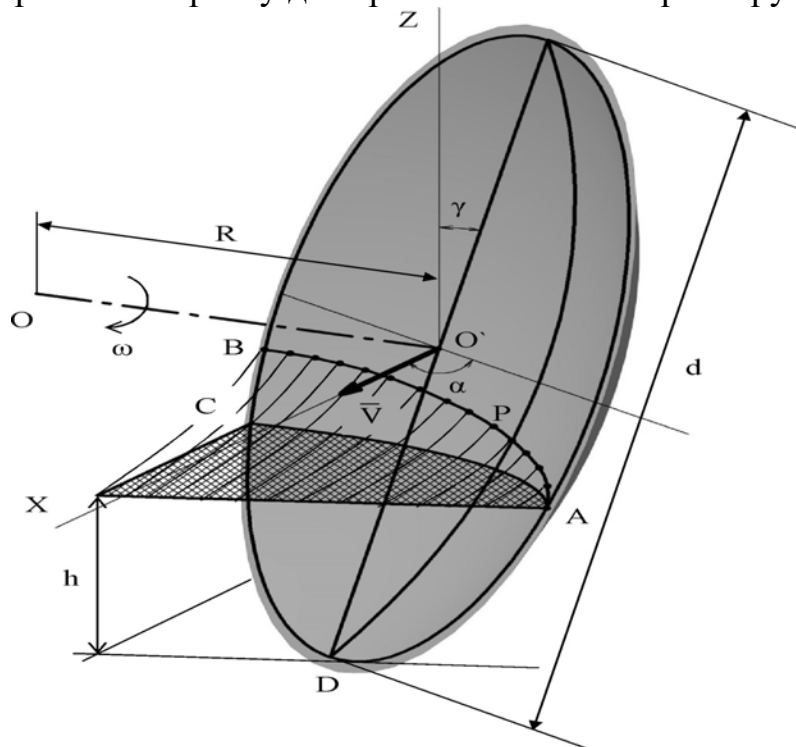


Рисунок 1. Розрахункова схема дискового робочого органу

При взаємодії поверхні робочого органу із ґрунтовим середовищем виникає лінія їх контакту AB (рис. 1), на якій спостерігається положення рівноваги частинок ґрунту. Лінія AC характеризує горизонтальну площину перетину поверхні робочого органу дискатора із горизонтальною поверхнею ґрунтового середовища. Зміщення ґрунту від лінії AC до лінії AB відбувається під дією сили підпору шару ґрунту, що напливає на дисковий робочий орган, і відцентровою силою та силою Коріоліса, що виникають в результаті його обертання. При цьому контакт ґрунтового середовища із поверхнею робочого органу дискатора відбувається за криволінійною поверхнею $ABCD$.

Радіус R сфери можна визначити за формулою [5]:

$$R = \frac{d}{2 \sin \zeta}, \quad (1)$$

де ζ – половина кута при вершині сектора дискового робочого органу, °:

Модуль вектора кутової швидкості частинки, що знаходиться на диску, згідно досліджень [6], визначається залежністю

$$\omega = \frac{2V}{\mu d \cos \alpha \cos \gamma}, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт ковзання диску при його обертанні.

Розглянемо процес переміщення частинка ґрунту Р масою m_p по поверхні робочого органу дискатора. Для цього введемо абсолютну систему координат $Oxyz$, в якій площина Oxy є горизонтальною, а третя вісь Oz спрямована вертикально вгору (рис. 2).

Відстань від початку координат до частинки ґрунту будемо задавати радіус-вектором \vec{r} . На частинка ґрунту масою m_p діють: сила інерції $m_p \ddot{\vec{r}}$; сила тяжіння $m_p \vec{g}$; сила Коріоліса $\vec{F}_k = -2m_p [\vec{\omega}, \dot{\vec{r}}]$; сила реакції поверхні диску \vec{N} ; сила тертя ковзання $\vec{F}_\mu = \mu |\vec{N}| \frac{\dot{\vec{r}}}{|\dot{\vec{r}}|}$; відцентрова

сила $\vec{F}_\omega = m_p \omega^2 \cdot \vec{r}$; сила підпору шару ґрунту [6] $\vec{F}_n = m_p \frac{q}{\rho} \left(1 - \frac{\dot{\vec{r}}}{V} \right)$, де q – коефіцієнт об'ємного стиску ґрунту, m^3 ; ρ – об'ємна вага ґрунту, kg/m^3 .

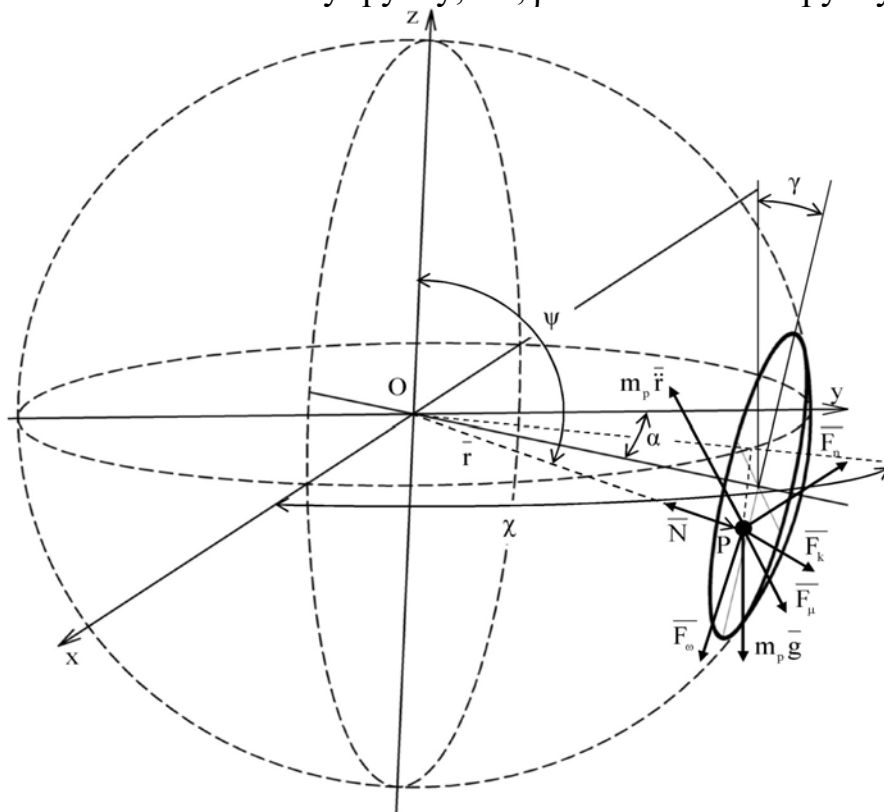


Рисунок 2. Схема сил, що діють на частинку ґрунту в точці Р на сфері, що задається сферичними координатами (ψ , χ)



Положення точки на сфері будемо встановлювати за допомогою сферичних кутів ψ і χ : $\psi_{\min} \leq \psi \leq \psi_{\max}$, $\chi_{\min} \leq \chi \leq \chi_{\max}$ (рис. 2), де

$$\psi_{\min} = \frac{\pi}{2} + \gamma - \zeta = \frac{\pi}{2} + \gamma - \arcsin \frac{d}{2R}, \quad (3)$$

$$\psi_{\max} = \frac{\pi}{2} + \gamma + \zeta = \frac{\pi}{2} + \gamma + \arcsin \frac{d}{2R}, \quad (4)$$

$$\chi_{\min} = \frac{\pi}{2} + \alpha - \zeta = \frac{\pi}{2} + \alpha - \arcsin \frac{d}{2R}, \quad (5)$$

$$\chi_{\max} = \frac{\pi}{2} + \alpha + \zeta = \frac{\pi}{2} + \alpha + \arcsin \frac{d}{2R}. \quad (6)$$

Значення абсолютної швидкості $\bar{v} = \dot{\bar{r}}$ частинки ґрунту Р у сферичних координатах записується наступним чином

$$\bar{v} = v_{\psi} \bar{e}_{\psi} + v_{\chi} \bar{e}_{\chi}, \quad (7)$$

де $v_{\psi} = R\dot{\psi}$, $v_{\chi} = R \sin \psi \dot{\chi}$ – проекції швидкості частинки ґрунту Р у сферичних координатах, м/с;
 \bar{e}_{ψ} , \bar{e}_{χ} – одиничні вектори сферичних координат.

Швидкість частинки ґрунту Р відносно диска, що обертається, набуває вигляду

$$\bar{v}' = v'_{\psi} \bar{e}_{\psi} + v'_{\chi} \bar{e}_{\chi}, \quad (8)$$

де $v'_{\psi} = R\dot{\psi} + R\omega \sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) \sin \chi = R\dot{\psi} + R\omega \cos \gamma \sin \chi$,
 $v'_{\chi} = R \sin \psi \dot{\chi} + R\omega \sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) \cos \psi \cos \chi - R\omega \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) \sin \psi =$
 $= R \sin \psi \dot{\chi} + R\omega \cos \gamma \cos \psi \cos \chi - R\omega \sin \gamma \sin \psi$.

У координатах (ψ, χ) рівняння ковзання частинки ґрунту Р по сфері залишимо у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_p R (-\sin^2 \psi \ddot{\chi} - \dot{\psi}^2) = -m_p g \cos \psi + N, \\ m_p R (\ddot{\psi} - \sin \psi \cos \psi \dot{\chi}^2) = m_p g \sin \psi + m_p \frac{q}{\rho} \left(1 - \frac{R\dot{\psi} + R\omega \cos \gamma \sin \chi}{V} \right) - \\ - \mu N (R\dot{\psi} + R\omega \cos \gamma \sin \chi) \div \\ \div \sqrt{(R\dot{\psi} + R\omega \cos \gamma \sin \chi)^2 + (R \sin \psi \dot{\chi} - R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)^2} \\ m_p R (\sin \psi \ddot{\chi} + 2\dot{\chi} \dot{\psi} \cos \psi) = \\ = m_p \frac{q}{\rho} \left(1 - \frac{R \sin \psi \dot{\chi} - R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi}{V} \right) - \\ - \mu N (R \sin \psi \dot{\chi} - R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi) \div \\ \div \sqrt{(R\dot{\psi} + R\omega \cos \gamma \sin \chi)^2 + (R \sin \psi \dot{\chi} - R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)^2} \end{array} \right. \quad (9)$$



Перше рівняння системи (9), що виражає проекцію рівнянь Ньютона на нормаль до поверхні сфери, дозволить знайти нормальну реакцію N . Друге і третє рівняння системи (9) задають рух в проекції на осі з одиничними векторами \underline{e}_ψ , \underline{e}_χ .

Для визначення положення рівноваги частинки ґрунту щодо абсолютного простору покладемо для цього $\dot{\psi} = 0$ і $\dot{\chi} = 0$:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = -m_p g \cos \psi + N, \\ 0 = m_p g \sin \psi + m_p \frac{q}{\rho} \left(1 - \frac{R\omega \cos \gamma \sin \chi}{V} \right) - \\ \quad \frac{\mu N R \omega \cos \gamma \sin \chi}{\sqrt{(R\omega \cos \gamma \sin \chi)^2 + (-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)^2}} \\ 0 = m_p \frac{q}{\rho} \left(1 - \frac{-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi}{V} \right) - \\ \quad \frac{\mu N (-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)}{\sqrt{(R\omega \cos \gamma \sin \chi)^2 + (-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)^2}} \end{array} \right. \quad (10)$$

Виражаючи з першого рівняння системи N і підставляючи в друге і третє отримуємо

$$\left\{ \begin{array}{l} N = m_p g \cos \psi, \\ 0 = m_p g \sin \psi + m_p \frac{q}{\rho} \left(1 - \frac{R\omega \cos \gamma \sin \chi}{V} \right) - \\ \quad \frac{\mu m_p g \cos \psi R \omega \cos \gamma \sin \chi}{\sqrt{(R\omega \cos \gamma \sin \chi)^2 + (-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)^2}} \\ 0 = m_p \frac{q}{\rho} \left(1 - \frac{-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi}{V} \right) - \\ \quad \frac{\mu m_p g \cos \psi (-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)}{\sqrt{(R\omega \cos \gamma \sin \chi)^2 + (-R\omega \sin \gamma \sin \psi + R\omega \cos \gamma \cos \psi \sin \chi)^2}} \end{array} \right. \quad (11)$$

Перетворивши рівняння (11) і підставивши (2) маємо

$$\left\{ \begin{aligned} \sin \psi + \frac{q}{\rho g} \left(1 - \frac{\sin \chi}{\mu \cos \alpha \sin \zeta} \right) &= \\ &= \frac{\mu \cos \psi \cos \gamma \sin \chi}{\sqrt{(\cos \gamma \sin \chi)^2 + (\cos \gamma \cos \psi \sin \chi - \sin \gamma \sin \psi)^2}}, \\ \frac{q}{\rho g} \left(1 - \frac{\cos \gamma \cos \psi \sin \chi - \sin \gamma \sin \psi}{\mu \cos \alpha \cos \gamma \sin \zeta} \right) &= \\ &= \frac{\mu \cos \psi (\cos \gamma \cos \psi \sin \chi - \sin \gamma \sin \psi)}{\sqrt{(\cos \gamma \sin \chi)^2 + (\cos \gamma \cos \psi \sin \chi - \sin \gamma \sin \psi)^2}}. \end{aligned} \right. \quad (12)$$

Систему рівнянь (12) відносно ψ і χ будемо вирішувати в програмному пакеті Mathematica. Приймаючи $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $q = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^3$ [4]; $\rho = 1340 \text{ кг/м}^3$; $\alpha = 15^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $d = 0,4 \text{ м}$; $R = 0,66 \text{ м}$; $h = 0,1 \text{ м}$ отримуємо графічну інтерпретацію дискового робочого органу і лінії контакту з ґрунтовим середовищем (рис. 3). При цьому рівняння лінії контакту робочого органу з ґрунтовим середовищем можна представити, як в параметричному так і в звичайному вигляді:

$$\left\{ \begin{aligned} x(t) &= -0,320752 + 0,000978761t + 8,63534 \cdot 10^{-6} t^2 - 2,2426 \cdot 10^{-8} t^3, \\ y(t) &= 0,542725 + 0,000708602t + 1,12761 \cdot 10^{-6} t^2 - 1,46553 \cdot 10^{-8} t^3, \\ z(t) &= -0,179942 - 0,00023068t + 2,1464 \cdot 10^{-6} t^2 - 1,19451 \cdot 10^{-8} t^3; \end{aligned} \right. \quad (13)$$

$$\begin{aligned} z(x, y) &= 0,719908 + 1,45223x + 2,57464x^2 - \\ &- 5,72681y - 2,29588xy + 6,77665y^2. \end{aligned} \quad (14)$$

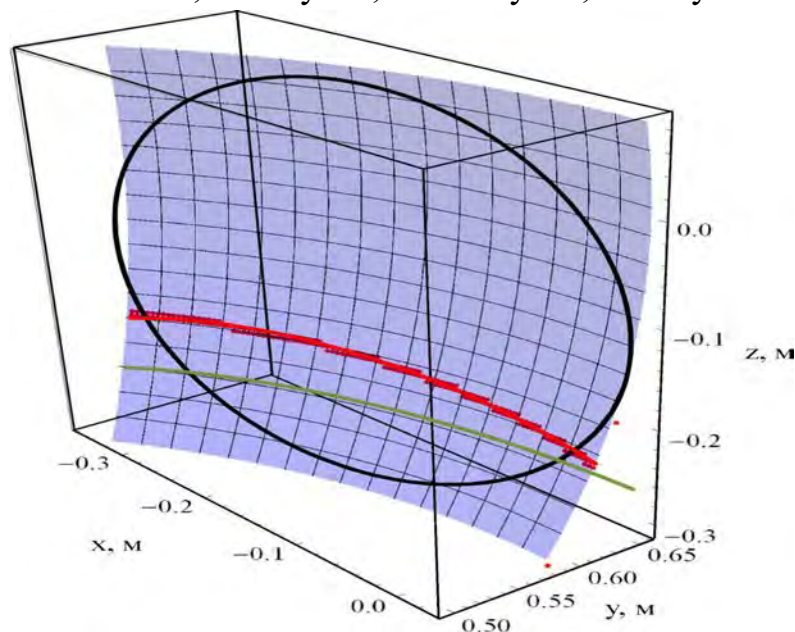


Рисунок 3. Графічна інтерпретація дискового робочого органу і лінії контакту з ґрунтовим середовищем



Для знаходження площі контакту ґрунтового середовища і робочого органу дискового ґрунтообробного знаряддя скористаємося відомою формулою [9]:

$$S = \iint_{ABCD} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} dx dy \quad (15)$$

де ABCD – фігура, що обмежена лініями: рівнянням (14) і колом діаметром d із центром в точці:

$$\begin{aligned} x_c &= R \sin\left(\frac{\Psi_{\max} + \Psi_{\min}}{2}\right) \cos\left(\frac{\chi_{\max} + \chi_{\min}}{2}\right), \\ y_c &= R \sin\left(\frac{\Psi_{\max} + \Psi_{\min}}{2}\right) \sin\left(\frac{\chi_{\max} + \chi_{\min}}{2}\right), \\ z_c &= R \cos\left(\frac{\Psi_{\max} + \Psi_{\min}}{2}\right). \end{aligned} \quad (16)$$

Тоді рівняння нижньої частини зазначеного кола має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} z = -\sqrt{\frac{d^2}{4} - \left(x - R \sin\left(\frac{\Psi_{\max} + \Psi_{\min}}{2}\right) \cos\left(\frac{\chi_{\max} + \chi_{\min}}{2}\right)\right)^2} + \\ + \sqrt{\left(x - R \sin\left(\frac{\Psi_{\max} + \Psi_{\min}}{2}\right) \sin\left(\frac{\chi_{\max} + \chi_{\min}}{2}\right)\right)^2} + R \cos\left(\frac{\Psi_{\max} + \Psi_{\min}}{2}\right). \end{aligned} \quad (17)$$

З використанням розробленої програми в програмному пакеті Mathematica було проведено варіювання глибини обробки ґрунту h від 0,03 м до 0,12 м, кута атаки α і кута нахилу γ робочого органу дискового знаряддя в діапазоні від 0° (0 рад) до 30° ($\pi/6$ рад) і визначені значення площі контакту S . Апроксимуючи отримані дані отримано рівняння регресії другого порядку для двох факторів (рис. 4):

$$\begin{aligned} S(h, \alpha, \gamma) = & -0,00185791 + 0,224608 h + 0,572986 h^2 + 0,00433771 \beta + \\ & + 0,108132 h \alpha + 0,0111632 \alpha^2 + 0,00143915 \gamma + 0,0182 h \gamma + \\ & + 0,00197823 \alpha \gamma - 0,000297924 \gamma^2. \end{aligned} \quad (18)$$

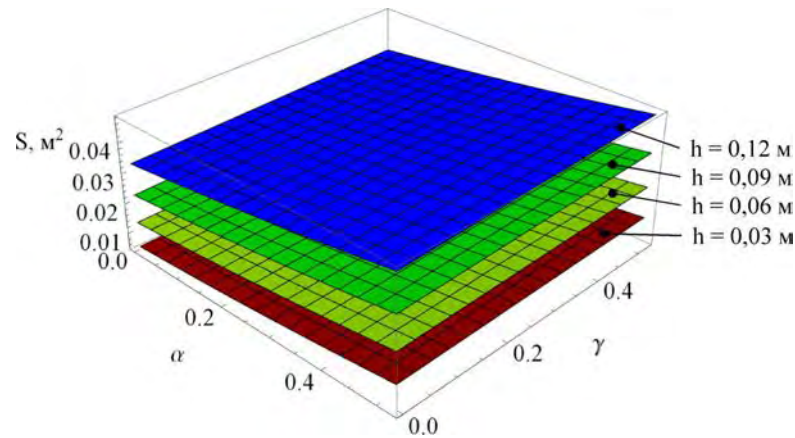


Рисунок 4. Залежність площі контакту ґрунтового середовища і робочого органу дискатора від його кутів атаки α і нахилу γ та глибини обробітку ґрунту h

Для визначення сили опору ґрунтового середовища при дії на нього дискового робочого органу використовуємо результати досліджень [6], а саме аналітичні залежності компонентів нормальних напружень для пружно-в'язко-пластичного ґрунтового середовища:

$$\sigma_x = \frac{2}{9} \mu \left(3e^{\frac{2K_2(1+\nu)}{3(-1+2\nu)}} (2\dot{\varepsilon}_x - \dot{\varepsilon}_y - \dot{\varepsilon}_z) - \frac{e^{K_2} (1+\nu) (\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z)}{-1+2\nu} \right) \quad (19)$$

$$\sigma_y = \frac{2}{9} \mu \left(3e^{\frac{2K_2(1+\nu)}{3(-1+2\nu)}} (2\dot{\varepsilon}_y - \dot{\varepsilon}_x - \dot{\varepsilon}_z) - \frac{e^{K_2} (1+\nu) (\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z)}{-1+2\nu} \right) \quad (20)$$

$$\sigma_z = \frac{2}{9} \mu \left(3e^{\frac{2K_2(1+\nu)}{3(-1+2\nu)}} (2\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_y - \dot{\varepsilon}_x) - \frac{e^{K_2} (1+\nu) (\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z)}{-1+2\nu} \right) \quad (21)$$

$$K_2 = - \frac{27L(-1+2\nu) \left(\tau_0 \cos \kappa + \frac{2e^{K_1} \mu (1+\nu) (\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z) \sin \kappa}{9-18\nu} \right)}{4\sqrt{2}\mu(1+\nu) \sqrt{\frac{E(-1+\nu)}{(-1+\nu+2\nu^2)\rho}} (-3+\sin \kappa)} \quad (22)$$

$$K_1 = - \frac{EL}{\mu(1+\nu) \sqrt{\frac{E(-1+\nu)}{(-1+\nu+2\nu^2)\rho}}} \quad (23)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – компоненти напружень, Па; $\dot{\varepsilon}_x, \dot{\varepsilon}_y, \dot{\varepsilon}_z$ – компоненти швидкостей відносних деформацій, 1/с;

ν – коефіцієнт Пуассона;

E – модуль пружності лінійних деформацій, Па;

μ – коефіцієнт в'язкості зсувних деформацій, Па·с;

κ – коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту;

τ_0 – напруження початкового зсуву ґрунту, Па;



L – відстань, на якій затухає хвиля напружень у ґрунті, м;
 ρ – щільність ґрунту, кг/м³.

Проекцію сили опору на вісі Ox , Oy , Oz можна визначити за формулами:

$$F_x = \iint_{ABCD} \sigma_x dydz, \quad (24)$$

$$F_y = \iint_{ABCD} \sigma_y dx dz, \quad (25)$$

$$F_z = \iint_{ABCD} \sigma_z dx dy, \quad (26)$$

де $ABCD$ – фігура що обмежена лініями: рівнянням (13) і (16)

Для переводу декартових координат у сферичні використовується наступні залежності:

$$\begin{aligned} x &= R \sin \psi \cos \chi, \\ y &= R \sin \psi \sin \chi, \\ z &= R \cos \psi. \end{aligned} \quad (27)$$

Для похідних за часом і диференціалів отримуємо:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= R \dot{\psi} \cos \psi \cos \chi - R \dot{\chi} \sin \psi \sin \chi, \\ \dot{y} &= R \dot{\psi} \cos \psi \sin \chi + R \dot{\chi} \sin \psi \cos \chi, \\ \dot{z} &= -R \dot{\psi} \sin \psi. \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} dx &= R \cos \psi \cos \chi d\psi - R \sin \psi \sin \chi d\chi, \\ dy &= R \cos \psi \sin \chi d\psi + R \sin \psi \cos \chi d\chi, \\ dz &= -R \sin \psi d\psi. \end{aligned} \quad (29)$$

Враховуючи, що $\dot{\epsilon}_x = \frac{\dot{x}}{L}$, $\dot{\epsilon}_y = \frac{\dot{y}}{L}$, $\dot{\epsilon}_z = \frac{\dot{z}}{L}$ отримуємо:

$$\begin{aligned} 2\dot{\epsilon}_x - \dot{\epsilon}_y - \dot{\epsilon}_z &= \frac{1}{L} (2R \dot{\psi} \cos \psi \cos \chi - 2R \dot{\chi} \sin \psi \sin \chi - \\ &\quad - R \dot{\psi} \cos \psi \sin \chi - R \dot{\chi} \sin \psi \cos \chi + R \dot{\psi} \sin \psi), \\ 2\dot{\epsilon}_y - \dot{\epsilon}_x - \dot{\epsilon}_z &= \frac{1}{L} (2R \dot{\psi} \cos \psi \sin \chi + 2R \dot{\chi} \sin \psi \cos \chi - \\ &\quad - R \dot{\psi} \cos \psi \cos \chi + R \dot{\chi} \sin \psi \sin \chi + R \dot{\psi} \sin \psi), \\ 2\dot{\epsilon}_z - \dot{\epsilon}_y - \dot{\epsilon}_x &= \frac{1}{L} (2R \dot{\psi} \sin \psi - R \dot{\psi} \cos \psi \cos \chi + R \dot{\chi} \sin \psi \sin \chi - \\ &\quad - R \dot{\psi} \cos \psi \sin \chi + R \dot{\chi} \sin \psi \cos \chi), \\ \dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z &= \frac{1}{L} (R \dot{\psi} \cos \psi \cos \chi - R \dot{\chi} \sin \psi \sin \chi + \\ &\quad + R \dot{\psi} \cos \psi \sin \chi + R \dot{\chi} \sin \psi \cos \chi - R \dot{\psi} \sin \psi). \end{aligned} \quad (30)$$

Підставляючи (29) і (30) в (24)–(26) отримуємо проєкції сили опору на вісі Ox , Oy , Oz . Однак представлені інтеграли важко вирішувати аналітичним способом. Тому скористаємося програмним пакетом Mathematica і визначимо залежності проєкцій сили опору від кутів атаки α і нахилу γ робочого органу дискатора в діапазоні від (0 рад) до 30° ($\pi/6$ рад), швидкості його переміщення V (1–4 м/с) та глибини обробітку ґрунту h (0,03–0,12 м). Апроксимуючі отримані дані отримано рівняння регресії для трьох проєкцій сили опору:

$$F_x = 5627,99 V (-0,00324251 + h^2 + 0,0194825 \alpha^2 + \alpha (0,00757036 + 0,00345249 \gamma) + h (0,391995 + 0,188717 \alpha + 0,0317635 \gamma) + 0,00251167 \gamma - 0,00051995 \gamma^2) (\cos \alpha + \sin \alpha (0,307692 \cos \gamma + 0,307692 \sin \gamma)); \quad (31)$$

$$F_y = 1731,69 V (-0,00324251 + h^2 + 0,0194825 \alpha^2 + \alpha (0,00757036 + 0,00345249 \gamma) + h (0,391995 + 0,188717 \alpha + 0,0317635 \gamma) + 0,00251167 \gamma - 0,00051995 \gamma^2) (\cos \alpha + \sin \alpha (3,25 \cos \gamma + \sin \gamma)); \quad (32)$$

$$F_z = 1731,69 V (-0,00324251 + h^2 + 0,0194825 \alpha^2 + \alpha (0,00757036 + 0,00345249 \gamma) + h (0,391995 + 0,188717 \alpha + 0,0317635 \gamma) + 0,00251167 \gamma - 0,00051995 \gamma^2) (\cos \alpha + \sin \alpha (\cos \gamma + 3,25 \sin \gamma)). \quad (33)$$

Графічна інтерпретація залежностей (31)–(33) представлена на рис. 5 – 6.

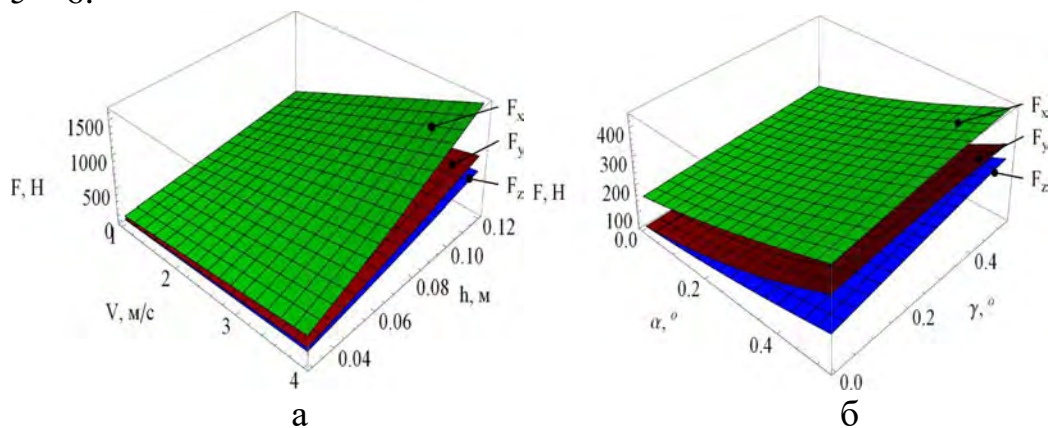


Рисунок 5. Залежності проєкцій сили опору: а - від швидкості переміщення робочого органу дискатора V та глибини обробітку ґрунту h при $\alpha = 15^\circ$, $\gamma = 10^\circ$; б - від кутів атаки α і нахилу γ робочого органу дискатора при $V = 3$ м/с, $h = 0,03$ м

Висновки. Таким чином, в результаті теоретичних досліджень переміщення частинки ґрунту по увігнутій сферичній поверхні дискового робочого органу із урахуванням сил, що виникають при його



взаємодії з ґрунтовим середовищем побудовано математичну модель для визначення площі та рівняння лінії контакту ґрунту з сферичною поверхнею диска в залежності від його конструктивних параметрів (радіус сферичної поверхні R , діаметр диска d), кутів атаки α і нахилу γ та глибини обробітку ґрунту h .

Враховуючи отримані залежності площі та рівняння лінії контакту ґрунтового середовища із поверхнею робочого органу дискатора та використовуючи відомі аналітичні закономірності для компонентів нормальних напружень пружно-в'язко-пластичного ґрунтового середовища, одержано залежності для визначення проекцій сили опору від кутів атаки α і нахилу γ робочого органу дискового знаряддя, швидкості його переміщення V та глибини h обробітку ґрунту.

Список використаних джерел

1. Гуков Я. С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України [Текст]: наукове видання / Я. С. Гуков. К.: ДІА, 2007. 276 с.
2. Godwin R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 97. P. 331–340.
3. Elvis López Bravo. Simulation of Soil and Tillage-tool Interaction by the Discrete Element Method. Catholic University of Leuven Faculty of Bioscience Engineering. 2013. 130 p.
4. Шевченко І. А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища. К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 320 с.
5. Бакум М. В., Ящук Д. А. Проектування ґрунтообробних машин з дисковими робочими органами. Навчальний посібник. Харків: ХНТУСГ, 2011. 34 с.
6. Гуцол О. П., Ковбаса В. П. Обґрунтування параметрів і режимів руху ґрунтообробних машин з дисковими робочими органами: Монографія. Київ, 2016. 145 с.
7. Ковбаса В. П., Войтюк Д. Г., Короткевич П. С., Мартишко В. М. Ковбаса В. П. Моделювання процесу взаємодії робочих органів сільськогосподарських машин з ґрунтом. *Науковий вісник НАУ*. Київ. 1997. Вип.2. С. 117–123.
8. Кушнарев С. А., Погорельй В. В., Чуб С. А. Кинематика точок сферических дисков почвообрабатывающих орудий при взаимодействии с почвой. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. Вип.75. Т.1. Харків, 2008. С.121–127.
9. Yun Zhang. On the Mechanics of Disc-Soil-Planter Interaction. A Thesis Submitted to the College of Graduate Studies and Research In Partial



Fulfillment of the Requirements For the Degree of Master of Science In the Department of Mechanical Engineering University of Saskatchewan Saskatoon. 2016. 219 p.

10. Omer A. Abdalla, Eman A. Mohamed, Ahmed M. El Naim, Mohammed A. El Shiekh, Moayad B. Zaied. Effect of disc and tilt angles of disc plough on tractor performance under clay soil. Current Research in Agricultural Sciences. 2014 Vol. 1, No. 3, P. 83–94.

Стаття надійшла до редакції 05.04.2023 р.

O. Kozachenko, K. Sedykh, O. Volkovskyi
State Biotechnological University

THEORETICAL ANALYSIS OF THE FORCE INTERACTION OF THE DISK WORKING BODY WITH THE SOIL ENVIRONMENT

Summary

The article highlights the results of theoretical studies of the interaction of the disc working body of the tillage tool with the soil environment. Based on the results of a critical analysis of known scientific works regarding the chosen direction of research, the expediency of further study of the process of interaction of disk working bodies with the soil environment, the influence of structural parameters and modes of operation in order to increase the agronomic and energy indicators of tillage tools has been established. In the process of implementing the set tasks, mathematical modeling of the movement of an elementary soil particle along the spherical surface of the disk working body of the tillage tool was performed in order to determine the line and area of contact of the soil medium with the surface of the disk, which is carried out taking into account the force of the soil slop, which is formed on the working spherical surface of the disk, Coriolis force and centrifugal force, which are caused by its rotational movement during the execution of the technological process, and in accordance with the selected design parameters, namely, the radius of the spherical surface R of the disk and its diameter d , the angle of attack α and the angle of inclination γ in the vertical plane and the depth h of soil cultivation. Using the developed program in the Mathematica software package, the soil tillage depth h was varied from 0.03 m to 0.12 m, the angle of attack α and the angle of inclination γ of the working body of the disc tool in the range from 0° (0 rad) to 30° ($\pi/6$ rad) and determined values of the contact area S of the processed soil medium with the disc working body. Using known analytical regularities regarding the normal stress components of the elastic-viscous-plastic soil environment and the Mathematica software package, the dependencies of the projections of the resistance force of the working body of the disc tool on the selected design parameters, the depth h of soil cultivation and the speed of movement were determined.

Key words: disk working body, soil environment, spherical disk, design parameters, angle of attack, angle of inclination.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-7

УДК 338.2:332.334

О. Г. Скляр, к.т.н..

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

С. М. Григоренко, асист.

ORCID: 0000-0003-3818-2404

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: 067-916-85-80

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ПОСІВНИХ ПЛОЩ

Анотація. В статті запропоновано методику моделювання та оптимізації структури посівних площ. Доведено, що для цього доцільно використовувати оптимізаційну економіко-математичну модель структури посівних площ. При цьому використано цільову функцію – максимум чистого доходу. Розв'язок задачі згідно запропонованої моделі передбачає розрахунок структури посівних площ продовольчих та кормових культур з обов'язковим урахуванням вимог сівозмін, які забезпечать тваринництво кормами належної якості та забезпечить прибуток від продажу товарної продукції, а також збереже природну якість ґрунтів та не порушить екосистему в цілому. В результаті рішення задачі лінійного програмування симплекс-методом MS Excel отримано оптимальну структуру посівних площ з визначеним максимальним чистим доходом.

Ключові слова: моделювання, оптимізація, посівна площа, дохід, корма, скотарство, цільова функція, система змінних.

Постановка проблеми. Стратегічним резервом нарощування та раціонального використання товарного потенціалу землеробства, зростання обсягів товарної продукції землеробства і тваринництва [1-3] в Україні є удосконалення структур посівних площ сільськогосподарських культур. Структурна перебудова землеробства має вирішити питання приведення у відповідність фактичного біокліматичного потенціалу природних зон України з генетичним потенціалом сільськогосподарських культур.

Практичне значення для подальшого ефективного розвитку агропромислового виробництва і нарощування обсягів виробництва продукції сільського господарства має раціональне розміщення його галузей [4-6]. Територіальна обмеженість сільськогосподарських



земель вимагає, щоб кожний гектар угідь при відповідній технології давав максимальну кількість продукції для внутрішнього споживання та експорту за межі регіону [7].

Аналіз останніх досліджень. Питанням економіко-математичного моделювання в управлінні виробничо-економічною діяльністю присвячені роботи С. М. Волкова, В. Д. Кірюхіна, О. О. Варламова, О. В. Купчиненко, Л. С. Твердовської, Р. О. Трибрата [8-10], які описували системи макроекономічних моделей планування та аналізу розвитку агропромислового комплексу. Автори намагалися моделювати окремі елементи виробничо-економічної діяльності, нехтуючи принципом комплексності. Але, сучасні підходи до моделювання у сільському господарстві мають бути спрямовані на розвиток таких принципів управління, як системність та комплексність, багатоваріативність розрахунків за допомогою запровадження системи економіко-математичних моделей.

Також, важливу роль відіграють завдання оптимізації: повновікової структури стада [11]; раціонів годування худоби [12]; структури кормовиробництва, забезпечення худоби кормами власного виробництва в умовах обмежених земельних ресурсів [13]. Вирішення цих завдань допоможе уникнути погіршення показників відтворення стада, продуктивності тварин і досягти максимум економічного ефекту.

Формулювання мети статті. Розробка економіко-математичної моделі та розрахунок оптимального раціону годування дійних корів з урахуванням відповідних зоотехнічних та економічних вимог.

Основна частина. Для кожного сільськогосподарського підприємства не залежного від типу і форми власності та спеціалізації головною задачею є покращення продуктивності сільськогосподарських угідь, збільшення обсягів виробництва продукції галузі рослинництва та тваринництва [10,14]. Зрозуміло, що це залежить від багатьох чинників. Проте, раціональне використання землі – було і залишається одним з ключових питань як в розрізі національної економіки, так і конкретного підприємства.

Необхідно зауважити, що галузі рослинництва та тваринництва тісно пов'язані між собою. Посівні площі кормових культур залежать від особливостей сівозмін, типу ґрунтів, їх фактичного стану та виду і обсягу продукції тваринництва [14,15]. Головною задачею розрахунку структури посівних площ кормових культур є створення надійної кормової бази для тваринництва.

Можливими критеріями оптимальності можуть бути такі [10,16]: мінімум матеріально-грошових витрат на виробництво кормів, мінімум відведеної ріллі під кормові культури, максимум валової (товарної) продукції галузі тваринництва, максимум чистого доходу підприємства тощо. Для відображення конкретних умов функціонування кожного



зокрема реально існуючого підприємства, відповідно, вводять у модель додаткові умови-обмеження.

Вихідна інформація і етапи її підготовки. Для побудови числової економіко-математичної моделі до задачі необхідна загальна характеристика галузі, тобто стан галузі, існуючі системи сівозмін, можливість ротації сівозмін, технологія і ефективність вирощування сільськогосподарських культур, відгодівля тварин, види і групи тварин, спосіб утримання тощо. Проте, необхідна і така інформація [9,10,16]:

- площі сільськогосподарських угідь: ріллі, природних чи окультурених сінокосів, пасовищ, багаторічних пасовищ;
- перелік сільськогосподарських культур, які можуть вирощуватися в господарстві, їх врожайність, вихід поживних речовин з 1 га;
- наявні виробничі фонди в господарстві, норми затрат ресурсів на 1 га сільськогосподарських культур, на 1 ц продукції чи голову тварини;
- обсяг виробництва продукції тваринництва з урахуванням власних потреб та на реалізацію (товарна продукція);
- можливі агротехнічні границі насичення сівозмін окремими групами сільськогосподарськими культурами;
- допустимі річні границі годівлі окремих видів кормів у раціоні тварин. Допустимі границі вмісту окремих груп кормів у раціоні. Норми годівлі зеленими кормами у пасовищний період (розробка зеленого конвеєра);
- норми витрат поживних речовин у розрахунку на 1 ц продукції тваринництва чи на голову тварин, птиці, що необхідна для забезпечення заданого рівня продуктивності;
- вартість 1 ц продукції тваринництва чи виходу валової (товарної) продукції в розрахунку на 1 структурну голову тварин. Затрати ріллі, матеріально-грошових засобів у розрахунку на 1 га кормових культур.

Для запису числової економіко-математичної моделі наведемо такий *ПРИКЛАД*.

Етап 1. Постановка задачі. За господарством закріплено 8892 га землі, в тому числі 8412 га сільськогосподарських угідь, з них 7393 га ріллі, 1019 га природних пасовищ.

У таблиці 1 представлено передбачений у господарстві план продажу продукції рослинництва. Витрати праці на обробіток сільськогосподарських культур не повинні перевищувати 294 тис. люд.-год.

Тваринництво представлено молочно-м'ясним скотарством. Дані таблиці 2 відображають кількість кормів, необхідних для задоволення потреб тваринництва в кормах.

*Етап 2. Збір вихідної інформації і порядок її підготування*

Урожайність сільськогосподарських культур і матеріально-грошові витрати на їх вирощування представлено в таблиці 3.

Таблиця 1

Таблиця 2

Обсяг продажу продукції
рослинництва

Потреба у кормах

Продукція	Обсяг реалізації, ц	Корми	Необхідна кількість кормів, ц
Зерно, всього	65000	Концентровані корми	5500
в т.ч. яра пшениця	10000	в т. ч. ячмінь	1860
озима пшениця	20000	Грубі корми	35540
кукурудза на зерно	35000	в т. ч. сіно	28120
Картопля	2800	Зелений корм	137460
Овочі	2400	Силос	75900
Баштанні	3100		

Таблиця 3

Урожайність сільськогосподарських культур і виробничі витрати на 1 га

Культури	Урожайність, ц/га	Витрати праці, люд.-год.	Витрати на виробництво, гр. од.
Озима пшениця	19,0	19,0	613
Яра пшениця	10,2	23,3	1308
Ярий ячмінь	11,9	22,0	1055
Кукурудза на зерно	26,7	75,0	2273
Кукурудза на силос	182,3	35,0	1380
Картопля	25,2	250,0	8111
продовольча			
Овочі продовольчі	74,6	1500,0	9682
Баштанні	56,3	25,0	600
продовольчі			
Однорічні трави:			
- на сіно	39,3	23,9	304
- на зелений корм	82,4	6,6	619
Багаторічні трави:			
- на сіно	31,7	7,0	281
- на зелений корм	89,4	15,6	666
Пари	-	7,0	106
Природні пасовища	80,3	4,2	320

* гр.од. – умовна грошова одиниця



Розподіл основної та побічної продукції, одержуваної з 1 га посіву сільськогосподарських культур на різні цілі: насіння, корм худобі і надано в таблиці 4.

Таблиця 4

Розподіл продукції сільськогосподарських культур, отриманої з 1 га

Культури	Виробництво продукції, ц		Відходи, ц	Насіння, ц	На корм, ц		Товарна продукція	
	Основна	Побічна			Основна	Побічна	в натур. виразі, ц	в грошовому виразі, гр.од.
Озима пшениця на продаж	19,0	19,0	0,4	1,4	0,4	19	17,2	2105
на фураж	19,0	19,0	-	1,4	17,6	19	-	-
Яра пшениця на продаж	10,2	9,0	0,4	1,4	0,4	9	8,4	3108
на фураж	10,2	9,0	-	1,4	8,8	9	-	-
Ярий ячмінь на фураж	11,9	5,0	-	1	10,9	5	-	-
Кукурудза на зерно	26,7	-	0,7	0,3	0,7	-	25,7	4815
Картопля на продаж	25,2	-	2	5	-	-	18,2	6041
Овочі на продаж	74,6	-	1,3	-	-	-	73,3	7090
Баштанні на продаж	56,3	-	0,2	-	0,2	-	56,1	600
Кукурудза на силос	182,3	-	-	-	182,3	-	-	-
Однорічні трави:								
- на сіно	39,3	-	-	-	39,3	-	-	-
- на зел.корм	82,4	-	-	-	82,4	-	-	-
Багаторічні трави:								
- на сіно	31,7	-	-	-	31,7	-	-	-
- на зел.корм	89,4	-	-	-	89,4	-	-	-
Природні пасовища	80,3	-	-	-	80,3	-	-	-

Виходячи із завдань по збільшенню виробництва зерна,



конкретних природних та економічних умов і раціональної системи землеробства, питома вага зернових у структурі ріллі коливається від 50 до 60%. Питома вага озимих в структурі посівних площ у господарстві має бути трохи більше, ніж ярих, і коливатися від 18 до 23% - озимих, від 14 до 19% - ярих. Під кукурудзою має бути зайнято не менше 18% площі ріллі, під пари - не менше 10%, під картоплю і овочево-баштанні - не більше 5%.

За критерій оптимальності прийнята максимізація суми чистого доходу від вирощування сільськогосподарських культур.

Етап 3. Розробка числової моделі.

Для розробки розгорнутої економіко-математичної моделі необхідно визначитися з системою змінних [16].

Система змінних: у даній задачі за основні змінні прийняті площі посіву сільськогосподарських культур за їх цільовим призначенням. Наприклад, зернові - на виробничі та фуражні цілі, трави - на сіно і зелений корм, кукурудза - на силос і зерно.

Основні змінні. Площа, га: x_1 – озима пшениця продовольча; x_2 – озима пшениця фуражна; x_3 - яра пшениця продовольча; x_4 - яра пшениця фуражна; x_5 – ярий ячмінь фуражний; x_6 – кукурудза на зерно; x_7 – кукурудза на силос; x_8 – картопля продовольча; x_9 – овочі продовольчі; x_{10} – баштанні продовольчі; x_{11} – однорічні трави на сіно; x_{12} – однорічні трави на зелений корм; x_{13} – багаторічні трави на сіно; x_{14} – багаторічні трави на зелений корм; x_{15} – пари.

Додаткові змінні: y_1 – площа природних пасовищ, га; c_1 - виробничі витрати, гр. од.

Система обмежень:

I. Обмеження за наявністю земельних ресурсів, га:

1. За площею ріллі

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} \leq 7393$$

2. За площею пасовищ, га

$$y_1 = 1019$$

II. За агротехнічними умовами насичення сівозміни окремими с. г. культурами чи групами культур, га:

Згідно умов попередньо розраховуються мінімальні та максимальні межі посівів культур чи груп. Так, за умовами задачі, площа пару не менше 10% площі ріллі, а це після розрахунку 739 га)

3. Площа пару, не менше

$$x_{15} \geq 739$$



4. Площа зернових культур, не менше

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 3697$$

5. Площа зернових культур, не більше

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \leq 4436$$

6. Площа озимих культур, не менше

$$x_1 + x_2 \geq 1330$$

7. Площа озимих культур, не більше

$$x_1 + x_2 \leq 1700$$

8. Площа ярих культур, не менше

$$x_3 + x_4 + x_5 \geq 1035$$

9. Площа ярих культур, не більше

$$x_3 + x_4 + x_5 \leq 1405$$

10. Площа кукурудзи на зерно, не менше

$$x_6 \geq 1330$$

11. Площа овочево-баштанних культур та картоплі, не більше

$$x_8 + x_9 + x_{10} \leq 370$$

III. За виконанням плану реалізації продукції, ц:

12. Зерна

$$17,2x_1 + 8,4x_3 + 25,7x_6 \geq 65000$$

13. Ярої пшениці

$$8,4x_3 \geq 1000$$

14. Озимої пшениці



$$17,2x_1 \geq 20000$$

15. Кукурудзи на зерно

$$25,7x_6 \geq 35000$$

16. Овочів

$$73,3x_9 \geq 2400$$

17. Картоплі

$$18,2 x_8 \geq 2800$$

18. Баштанних

$$56,1x_{10} \geq 3100$$

IV. По забезпеченню тваринництва кормами власного виробництва, ц:

19. Концкорми

$$0,4x_1 + 17,6x_2 + 0,4x_3 + 8,8x_4 + 10,9x_5 + 0,7x_6 \geq 5500$$

20. Фуражний ячмінь

$$10,9x_5 \geq 1860$$

21. Грубі

$$19x_1 + 19x_2 + 9x_3 + 9x_4 + 5x_5 + 39,3 x_{11} + 31,7x_{13} \geq 35540$$

22. Сіно

$$39,3 x_{11} + 31,7x_{13} \geq 28120$$

23. Силос

$$182,3x_{13} \geq 75900$$

24. Зелений корм



$$82,4x_{12}+89,4 x_{14} +80,3 y_1 \geq 137460$$

V. За витратами на виробництво

25. Праця, люд.-год.

$$19x_1+19x_2+23,3x_3+23,3x_4+22x_5+75x_6+35x_7+250x_8+1500x_9+25x_{10}+23,9x_{11}+6,6x_{12}+7x_{13}+15,6x_{14}+7x_{15}+4,2y_1 \leq 294000$$

26. Виробничі витрати, гр. од.

$$613x_1+613x_2+1308x_3+1308x_4+1055x_5+2273x_6+1380x_7+8111x_8+9682x_9+600x_{10}+304x_{11}+619x_{12}+281x_{13}+666x_{14}+106x_{15}+320y_1-c_1=0$$

Критерій оптимальності – максимум чистого доходу – різниця між вартістю валової продукції та виробничими витратами [9].

Примітка. Для визначення чистого доходу у сільськогосподарському підприємстві вартість валової продукції обчислюють в цінах фактичної реалізації. При цьому нетоварна частина валової продукції оцінюється за собівартістю, а товарна — у фактичних цінах реалізації [9].

В нашому прикладі коефіцієнтами цільової функції при змінних, які виражають площі посіву культур на товарні цілі, є *вартість товарної продукції з 1 га за вирахуванням насіння*, а при змінних, які виражають площі посіву кормових культур – *виробничі витрати с 1 га*.

Цільова функція:

$$F=2105x_1+613x_2+3108x_3+1308x_4+1055x_5+4815x_6+1380x_7+6041x_8+7090x_9+600x_{10}+304x_{11}+619x_{12}+281x_{13}+666x_{14}+106x_{15}+320y_1-c_1 \rightarrow \max$$

На основі вищенаведених даних складається *матриця економіко-математичної моделі* (таблиця 5), яка є основою для складання електронної таблиці для розв'язання задачі за допомогою платформи MS Excel [16].

В результаті рішення задачі лінійного програмування симплекс-методом MS Excel отримані наступні дані в таблиці 6.

Етап 4. Аналіз результатів розв'язання задачі

Оптимальне рішення щодо структури посівних площ представлено в таблиці 6.

Виконання умов:

- I група обмежень – площа ріллі використовується повністю;
- II група – агротехнічні умови виконані, площі культур та груп знаходяться у вказаних межах;
- III група - план продажу по овочах, картоплі та баштанних



Таблиця 6

Оптимальна структура посівних площ

Культури	Площа	
	га	%
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Озима пшениця на продаж	1509	20,4
- на фураж	87	1,2
<i>Озимі - всього</i>	<i>1596</i>	<i>21,6</i>
Яра пшениця на продаж	1234	16,7
- на фураж	-	-
Ярий ячмінь на фураж	171	2,3
<i>Ярі - всього</i>	<i>1405</i>	<i>19,0</i>
Кукурудза на зерно	1434	19,4
<i>Зернові - всього</i>	<i>4436</i>	<i>60,0</i>
Картопля на продаж	154	2,1

Продовження таблиці 6

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Овочі на продаж	33	0,5
Баштанні на продаж	55	0,7
<i>Овочево-баштанні і картопля</i>	<i>242</i>	<i>3,3</i>
Кукурудза на силос	414	5,6
Однорічні трави на сіно	-	-
- на зел.корм	675	9,1
Багаторічні трави на сіно	887	12,0
- на зел.корм	-	-
<i>Всього посівів</i>	<i>6654</i>	<i>90</i>
Пари	739	10,0
Всього ріллі	7393	100
Природні пасовища	1019	x
Загальна земельна площа	8412	x
Виробничі витрати, гр. од.	9274855	x
Чистий дохід, гр. од.	7715912	x

Список використаних джерел.

1. 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.

2. Skliar R. Measures to ensure safety when using biogas and installation of biogas plant. *OSHAgro – 2021*: Збірник тез I Міжн. наук.-практ. конф. Київ: НУБіП, 2021. С. 24–26.

3. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім



«Кондор», 2020. 410 с.

4. Болтянський Б. В. Модель функціонування бази технічного сервісу обладнання тваринницьких підприємств. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 3. №12. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-12.

5. Jakubowski T. Analysis of waste processing technologies by composting method. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 118–122.

6. Болтянський Б. В., Болтянська Л. О. Тенденції та форми сучасного сервісу фермської техніки. *«Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв»*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ДБТУ, 2022. С. 206–208.

7. Скляр Р. В. Доцільність використання економіко-математичних моделей в сільському господарстві. *Інноваційні технології в АПК*: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Луцьк: Луцький НТУ. 2021. С. 122–124.

8. Shokarev O., Komar A. State and problems of implementation of innovations in the field of animal husbandry. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 2. №5. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-5.

9. Кігель В. Р. Математичні методи ринкової економіки. К: Кондор, 2008. 212 с.

10. Трибрат Р.О. Моделювання технологічних процесів у тваринництві: метод. рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Миколаїв: МНАУ, 2016. 47 с.

11. Григоренко С. М. Моделювання та оптимізація річного обороту стада великої рогатої худоби. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. №13. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-13.

12. Болтянський Б. В. Моделювання та оптимізація раціону годування дійних корів у зимовий період. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 1. №5. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-5.

13. Boltianskyi B., Boltianska L., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of operation of a mobile straw spreading unit with a rotating finger body-experimental research. *Processes 2021*. 9(7). 1144.

14. Комар А. С. Вплив внесення безпідстилкового гною на якість врожаю зернових. *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції Глеваха-Київ. 2022. С. 41–43.

15. 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.

16. 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 06.04.2023 р.

O. Skliar, R. Skliar, S. Grigorenko
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

METHODOLOGY FOR MODELING AND OPTIMIZING THE STRUCTURE OF SOWN AREAS

Summary

The article proposes a methodology for modeling and optimizing the structure of sown areas. It is proved that it is advisable to use an optimization economic and mathematical model of the structure of sown areas. The objective function used is the maximum net income. For each agricultural enterprise, regardless of the type and form of ownership and specialization, the main task is to improve the productivity of agricultural land, to increase the volume of crop and livestock production. It is clear that this depends on many factors. A strategic reserve for increasing and rationally utilizing the commodity potential of agriculture and increasing the volume of commodity agricultural and livestock products in Ukraine is to improve the structure of crop areas. However, rational land use has always been and remains one of the key issues for both the national economy and a particular enterprise. It should be noted that the crop and livestock industries are closely interconnected. The sown areas of fodder crops depend on the specifics of crop rotations, soil type, their actual condition, and the type and volume of livestock production. The main task of calculating the structure of fodder crops is to create a reliable feed base for livestock. The solution to the problem according to the proposed model involves calculating the structure of sown areas of food and fodder crops with due regard for crop rotation requirements that will provide livestock with feed of proper quality and ensure profit from the sale of commercial products, as well as preserve the natural quality of soils and not disturb the ecosystem as a whole. As a result of solving the linear programming problem using the MS Excel simplex method, the optimal structure of sown areas with a certain maximum net income was obtained.

Key words: modeling, optimization, sown area, income, feed, livestock, objective function, system of variables.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-8

УДК 621.891:631.31

А. В. Захаров¹, ORCID: 0000-0001-9894-7355
І. М. Рибалко¹, д.т.н., доц. ORCID: 0000-0002-3663-019X
О. В. Тіхонов¹, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0001-7209-8375
О. В. Сайчук², д.т.н., проф. ORCID: 0000-0001-5118-838X

¹Державний біотехнологічний університет²Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж імені В.І. Вернадського

e-mail: zakharovandrey1997@gmail.com, тел.: 066-083-89-47

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ҐРУНТІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Анотація. В статті запропоновано аналіз матеріалу, що відображає проведені теоретичні дослідження зношування культиваторних стрілочастих лап в залежності від їх геометричних параметрів і сил, що діють на поверхню ґрунтообробного робочого органу. Абразивне зношування один з найпоширеніших видів зношування, на його долю припадає приблизно 60% всіх відмов деталей ґрунтообробних машин і знарядь. Дослідження закономірностей процесу абразивного зношування та пошук методів для запобігання його негативних наслідків є безумовно актуальною проблемою. В сільському господарстві найбільшому абразивному зношуванню піддаються робочі органи, які безпосередньо взаємодіють з середовищем ґрунту. Під час експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин зношування їхньої поверхні відбувається в результаті взаємодії з мінералами, твердість яких вища за твердість металу. Великий вплив на механізм та інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин та знарядь має форма абразивних частинок ґрунту. В основі абразивного зношування покладено процес мікрорізання поверхні деталей вершинами абразивних зерен. На інтенсивність процесу зношування великий вплив має гострота граней та їх кількість. Чим більше гострих граней мають частинки ґрунту, тим більший вплив зношування вони роблять на поверхню деталей культиватора. Зношувальна здатність абразивних частинок зростає зі збільшенням коефіцієнта форми. Прямої залежності між зменшенням зношувальної здатності ґрунтів і зменшенням коефіцієнта форми абразивних частинок не виявлено через складність будови й



самоорганізації ґрунтового середовища. В роботі наводиться схема дії сил та напрямки руху частинок ґрунту по лезу робочих органів ґрунтообробних машин.

Ключові слова: культиваторні лапи, фізико-механічні властивості ґрунтів, характер зносу, кут кришення, абразивне зношування.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми.

Культиватори є найпоширенішими ґрунтообробними знаряддями для виконання перед посівної підготовки та розпушування ґрунту, а також для знищення бур'янів. До таких знарядь слід віднести культиватор марки КПС-4, що використовується з тракторами класу 30кН в зчипці з загальним агрегатом захопленням 8м [1, 2].

ДСТУ 23.2.164-87 «Лапи та стійки культиваторів» передбачає 21 типорозмір універсальних лап [3]. Для культиваторів КПС-4 використовують лапи типорозміру 3 з шириною захвату 270мм, товщиною металу $S=5$ мм, а також типорозміру 5 ($B = 330$ мм, $S = 6$ мм).

Даним стандартом передбачені для даних, або розмірів такі значення кутів лап: $\phi=26\ 40'$ - кут кришення носової частини; 2γ - кут розчину;

$\beta=28$ - кут кришення крил лапи, що забезпечує необхідне розпушування ґрунту без обороту пласта;

$R=230+4$ (мм) – радіус.

Дуже актуальним є дослідження впливу вказаних параметрів на динаміку зношування лап за різних методів їх відновлення з метою підвищення їх довговічності та ресурсу.

Формулювання мети статті. Істотним недоліком існуючих стрічастих лап з площинними деформаторами є неякісне розпушування ґрунту, оскільки їх бічні грані діють на пласт, що розпушується, одночасно. Інтенсифікація такого впливу за рахунок збільшення крутості постановки бічних площин збільшує деформаційний процес зсуву, проте негативно впливає на енергетику процесу. Крім того відбувається руйнування біоактивних структур ґрунту до пилоподібних, що легко піддаються ерозії.

У цьому представляє інтерес проведення досліджень динаміки зношування культиваторних лап з метою розробки технологічного процесу, що забезпечує з одного боку підвищення їх довговічності, а з іншого – забезпечення якості обробітку ґрунту.

Основна частина. Зношуюча здатність ґрунту з точки зору процесу руйнування – це здатність ґрунту зношувати ріжучі робочі елементи і поверхні лап, змінювати їх геометричні розміри в результаті ріжучої або ковзної дії частинок і включень, що складають ґрунт.

При зношуванні у ґрунті підтверджується справедливність основного закону абразивного зношування. Інтенсивність зношування



грунторізальних деталей визначається кількістю твердих абразивних частинок, а також ступенем їх фіксації в решті ґрунтової маси [4]. Інтенсивність зношування робочих органів знарядь залежить від механічного складу та вологості ґрунту, а також наявності в ньому кам'янистих включень [5].

Встановлено, що інтенсивність та величина абразивного зносу визначаються фізико-механічними властивостями ґрунтів. Чим більше у ґрунті міститься піщаних частинок розміром 1,00...0,25 мм, тим більший абразивний знос металу; при цьому велику роль відіграють найбільш тверді мінерали – кварц, мікротвердість якого вища за сталь 65Г з якої в переважній більшості виготовляють стрілчасті культиваторні лапи і досягає 800...1100 кг/мм. Важливу роль відіграє окатаність зерен кварцу. Чим кругліше зерна, тим менший абразивний знос, чим нерівніше – тим інтенсивніше знос металу.

Велике значення має ступінь фіксації (закріплення) піщаних зерен у масі суглинного, або глинистого ґрунту. При міцній фіксації (у сухому ґрунті), спостерігається найбільше зношування металу. При оптимальній вологості ґрунту, що забезпечує мінімальний питомий опір, знос також мінімальний у зв'язку зі слабкою фіксацією піщаних зерен у ґрунті. Збільшення густини та твердості ґрунту веде до збільшення абразивного зносу металу, оскільки фіксація частинок при цьому збільшується. У супіщаних та піщаних ґрунтах, де мало глинистих частинок, основну зв'язуючу та фіксуючу роль відіграє їхня вологість. Для цих ґрунтів є певний «порог» зволоження, при якому вони мають максимальне абразивне зношування. Зі зменшенням чи збільшенням вологості поза «порогу» абразивного зносу буде зменшуватися [6].

Дослідженнями встановлено, що глинисті і суглинні ґрунти мають найменшу здатність до зношування, при 14...18% абсолютної вологості. Зі зменшенням вологості від зазначеної межі їхня здатність до зношування буде збільшуватися до певного значення, після якого вона різко почне зменшуватися. Верхня межа вологості становить 0,4 % від значення верхньої межі пластичності. Супіщані ґрунти мають максимальне абразивне зношування при абсолютній вологості 14 %. Зі збільшенням, або зменшенням вологості від зазначеного значення абразивне зношування цих ґрунтів зменшується. При абсолютній вологості 9...10 % абразивний знос цих ґрунтів мінімальний.

Є найбільш загальний критерій абразивного зношування ґрунтів за вмістом у них «фізичного» піску (частки розміром більше 0,01 мм). Відповідно до критерію ґрунту поділяються на три групи.

У першу групу входять ґрунти з малою здатністю до зношування, що містять до 80 % «фізичного» піску; у другу – супіщані та піщані ґрунти із середнім абразивним зносом, що містять від 80 до 95 %



«фізичного» піску та незначну кількість кам'янистих включень; у третій включені ґрунти, що містять від 95 до 100 % «фізичного» піску з великою кількістю каменів і з великим абразивним зносом.

Максимальний абразивний знос культиваторних лап для першої групи ґрунтів коливається в межах від 2 до 30 г/га, другий – близько 100 г/га, третьої – до 260 г/га (грамів металу на 1 га ріллі з 1 лапи) [6].

Зносостійкість органів ґрунтообробних машин характеризують кількістю оброблених одним робочим органом гектарів або рідше за числом робочих змін (числом годин безперервної роботи) [7].

Як основні фактори, що визначають знос робочих органів ґрунтообробних машин, виділяються механічний склад, вологість, щільність і однорідність ґрунту, швидкість руху і форма робочих органів, а також властивості матеріалів, з яких вони виготовлені.

В даний час на ґрунтообробних культиваторах в більшості випадків використовують стрілчасті лапи.

Стрілчасті лапи зазвичай встановлюють по відношенню до дна борозни під кутом близько 90° по передній грані та по відношенню до осі руху культиватора. Установка лап у великій мірі визначає характер процесу зносу, а також є причиною підвищеного навантаження, що припадає на носову частину лапи.

Характерна зміна контуру лапи представлена на рис. 1 [8]. Найактивніше зношується носова частина лапи, внаслідок чого поступово зникає долотоподібний виступ. Зношування стрілчастої лапи також свідчить про те, що на її носову частину припадає найбільше навантаження. Гострі кути кромок лапи в міру зносу заокруглюються, що пояснюється підвищеною швидкістю руху частинок ґрунту, які обтікають цей кут. Зношування носка лапи приблизно в 2 рази вище, ніж знос середньої частини. Різниця в інтенсивності зношування носка і середини лапи для різних ґрунтів приблизно однакова. Тому можна вважати, що посилення зносу носка не пов'язане зі складом ґрунту, а є наслідком зміни тиску ґрунту по краю лапи.

Необхідно відзначити, що характер зносу по всій довжині ріжучої кромки лапи, включаючи носок, істотно не відрізняється. Форма потиличної фаски по всій довжині леза ріжучих кромок однакова, але розміри їх на носку трохи менше, так як носова частина сильніше відтягнута і має зазвичай гостріший кут заточування.

Геометричні параметри стрілчастої лапи на різних ґрунтах змінюються по-різному. Однак у всіх випадках з тильного боку ріжучої кромки утворюється потилична фаска, що знаходиться під негативним кутом горизонтальної площини. У міру збільшення напруцювання лап інтенсивність збільшення ширини майданчика зношування зменшується. Незважаючи на значні відмінності ґрунтових умов

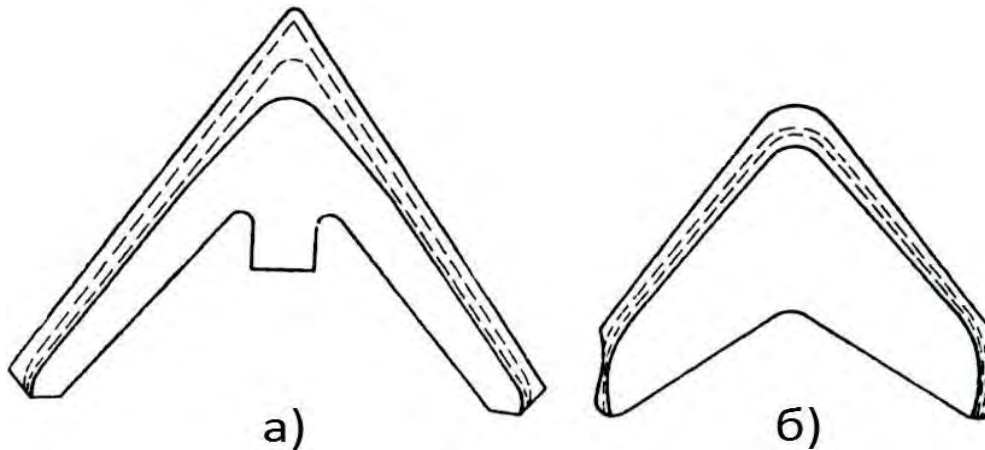


Рисунок 1. Знос лап: а – із захопленням 270 мм; б – із захопленням 150 мм [5]

суттєвої різниці в інтенсивності зміни ширини майданчика зносу на каштанових та чорноземних ґрунтах не спостерігається. У той же час інтенсивність наростання ширини майданчика зношування на сірих опідзолених ґрунтах супіщаного механічного складу значно вища, ніж на каштанових та чорноземних ґрунтах.

При зношуванні лап на піщаних і супіщаних ґрунтах середньої, або підвищеної вологості, а також на суглинних ґрунтах з високим вмістом великих піщаних частинок ріжуча кромка залишається відносно гострою. Під час роботи на піщаних та супіщаних ґрунтах лапа працює без ремонту до повного використання технічного ресурсу. Ширина лапи в процесі зносу зменшується настільки, що оголюється стійка культиватора. При підвищеній вологості піщаних та супіщаних ґрунтів на носовій частині лапи утворюється канавка. У цих умовах лапу відбраковують при наскрізному протиранні носової частини.

Зношування лап на суглинистих і глинистих ґрунтах характеризується утворенням закругленої ріжучої кромки з опуклою формою майданчика зносу, нахиленої до дна борозни під кутом $15...30^\circ$. При культивації суглинистих і глинистих ґрунтів середнього та високого їх технічного ресурсу. Щоб повністю використати технічний ресурс, закладений у конструкцію стрілчастих лап з однорідним лезом, їх необхідно багато разів відтягувати. Кількість відтяжок залежить від твердості ґрунту та його зношування. На обробці глинистих та важкосуглинистих чорноземів високої твердості лапи відтягують до 5...6 разів.

На ґрунтах, засмічених камінням, ресурс лап головним чином залежить від міцності носової частини, що виступає над стійкою культиватора [4].

Характер зносу лап залежить не тільки від складу ґрунту, а й від однорідності його властивостей за глибиною. Хоча культивація



являється процесом обробки порівняно пухкого ґрунту, це все одно впливає на характер пришвидшеного зносу лап культиваторів [8]. Основним показником, що визначає працездатність культиваторних лап, є ступінь підрізування бур'янів. На зміну якості виконання роботи впливає кут заточування. Збільшення товщини ріжучої кромки леза та кута заточування універсальних стрілочастих лап зменшує ступінь підрізування бур'янів, середню глибину обробки ґрунту та спричиняє підвищення нерівномірності ходу по глибині та тяговому опору.

Найбільш інтенсивне зменшення середньої глибини культивації у стрілочастих лап відбувається у міру збільшення товщини леза до 0,8...0,9 мм та кута заточки до 20...22°, у односторонніх лап – відповідно до 0,7...0,8 мм і 18...20°. Подальше збільшення товщини та кута заточування леза немає значної зміни глибини обробки, тобто відбувається стабілізація середньої глибини культивації.

Великий вплив на підрізання бур'янів мають ґрунтові умови (твердість, вологість), а також ботанічний склад рослинності [4].

На рис.1 представлений загальний випадок зносу стрілочастих лап культиватора із захватом 270 мм після культивації 40 га легкого чорнозему та із захопленням 150 мм після культивації 45 га важкого чорнозему. Зі схеми видно, що найбільша інтенсивність зносу характерна для носка лапи, у міру віддалення від носка інтенсивність зносу ріжучої кромки лапи знижується. Інтенсивність зносу ріжучої кромки носка стрілочастих лап, як правило, значно вища, ніж ріжучої кромки крил. Зі збільшенням щільності ґрунту зношування носової частини лапи підвищується, при обробці пухкого, комкуватого ґрунту зношування по контуру лапи вирівнюється, оскільки тиск на носок так само, як і на крила лапи, невеликий.

Інтенсивність зносу стрілочастих лап культиваторів на різних ґрунтах неоднакова. Термін служби стрілочастих лап культиваторів становить 40...100 год, що відповідає виробленню на одну лапу 80...200 га.

Ріжуча кромка плоскорізальних лап також зношується нерівномірно. Найбільш активне зношування спостерігається в місці перегину лапи, яке виконує функції «носка». Тут лапа зазнає найбільшого навантаження. Зношування лапи в місці вигину в 2...3 рази вище, ніж у середній частині.

Термін служби плоскорізальних лап культиваторів приблизно такий самий, як і стрілочастих.

Радіус затуплення місця перегину у плоскорізальній лапі зазвичай значно більше, ніж носка у стрілочастій. Це може бути пояснено ковзанням абразивних частинок уздовж ріжучої кромки леза в процесі його роботи. Вертикальна частина лапи у процесі культивації набуває радіальної конфігурації.



При зіставленні зносу стрілчастих і плоскорізальних лап на однакових ґрунтах видно, що конфігурація зношених лез майже однакова. Це пояснюється насамперед подібними умовами роботи.

Якщо порівняти профілі лез лап культиваторів, зношених у різних ґрунтових умовах, то неважко помітити, що в більшості випадків ріжуча кромка має заокруглену форму. Це можна пояснити тим, що виконують культивуацію пухкого і комкуватого ґрунту на невелику глибину (10...12 см). У цих умовах наплив грудок ґрунту по ріжучій кромці та ковзання її частинок уздовж леза сприяють затупленню ріжучої кромки [8].

Характер зносу лап культиваторів більшою мірою залежить від вологості ґрунту, який на глибині культивації протягом сезону змінюється набагато більше, ніж на глибині оранки. Зі зменшенням вологості верхня грань ріжучої кромки лапи зношується активніше. При високій вологості (22...28 %) загальне зношування лапи значно знижується, оскільки ґрунт стає пухким.

Інтенсивність зносу леза зростає зі збільшенням щільності ґрунту. Так, лапа, встановлена по осі руху колеса культиватора, має інтенсивність зношування приблизно в 1,5 рази більшу, ніж сусідня. При цьому потилична фаска леза внаслідок збільшення щільності ґрунту виявляється набагато чіткіше.

Таким чином, характер зносу лап культиватора залежить від вологості та структури ґрунту, тому протягом сезону на тій самій ділянці ґрунту конфігурація зносу може суттєво змінюватися. У процесі літньої міжрядної обробки, коли вологість ґрунту невелика, переважає знос верхньої грані леза. При обробці вологого пухкого ґрунту інтенсивність зношування значно знижується, і верхня грань леза зношується дуже слабо [8].

Міжзаточний ресурс культиваторних лап визначається за граничним значенням товщини кромки леза, а повний ресурс – за вибракуванням ширини крил у середній частині або в місці перегину лапи. Для того, щоб культиваторні лапи працювали до повного зношування, їх піддають багаторазовим ремонтам (заточування, відтяжка) [1].

Результати досліджень. Встановлено [9-15], що процес взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин із ґрунтовим абразивним середовищем при їх переміщенні характеризується впливом абразиву ґрунту на клин з плоскою, або криволінійною робочою поверхнею.

Вплив ґрунту на клин залежить від характеру деформування матеріалу, параметрів клина, фізико-механічних властивостей істану ґрунту, швидкості його переміщення.



При переміщенні шару ґрунту по клину в точці M на робочу поверхню діють сили: маса пласта Q , динамічний тиск N та сила тертя $F_{тр}$ (рис. 2).

Величину абразивного зносу лапи по товщині I_h можна подати у вигляді функції від наступних факторів:

$$I_h = f(p, L, H, m, S), \quad (1)$$

де p – нормальний питомий динамічний тиск ґрунту;

L – шлях тертя;

H_μ – твердість матеріалу лапи;

m – показник зношувальної здатності абразиву;

S – площа тертя.

Масу елемента ґрунту, що знаходиться на клині, можна визначити за формулою:

$$Q = ablp g, \quad (2)$$

де a, b – відповідно товщина та ширина елемента пласта;

l – довжина елемента пласта; $g = 9,81 \text{ с/м}^2$ – прискорення вільного падіння.

Проекція сили Q на напрямок нормалі до поверхні клину дорівнює:

$$Q = ablp g \cos \xi, \quad (3)$$

де ξ – кут між полярною віссю та радіусом кривизни ріжучої кромки (рис. 2);

ρ – щільність ґрунту.

Сила тертя може бути визначена за наступною залежністю [10]:

$$F_{тр} = fab\rho (V_{пер}^2 \sin \xi \sin \gamma + g \cos \xi), \quad (4)$$

де $V_{пер}$ – поступальна швидкість клину.

Аналіз даного рівняння дозволяє зробити висновок, що зі збільшенням кута ξ постановки робочої поверхні підйом пласта ускладнюється, ґрунт сильно деформується та ускладнюється перед клином.

Можна припустити, що в цьому випадку підвищуватиметься нормальний тиск ґрунту на клин, що сприятиме зниженню швидкості відносного ковзання пласта по робочій поверхні. При цьому у клина утворюються застійні зони ґрунтових частинок, та величина зношування зменшується [9].

Зношування ріжучих кромки лап культиваторів є [10, 11] незворотним процесом, що визначається руйнуванням ґрунту при виконанні роботи. Величина і характер зношування визначаються,

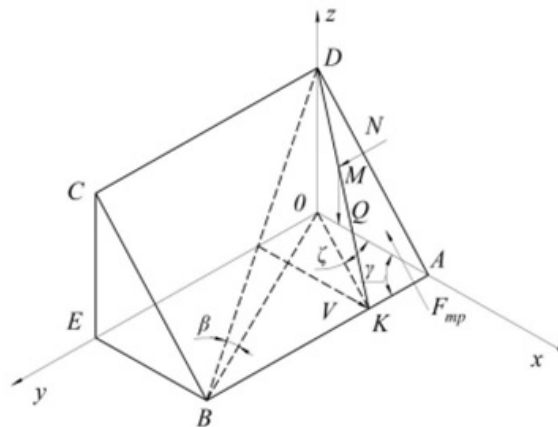


Рисунок 2. Схема дії сил та напрямки руху частинок ґрунту полезу робочого органу

перш за все, закономірностями розподілу напруг на робочих поверхнях культиваторної лапи

Висновки. З усього різноманіття чинників, які впливають на знос, можна виділити два основних, які легко піддаються кількісній оцінці:

1) механічний склад ґрунту, визначаючий її абразивну агресивність та зв'язність;

2) щільність ґрунту, що визначає тиск на лезо ґрунтової маси та інтенсивність зносу ріжучої частини леза. При зміні одного з цих факторів безперечно змінюватиметься інтенсивність зносу та форма зношеного леза.

Інші фактори, що характеризують ґрунт, наприклад вологість, тиск, коефіцієнт тертя, необхідно вважати побічними, оскільки їхня дія може бути виражена через дію механічного складу та щільності ґрунту [8].

Затуплення лез лап культиваторів погіршує підрізування бур'янів і знижує якість роботи, що виконується. Крім того, затуплення лез та утворення у них потиличної фаски збільшує тяговий опір машини, порушує стійкість її ходу по глибині та породжує інтенсивне розпилення ґрунту на дні борозни [7].

Однак всі ці випробування проводились на відкритих сільськогосподарських площах. На відміну від них лісокультурні площі, як правило, характеризуються наявністю пнів, коренів та залишків після порубки дерев. Якість підготовки ґрунту в цих умовах значною мірою залежить від кількості пнів, їх середнього діаметра, характеру розподілу коренів у ґрунті, що обробляється. Всі ці фактори пред'являють підвищені вимоги до надійності ґрунтообробних машин та знарядь і, зокрема, до гостроти лез стрілочастих лап. Крім того, ґрунти лісової зони містять у своєму складі щєбенисто-камінисті включення, які викликають поломки деталей та їх інтенсивне зношування, що є ще



однією особливістю експлуатації ґрунтообробних знарядь та машин у лісовому господарстві.

Все це суттєво впливає на довговічність основних деталей та вузлів, особливо на ресурс робочих органів, та на термін служби машин і знарядь.

Для забезпечення довговічності культиваторних лап, зниження величини їх зношування необхідно, одного боку знижувати зношуючі здатність абразиву, а з іншого – забезпечити такі геометричні параметри лап, які дозволять знизити динаміку їх зношування та забезпечать якість обробітку ґрунту.

Список використаних джерел

1. Jiang W. Bio-inspired self-sharpening cutting tool surface for finish hard turning of steel. *CIRP Annals*. 2014. Vol. 63. P. 517–520. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.047>.
2. Shakhov V., Semjons Ivanovs S., Uchkin P., Ushakov Y. Studies in coatings for working bodies of deep-rippers recovered by plasma surfacing. 18th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development. Jelgava: Latvia. P. 44–49. URL: <https://doi.org/10.22616/erdev2019.18.n031>.
3. Lemecha M., Napiórkowski J., Konat L. Analysis of wear and tear of working elements with a replaceable cutting edge in an abrasive soil mass. *Tribologia*. 2017. 273(3). P. 101–109. URL: DOI: 10.5604/01.3001.0010.6144.
4. Денисенко М. І., Рубльов В. І. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з використанням точкового зміцнення. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2011. № 24, ч. 2. С. 28–35.
5. Kostencki P., Stawicki T., Krolicka A., Sędlak P. Wear of cultivator coulters reinforced with cemented-carbide plates and hardfacing. *Wear*. 2019. Vol. 438–439. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203063>.
6. Belousov S. V., Samurganov E. E., Rodionenko A. I. Theoretical justification of the type of a flat-cutting working body of a ploughshare. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 709. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/709/3/033100>.
7. Liuabc X. F., Tian Z. L., Zhang X. F., Chen H. H., Liu T. W., Chen Y., Wang Y. J., Dai L. H. «Self-sharpening» tungsten high-entropy alloy. *Acta Materialia*. 2020. Vol. 186. P. 257–266. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.01.005>.
8. Singh J., Chatha S. S., Sidhu B. S. Effect of Surface Alloying on Wear Behaviour OF En-47 Steel. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 21, Part 2. P. 1340–1349. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.172> (Last accessed: 23.12.2018).



10. Zein El-Din. A. M, Saad F. A., Abdel Hamied R. G. Effect of New Hard Facing Materials of Tillage Tools on Draft and Roughness. *Alexandria Journal of Agricultural Science*. 2016. Vol. 61, № 3. p. 243–251.

11. Семчук Г. И., Дудников А. А., Мелешко А. В., Гуленко В. В. Конструктивно-технологические характеристики культиваторных лап. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. 4/7 (64). С. 12–14.

12. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: Монографія. Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2017. 279с.

13. Скобло Т. С., Рыбалко И. Н., Тихонов А. В., Мартыненко А. Д. Анализ способов изготовления, упрочнения и восстановления стрелчатых лап культиватора. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків: ХНТУСГ, 2019. №15. С. 60–85.

14. Скобло Т. С., Рыбалко И. Н., Мартыненко А. Д. Исследование характера изнашивания культиваторных лап. Abstracts XIX International Scientific and Practical Conference "Applied and fundamental scientific research" Brussels, Belgium, April 08-09, 2021. P. 264–267.

15. Skoblo T. S., Rybalko I. M., Nanka O. V., Saychuk O. V. Evaluation of the wear of the duckfoot sweep cultivator blades and the technology of their hardening. *Problems of Tribology*. 2021. V. 26, No 2/100. P. 6–18. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-100-2-6-18>

Стаття надійшла до редакції 17.04.2023 р.

A. Zakharov¹, I. Rybalko¹, O. Tihonov¹, O. Saychuk²

¹State Biotechnological University

²V. I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College

STUDY OF WEARING CAPACITY OF SOILS AND ITS EFFECT ON THE DURABILITY OF WORKING BODIES OF SOIL PROCESSING MACHINES

Summary

The article offers an analysis of the material that reflects the conducted theoretical studies of the wear of cultivator arrow paws depending on their geometric parameters and forces acting on the surface of the tillage working body. Abrasive wear is one of the most common types of wear, accounting for approximately 60% of all tillage machine and tool component failures. Researching the laws of the process of abrasive wear and finding methods to prevent its negative consequences is definitely an urgent problem. In agriculture, working bodies that directly interact with the soil environment are subject to the greatest abrasive wear. During the operation of the working bodies of tillage machines, wear of their surface occurs as a result of interaction with minerals, the hardness of which is higher than the hardness of the metal. The shape of abrasive soil particles has a great influence on the mechanism and intensity of abrasive wear of the



working bodies of tillage machines and tools. Abrasive wear is based on the process of microcutting the surface of parts with the tops of abrasive grains. The intensity of the wear process is greatly influenced by the sharpness of the edges and their number. The sharper edges the soil particles have, the more wear they have on the surface of the cultivator parts. The wear capacity of abrasive particles increases with an increase in the shape factor. A direct relationship between the decrease in wearability of soils and the decrease in the shape coefficient of abrasive particles was not found due to the complexity of the structure and self-organization of the soil environment. The paper presents a diagram of the action of forces and the direction of movement of soil particles along the blade of the working bodies of tillage machines.

Key words: cultivator paws, physical and mechanical properties of soils, nature of wear, angle of collapse, abrasive wear.



УДК 66.084.8:664.3.032

В. В. Дідур¹, д.т.н.

ORCID: 0000-0001-7584-5073

Є. А. Петриченко¹, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1037-077X

О. Ю. Новик², інж.

ORCID: 0000-0003-0184-9172

¹Уманський національний університет садівництва²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: didur.vv@gmail.com

УЛЬТРАЗВУК ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Анотація. В статті розглянуто питання застосування ультразвуку в різних галузях промисловості. Представлено схеми ультразвукових апаратів. Надано фактори впливу ультразвуку на макуху в матриці маслопресу.

Дія ультразвуку на технологічні та хімічні процеси має певний характер: стимулюючий, інтенсифікуючий, оптимізуючий.

Ультразвукові коливання мають характерні особливості, що визначають широке використання ультразвуку в техніці і науці. Основні з них: невелика довжина хвилі; відносно невеликий період коливань, що дає можливість випромінювати ультразвукові хвилі імпульсами, також можна проводити в середовищі точний відбір сигналів розповсюдження; при невеликій амплітуді коливання є можливість набуття максимальних значень енергії ультразвуку; ультразвукове поле сприяє суттєвим акустичним витокам (це формує певні ефекти: фізичні, хімічні, біологічні та медичні.); при простому захисті ультразвукових коливань нечутно обслуговуючому персоналу, що не створює дискомфорту.

Ключові слова: ультразвук, коливання, випромінювач, вплив, пресування.

Постановка проблеми. Сучасний стан техніки та технології орієнтований на розвиток та впровадження інноваційних технологій у різні технологічні процеси, спрямовані на підвищення ефективності промислового сектору економіки.

В результаті літературного огляду стосовно технології отримання олії з рослинної сировини методом пресування виявлено напрями вдосконалення технологій пресування олійних культур та механізмів



для їх здійснення, що показують, що процес фор пресування олійних культур має такі недоліки: низький вихід олії з насіння олійних культур через те, що в зоні інтенсивного стискання між продуктом і в його порах блокуються компоненти олії, що перешкоджає їх виводу до вихідних отворів олійного пресу.

У зв'язку з цим потрібне застосування нових фізичних ефектів для усунення цього недоліку. Одним із перспективних фізичних методів впливу на харчові продукти є ультразвукові коливання. Тож дослідження цього фізичного методу на предмет застосування його при виробництві рослинних олій є перспективною задачею.

Аналіз останніх досліджень. В останні роки ультразвук починає грати все більшу роль в різних галузях промисловості. Питання застосування ультразвуку під час механічної обробки деталей та матеріалів на протязі багатьох років досліджувало чимало вчених. О. П. Колосова, В. В. Ванін, О. Є. Колосов, В. І. Сівецький [1, 2] розглянули широке коло питань, що стосуються моделювання технологічних параметрів базових процесів формування та конструктивних елементів формуючого технологічного ультразвукового обладнання, призначеного для приготування полімерних композицій та виготовлення високоміцних і бездефектних виробів із реактопластичних традиційних композитів у хімічній, машинобудівній та інших галузях промисловості. Точність вимірювання амплітуди ультразвукових механічних коливань вихрострумовим методом розкрив О. Ф. Закревський [3]. Статтю [4] присвячено 3D-моделюванню напружено-деформованого стану процесу алмазного вигладжування за використання додаткового впливу механічних коливань (вібрацій). Виконано дослідження зі встановлення раціональних режимів обробки для вказаного комбінованого процесу вигладжування, встановлено математичну модель процесу. Л. П. Калафатова [5] визначила шляхи підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних крихких неметалевих матеріалів з урахуванням їхніх фізико-механічних властивостей і структури. О. Б. Козлова, В. О. Заведєєв [6] розкрили методику підвищення якості поверхні методом безабразивної ультразвукової фінішної обробки. До питання застосування електровпливу для ефективного дроблення матеріалів в умовах металургійної обробки підійшли С. Г. Савельєв, В. В. Плотніков та О. В. Бабаєвська [7]. Також цій темі присвячено багато праць зарубіжних авторів [8-14] та ін.

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є аналіз властивостей ультразвуку на предмет застосування його при виробництві олії з рослинної сировини методом пресування.

Основна частина. Існують різні джерела ультразвукових хвиль: механічні, аеродинамічні, електродинамічні, гідродинамічні,

електромагнітні, магнітострикційні та п'єзоелектричні випромінювачі. Зміни розміру кристалічної пластинки (кварц і титанат барію, сегнетова сіль) при взаємодії високочастотних полів являє зворотноп'єзоелектричний ефект [15, 16].

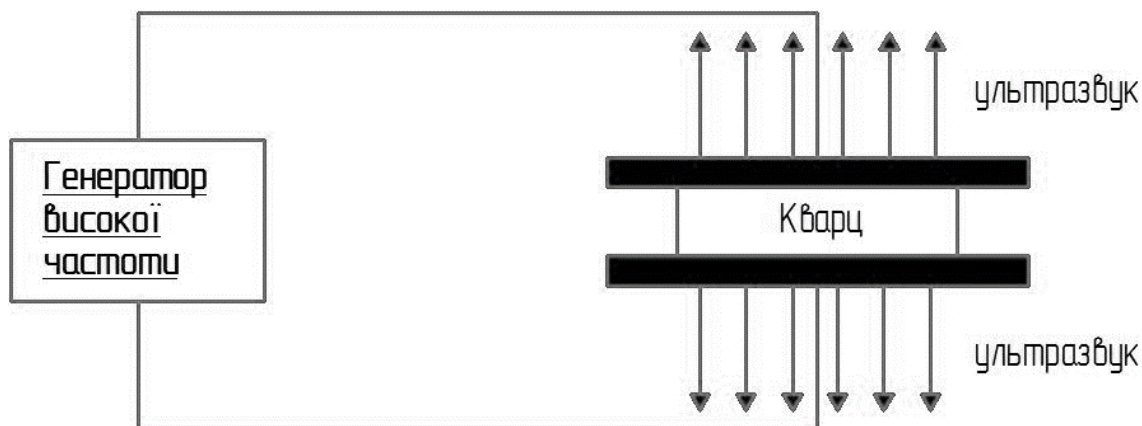


Рисунок 1. Випромінювач ультразвуковий п'єзоелектричний

Перенесення енергії відбувається за рахунок частинок хвилі, які коливаються близько середнього становища їхнього рівноважного стану [1].

Під дією ультразвукових хвиль змінюються основні фізикохімічні характеристики середовища: в'язкість, температура, поверхневий натяг біля межі розчин - тверда фаза або розчин - форма, дифузія.

В'язкість середовища після впливу ультразвуком зменшується, при цьому характер зміни показує, що зниження в'язкості обумовлено не тільки тепловим впливом ультразвукової хвилі, так як разом з тепловим впливом застосовуються інші ефекти, наприклад, вплив сили тертя від нерозчинних твердих домішок, що знаходяться в розчині. Що суттєво зменшує гідравлічний тиск у матриці та витрати енергії на шнековому валу [1, 15].

Фізична природа впливу ультразвукових коливань на теплообмін полягає у проникненні ультразвуку в ламінарний та прикордонний шар видавленої рідини та газу, що викликає їхню спільну деформацію, турбулізацію та перемішування. Внаслідок цього коефіцієнт теплопередачі та швидкість теплообміну збільшуються як у матриці, так і в передматричній зоні [18].

На рисунках 2–4 проілюстровано структурну схему ультразвукового технологічного апарату [1], схему п'єзоелектричної ультразвукової коливальної системи та представлено фактори впливу ультразвуку на макуху в матриці маслопресу

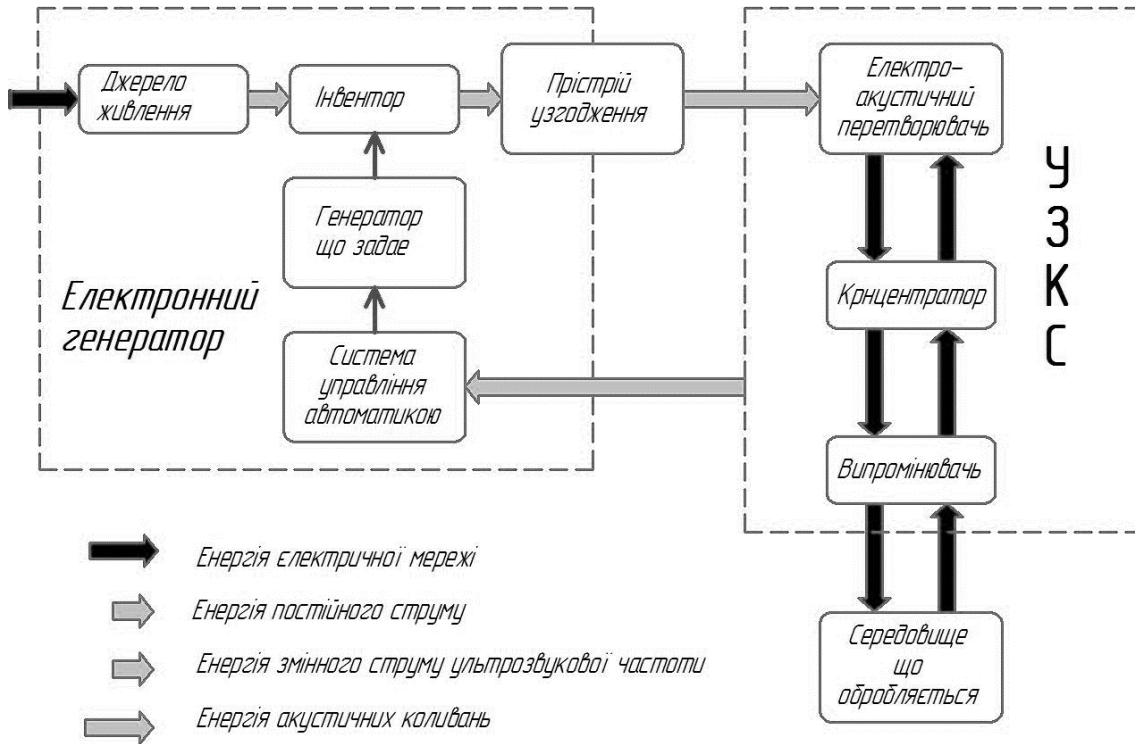


Рисунок 2. Структурна схема ультразвукового технологічного апарату

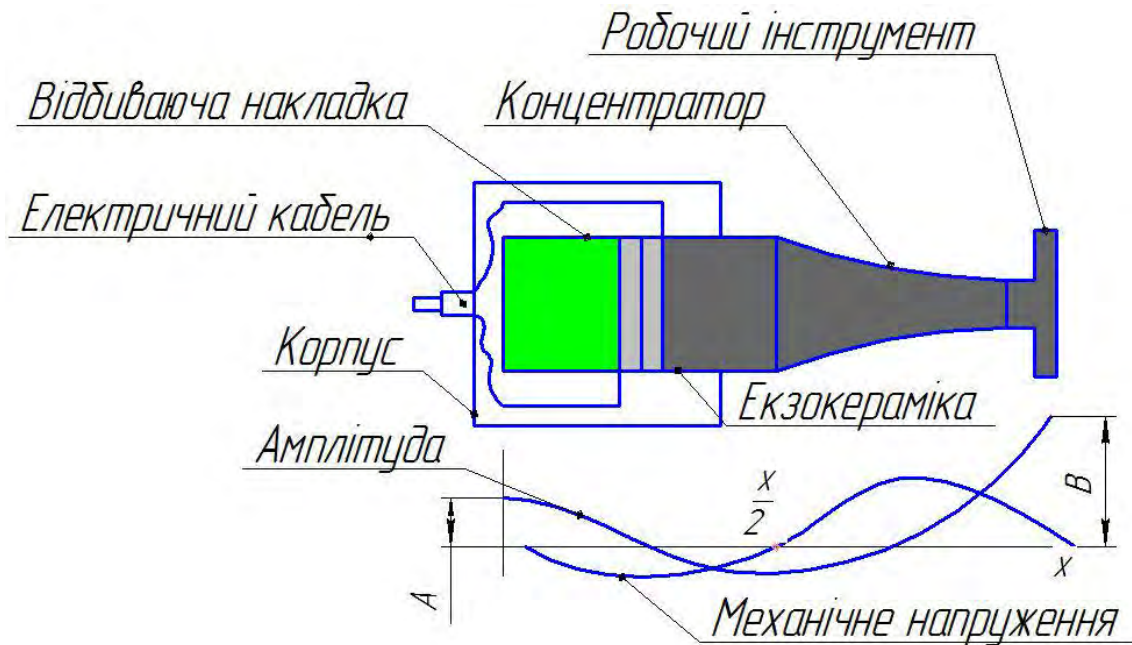


Рисунок 3. Схема п'єзоелектричної ультразвукової коливальної системи

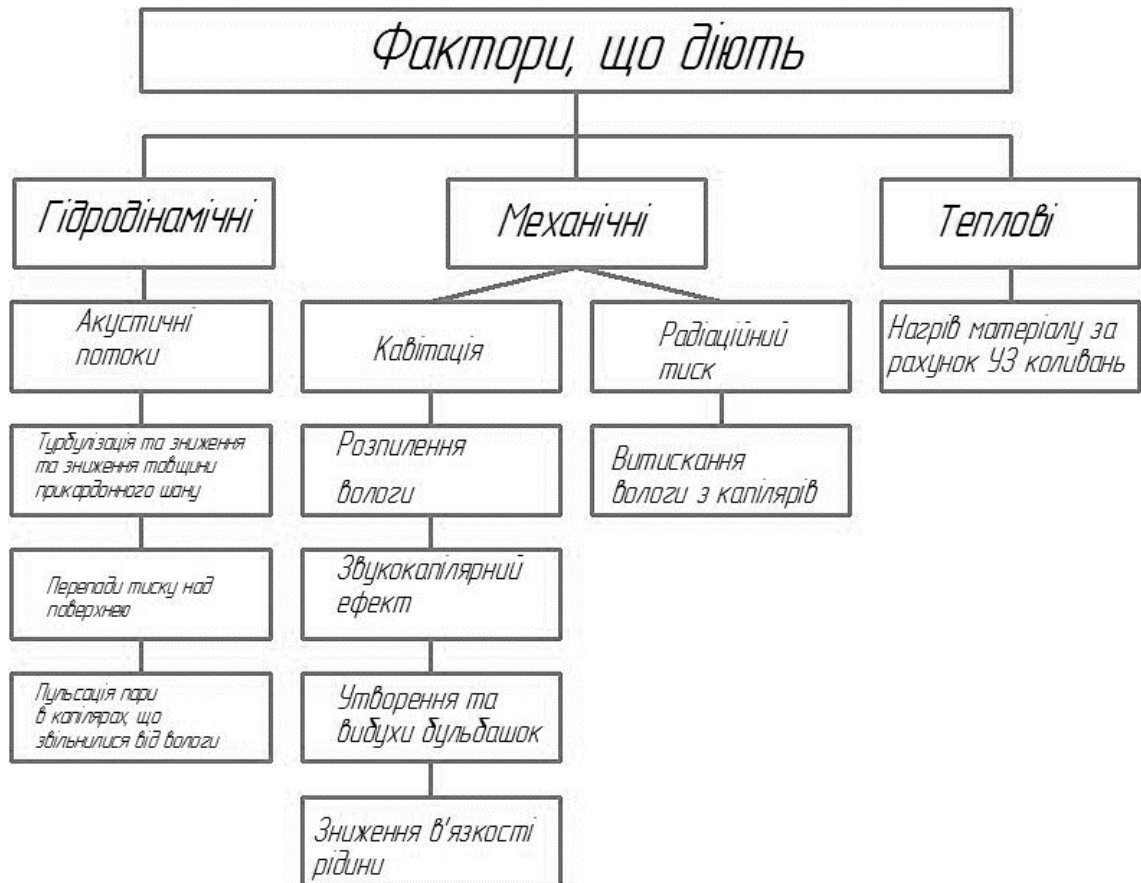


Рисунок 4. Фактори впливу ультразвуку на макуху в матриці маслопресу

Ультразвукове поле від випромінювача включає ближню та дальню зони (рисунок 5).

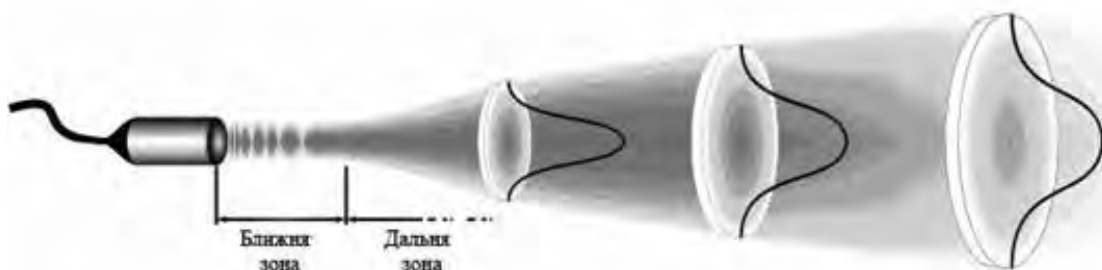


Рисунок 5. Ближня і дальня зони поля ультразвукового випромінювача

Близька зона розташовується перед випромінювачем, де амплітуда захоплює цикл максимумів та мінімумів. Ближня зона закінчується у останнього максимуму, який розташований від джерела випромінювання на відстані N . Розташування останнього максимуму



зветься природним фокусом джерела випромінювання. У цьому фокусі має розташовуватися матриця маслопресу. Далека зона розташовується за N , там де тиск ультразвуку з певним часом зменшується до нуля, і ця зона в роботі не застосовується.

Розташування кінцевого максимуму N осі звуку ближньої зони залежить від діаметра і довжини хвилі для дискового джерела випромінювання [19].

Характеристики поля ультразвуку формуються конструкцією джерела випромінювання. Чутливість датчика та поширення ультразвукової хвилі в середовищі залежать від форми джерела випромінювання. Випромінювачі ультразвукової хвилі характеризуються загальною випромінюваною потужністю, яка вимірюється Вт, а також питомою потужністю, тобто. тією середньою потужністю, що відноситься до одиниці площі випромінювання, та середньою інтенсивністю ультразвукового впливу в ближньому полі, яка вимірюється у $\text{Вт}/\text{м}^2$ [20].

Застосування ультразвукових коливань високої інтенсивності є перспективним напрямом у різних галузях промисловості. Викликано це тим, що дія ультразвуку на технологічні та хімічні процеси має певний характер: стимулюючий, коли ультразвукові коливання – це рушійна сила досліджуваного процесу (при диспергуванні та акустичному очищенні); інтенсифікуючий, коли ультразвукові хвилі підвищують швидкість процесів (при розчиненні та сушінні, акустичній кристалізації); оптимізуючий, коли ультразвук регулює перебіг процесу (при грануляції, центрифугуванні, акустичному пресуванні).

Ультразвук знаходить своє застосування у всіх відомих технологічних та хімічних процесах: гідромеханічних, масообмінних, теплових, механічних [21]

Висновки. Ультразвукові коливання підпорядковуються таким самим законам фізики, як і хвилі чутного інтервалу. Проте, ультразвукові коливання мають характерні особливості, що визначають широке використання ультразвуку в техніці і науці.

Основні з них представлені нижче:

- Невелика довжина хвилі.

Для найнижчого діапазону хвилі значення не більше кількох сантиметрів. Ця довжина хвилі несе променевий характер поширення ультразвукових коливань. Поблизу випромінювача ультразвукова хвиля поширюється як пучок, близький до розміру джерела випромінювання. Ультразвуковий пучок, потрапивши в неоднорідне середовище, зазнає заломлення, відображення, розсіювання, це формує ультразвуковий малюнок у непрозорих середовищах, застосовуючи оптичні ефекти (фокусування, дифракцію та ін.)



- Відносно невеликий період коливань, що дає можливість випромінювати ультразвукові хвилі імпульсами, також можна проводити в середовищі точний відбір сигналів розповсюдження.

- При невеликій амплітуді коливання є можливість набуття максимальних значень енергії ультразвуку, зважаючи на те, що вона пропорційна квадрату частоти коливань. Це дає можливість здійснювати ультразвукові пучки та поля з максимальним рівнем енергії, при цьому не використовуючи великогабаритні апарати.

- Ультразвукове поле сприяє суттєвим акустичним витокам. Це формує певні ефекти: фізичні, хімічні, біологічні та медичні. При пресуванні в'язких середовищ спостерігається звукокапілярний ефект, ущільнення, кавітація, дегазація емульгування, диспергування, знезараження, локальне нагрівання та ін.

- При простому захисті ультразвукових коливань нечутно обслуговуючому персоналу, що не створює дискомфорту.

Список використаних джерел

1. Конспект лекцій з дисципліни «Методи контролю в галузі» [Текст] / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, каф. техн. в рест. госп., гот.-рест. справи та підпр.; Ю. А. Горяйнова. Криий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. 136 с.

2. Колосова О. П. Ультразвукова обробка технологічної сировини полімерних композиційних матеріалів: навчальний посібник / О. П. Колосова та ін. Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. 188 с.

3. Закревський О. Ф. Точність вимірювання амплітуди ультразвукових механічних коливань вихрострумовим методом. *Електроніка и связь*. 2013. № 1. С. 89–93.

4. Федорович В. О. Федорович Моделювання процесу ультразвукового алмазного вигладжування. / В. О. Федорович та ін. *Резание и инструменты в технологических системах*. 2018. Вып. 89. С. 198–204.

5. Калафатова Л. П. Мاستильно охолоджуючі технологічні середовища як фактор підвищення ефективності процесів механічної обробки крихких конструкційних матеріалів. Сучасні технології в машинобудуванні. 2018. Вип. 13. С. 9–20.

6. Козлова О. Б., Заведєєв В. О. Підвищення якості поверхні методом без абразивної ультразвукової фінішної обробки. *Тиждень науки-2019. Машинобудівний факультет: тези доповідей науково-практичної конференції*, Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. С. 17–18.

7. Савельєв С. Г., Плотніков В. В., Бабаєвська О. В. Застосування електровпливу для ефективного дроблення матеріалів в умовах металургійної переробки. *Вісник Криворізького національного*



університету. 2020. Вип. 50. С. 112–117.

8. Wang J., Fu J., Wang J., Du F., Liew P.J., & Shimada K. Processing capabilities of micro ultrasonic machining for hard and brittle materials: SPH analysis and experimental verification. *Precision Engineering*. 2020. Vol. 63. P. 159–169.

9. Kumar S., Dvivedi A. On machining of hard and brittle materials using rotary tool micro-ultrasonic drilling process. *Materials and Manufacturing Processes*. 2019. Vol. 34(7). P. 736–748. DOI: 10.1080/10426914.2019.1594255

10. Esmaeilzare A., Rahimi A., Rezaei S.M. Investigation of subsurface damages and surface roughness in grinding process of zerodur®glass-ceramic. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 313. P. 67–75.

11. Wang Y., Lin B., Cao X. Y., Wang S.L. An experimental investigation of system matching in ultrasonic vibration assisted grinding for titanium. *Journal of Materials Processing Technology*. 2014. Vol. 214. P. 1871–1878.

12. Lv D. X., Wang H. X., Tang Y. J., Huang Y. H., Li Z. P. Influences of vibration on surface formation in rotary ultrasonic machining of glass BK7. *Precision Engineering*. 2013. Vol. 37. P. 839–884.

13. Zhang C., Feng P., & Zhang J. Ultrasonic vibration-assisted scratch-induced characteristics of C-plane sapphire with a spherical indenter. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2013. Vol. 64. P. 38–48.

14. Jianhua Z. Jianhua Study on effect of ultrasonic vibration on grinding force and surface quality in ultrasonic assisted micro end grinding of silica glass / Z. Jianhua, et al. *Shock and Vibration*. 2014. 10 p.

15. Method of treatment of vegetable matter with ultrasonic energy: patent application 20060110503. US/Bates D.M., Bagnall W.A., Bridges M.W. -US, 2006.

16. Stahl E. Extraction von Lupenol mit uberkrischen Kohlendioxid / E. Stahl, K. W. Quinn, H. K. Mangold. *Fette-Seifen-Anstrichmittel*. 1981. 83, № 12.

17. Конспект лекцій з дисципліни «Методи контролю в галузі» / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, каф. техн. в рест. госп., гот.-рест. справи та підпр.; Ю.А.Горайнова. Криий Ріг: [ДонНУЕТ], 2020.136 с.

18 Чалий О. В. «Медична і біологічна фізика» / Національний підручник, автори: / О. В. Чалий (ред.), Я. В. Цехмістер, Б. Т. Агапов та ін. Вінниця, Нова Книга, 2013.

19. Шутилов В. А. Основы физики ультразвука. Л.: Машиностроение, 1988. 288 с.

20. Stahl E., Quinn K. W., Mangold H. K. Extraction von Lupenol mit uberkrischen Kohlendioxid. *Fette - Seifen- Anstrichmittel*. 1981. 83, № 12.



21. Антипов С. Т., Шахов С. В., Мартеха А. Н., Берестовой А. А. Оптимизация процесса прессования семян сафлора в ультразвуковом поле. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2017. Т. 79. № 1 (71). С. 40–45.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2022 р.

V. Didur¹, I. Petrychenko¹, A. Novik²

¹Uman National University of Horticulture

²Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

ULTRASOUND AND ITS APPLICATION IN INDUSTRY

Summary

The article discusses the issue of using ultrasound in various industries. Schemes of ultrasonic devices are presented. Factors of influence of ultrasound on the cake in the matrix of the oil press are given. The current state of engineering and technology is focused on the development and implementation of innovative technologies in various technological processes aimed at increasing the efficiency of the industrial sector of the economy. In recent years, ultrasound has begun to play an increasingly important role in various industries. The effect of ultrasound on technological and chemical processes has a certain character: stimulating, when ultrasonic oscillations are the driving force of the investigated process (during dispersion and acoustic cleaning); intensifying, when ultrasonic waves increase the speed of processes (during dissolution and drying, acoustic crystallization); optimizing, when ultrasound regulates the course of the process (in granulation, centrifugation, acoustic pressing). Ultrasonic vibrations have characteristic features that determine the wide use of ultrasound in technology and science. The main ones are: small wavelength; a relatively small oscillation period, which makes it possible to emit ultrasonic waves in pulses, it is also possible to carry out accurate selection of propagation signals in the environment; with a small amplitude of oscillation, there is a possibility of acquiring maximum values of ultrasound energy; the ultrasonic field contributes to significant acoustic leaks (this creates certain effects: physical, chemical, biological and medical); with simple protection, ultrasonic vibrations are inaudible to service personnel, which does not cause discomfort.

Key words: ultrasound, oscillations, emitter, impact, pressing.



УДК 664.8.037.5:634.75

С. В. Кюрчев, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-6512-8118

В. О. Верхоланцева, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-1961-2149

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: valentyna.verkholantseva@tsatu.edu.ua, тел.: 097-828-50-43

ЕФЕКТ ЗБЕРІГАННЯ ЯГІД ПІСЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ХОЛОДУ

Анотація. З розвитком культури споживання ягід в Україні та у світі, а також зі збільшенням пропозиції від виробників попит на якісну продукцію зростає. Для підтримки конкурентоспроможності та високої якості продукції виробникам потрібно впроваджувати нові технології у процесі вирощування ягід, так і в процесах післязбиральної доробки. [1, 2]

Харчова промисловість постійно шукає ефективні технології контролю мікробної інфекції та можливості зберігання з мінімальним впливом на їх якість, такі як колір, смак та збереження властивостей ягід. Заморожування можна використовувати як метод попередньої обробки, є ще одним способом забезпечення більш тривалої наявності ягід на ринку протягом року. В даній статті обґрунтовано доцільність застосування технології зберігання із застосуванням холода для ягід. [1]

Ключові слова. Холод, ягода, зберігання, термін, температура, процес, обробка, продукція.

Постановка проблеми. В даний час, поряд зі зростаючою свідомістю здоров'я в суспільстві, увага споживачів все більше зосереджується на поживній цінності харчових продуктів, а необхідність пошуку ключових факторів, відповідальних за збільшення/деградацію біоактивних сполук.[2,3] Для успішної реалізації свіжої ягоди мало виростити якісну ягоду, необхідно забезпечити якісне зберігання свіжих ягід. Ягоди і кісточкові – одні з видів продукції, які важко зберігати тривалий час, так як вони швидко псуються. Разом з тим, навіть незначне зміщення термінів реалізації і вихід на ринок з урожаєм вже після типового для кожної культури сезону збору та продажу, дозволяє значно збільшити прибуток. І чим



більше період між моментом збору і часом продажу, тим вище прибутковість всього садівничого господарства. З моменту збору врожаю і до моменту продажу, ягоди проходять різні зміни. За весь період росту ягоди накопичують корисні речовини і наше завдання звести до мінімуму їх втрату в період зберігання.

На практиці забезпечити оптимальні умови для збереження свіжості, смаку, аромату і товарного вигляду ускладнюється в силу делікатності і примхливості продукції. Тому основне завдання в період зберігання – забезпечити оптимальні мікрокліматичні умови, щоб зберегти якість і зовнішній вигляд продукції для споживача. Зберігання ягід передбачає підтримку показників температури, вологості і насиченості киснем, в іншому випадку псування не уникнути.[4,5]

Під впливом високих температур ягоди швидко перестигають, прискорюється обмін речовин. У свою чергу це викликає втрату вологи, органічних речовин і вітамінів. Тому ягідну продукцію, яка призначена для короткострокового і тривалого зберігання необхідно швидко охолодити після збору.

Тому актуальним залишається питання впровадження технології зберігання ягід із застосуванням холод.

Аналіз останніх досліджень. Світовим досвідом встановлено, що одним з найбільш доступних і оптимальних способів збереження харчової та біологічної цінності ягід є низькотемпературне заморожування. Проведений аналіз наукових робіт вчених виконані у період 50–70-х рр. ХХ ст. у кріобіологічних центрах США, Англії, дали змогу узагальнити результати перших робіт із кріобіології. Вони розвинуті в сучасних працях R.A. Carrow [4, 5, 7] та провідних українських учених А. Білоуса, В. Грищенка, М. Пушкаря та Є. Гордієнка. [4, 6] Загальний висновок учених такий: розвиток руйнівного поза- та внутрішньоклітинного кристалоутворення істотно гальмується у процесі заморожування клітин і тканин, якщо воно відбувається під захистом різних кріопротекторів, що сприяють модифікації структури рідкої фази і характеру її кристалоутворення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є обґрунтування доцільності використання холоду при зберіганні ягід.

Основна частина. Головним питанням у цьому є довготривале збереження рослинної продукції, яка має певний термін зберігання за звичайних умов.[1, 3, 7, 8] Для цього існують спеціальні холодильні камери, які пристосовані для довготривалого зберігання ягід згідно з міжнародними вимогами та екологічними стандартами. Однією із проблем, з якою стикаються переробники при переробці малини, є зневоднення. Покупці повідомляють, що при заморожуванні рівень зневоднення швидкозамороженої малини коливається від 1% до 5%, а



при статичному заморожуванні – від 4% до 10%, що значно перевищує величину втрати ваги. Завдяки морозильній камері з псевдозрідженим шаром переробники малини заощаджують до 10% урожаю та отримують більше прибутку лише за рахунок зневоднення.

Ягоди характеризуються низькою стійкістю до збудників і швидкого старіння тканин, тому визначальним моментом у встановленні режиму попереднього охолодження є швидкість. Швидкість охолодження необхідна для того, щоб швидше уповільнити процеси життєдіяльності, що протікають у ягодах, запобігти розвитку мікроорганізмів у зовнішньому середовищі та зменшити втрати вологи з продуктів.[9] Також, важливим елементом технології попереднього охолодження є допустима тривалість часу між збиранням продукції та початком її охолодження. Для більшості ягід охолодження необхідно проводити у найкоротші терміни після збору. Охолодження безпосередньо після збору сприяє збереженню високого вмісту в плодах вітаміну С, дубильних і барвників. Це призводить до більш тривалого збереження природних смакових якостей плодів, гарного товарного вигляду та забезпечує більший вихід продукції. Попереднє охолодження особливо ефективно для крихких і ніжних ягід, призначених для далеких перевезень, а також при високій температурі зовнішнього повітря в районі зростання плодів, з якою пов'язана їх початкова температура. Остання визначається термінами збирання врожаю.[10, 11]

У період від збирання врожаю до продажу, ягоди зазнають різних змін. У період зростання ягоди накопичують корисні речовини, а при зберіганні їх втрачають. Тому основне завдання при зберіганні ягід – це створити такі умови, за яких втрати поживних речовин були б мінімальними і якість продукції залишалася б такою ж, як після збирання врожаю.

Високий вміст у ягодах води та легкозасвоюваних розчинних у клітинному соку сполук, що мають велику харчову та біологічну цінність, роблять їх добрим субстратом для інтенсивного розвитку мікрофлори при пошкодженні з появою крапель клітинного соку. Цьому сприяють легка травмованість більшості плодів з дуже тоненькою шкірочкою та малою кількістю воскового шару, малий їх розмір і велика загальна поверхня випаровування. Біологічною основою лежкості ягід є використання стану післязбирального дозрівання. Усі ягоди— це органи, які завершують онтогенетичний розвиток рослин з більш чи менш сформованими репродуктивними органами — насінням. Тому в момент настання фізіологічної (споживчої) стиглості ягід треба відправляти в торговельну мережу.[13, 14]

Попит на заморожену плодово-ягідну продукцію в усьому світі

зростає, її товарообіг щорічно збільшується майже на 4%. Але в Україні заморожена продукція має низьку якість, у зв'язку з відсутністю ефективних способів заморожування.

Заморожування – один із тих напрямків у ягідному секторі, який зараз розвивається найактивніше. Але цей напрям характеризується великою кількістю так званих контрольних пунктів, які необхідно відслідковувати та перевіряти упродовж усього процесу заморожування ягід. Особливо це стосується органічного ягідництва, яке потребує ще ретельніших перевірок на кожному етапі: починаючи від аналізу ґрунту, де вирощують сировину, та закінчуючи аналізом готової замороженої продукції.[2, 7, 9, 12, 14] Способи заморожування продукції ґрунтуються на передачі теплоти продуктом завдяки явищам теплопровідності, конвекції, радіації та теплообміну при фазових перетвореннях.[15]

Нами вивчалися поведінка ягід на прикладі малини. Було проведено дослідження динаміки величин втрат клітинного соку ягід малини, також було з'ясовано ступінь вологовіддачі ягід малини після дефростації після різних термінів зберігання (рис.1).



а)

б)

Рисунок 1. а) Малина під час застосування холоду б) Малина після застосування

Експериментальні дослідження проводились в умовах виробництва з глибокого заморожування ягід в Запорізькій області. Нами запропоновано інноваційний спосіб миттєвого (шокового) заморожування. Через 9 місяців зберігання в ягодах малини було визначено зміни якісних показників: загальний вміст цукрів і органічних кислот, вміст сухих розчинних речовин, кількість вітаміну С. Завдяки заморожуванню одержано сировину з мінімальними втратами маси. [3,6,9]

Факторами, котрі впливають на лежкість ягід, є: біологія сорту, стан стиглості плоду, агротехніка вирощування, погодні умови під час збору та вирощування, швидкість охолодження зібраного врожаю і технологія зберігання.

Основною задачею подальшого проведення експериментальних



досліджень є: обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторної установки для зберігання ягід, тому що з кожним роком кількість заморожувальних комплексів для ягід в Україні збільшується. [12] Але водночас стає все більше фермерів, які починають вирощувати малину, а також людей, які збирають дикорослі ягоди та здають їх на заморожування. Відповідно, це все в комплексі спричинило нову проблему для виробників ягід – нестачу потужностей для заморожування та зберігання продукції.

Висновки. Для виявлення загальних закономірностей викликають зміну фізико-хімічних, органолептичних властивостей і харчової цінності ягід при низькотемпературної обробки такі дослідження необхідно проводити в комплексі з дослідженнями теплофізичних властивостей ягід в широкому температурному діапазоні до, після, а також в процесі заморожування. Необхідно також проведення досліджень теплофізичних процесів холодильної обробки і зберігання ягід. При високій температурі відбувається прискорений обмін речовин, втрата вологи, вітамінів, органічних речовин, тому плоди швидше перезрівають і псуються. Тому вкрай важливо відразу після збирання якнайшвидше охолодити продукцію, призначену для закладення короткочасного (від кількох днів до 1-2 міс.) або для тривалого (від 2 до 10 міс.) зберігання.

Оптимальним є заморожування, тим більше що саме цей спосіб в нинішній час використовується і в харчовій промисловості, і в закладах ресторанного господарств. Тому тривале та якісне зберігання плодів ягідних культур можливе лише за умови дотримання всіх технологічних процесів, а саме технології вирощування, котра має бути спрямована на виробництво продукції з відповідними показниками якості, які забезпечать добру її лежкість, а також післязбиральної доробки, а саме сортування, пакування, охолодження, та власне самої технології зберігання.

Для розвитку вітчизняного ринку ягідної продукції та збільшення експорту ягід до ЄС, виходу на нові ринки державі доцільно впровадження технології із застосуванням холода.

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи “Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв” №0107U008964.

Список використаних джерел

1. Дейниченко Г. В. Аналітична характеристика безвідходної переробки плодово-ягідної сировини / Г. В. Дейниченко та ін. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2019. Вип. 1. С. 85–95.



2. Кюрчев С. В. Обладнання складів для зберігання плодоовочевої та м'ясомолочної продукції. Навчальний посібник. / К. О. Самойчук, О. Г. Скляр, С. В. Кюрчев, С. Ф. Буденко, В. О. Верхоланцева та ін. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2019. 186 с.
3. Shilton N. C., Niranjana K. "Fluidization and Its Applications to Food Processing," *Food Structure*: Vol. 12: No. 2, Article 8. 1993.
4. Гладушняк О. К. Технологічне обладнання консервних заводів : підручник. Херсон: Грінь Д.С., 2015. 348 с.
5. Anandu Chandra Khanashyam, M. Anjaly Shanker, Anjineyulu Kothakota, R. Pandiselvam, Decontamination of Fruits, *Microbial Decontamination of Food*, 10.1007/978-981-19-5114-5_2, (47-70), 2022.
6. Сімахіна Г. О., Халапсіна С. В. Ефективність використання кріопротекторів при заморожуванні дикорослих і культивованих ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т. 23, № 3. С. 179–185.
7. Fait A. Reconfiguration of the achene and receptacle metabolic networks during strawberry fruit development. / A. Fait, K. Hanhineva, R. Beleggia, N. Dai, I. Rogachev, V. J. Nikiforova, A. Aharoni. *Plant physiology*. 2008. №148(2). Pp. 730–750.
8. Sumic Z., Tepic A., Jokic S., Malbasa R. Optimization of frozen wild blueberry vacuum drying process. *Hem. Ind.* 2015, 69, 77–84.
9. Kiurchev S., Verkholtantseva V., Yeremenko O., Al-Nadzhar F. Research and changes in berries using technology of freezing during storage. *Latvia University of Sciences and Technologies Faculty of Engineering*. Jelgava, May 2020. P. 997-1002
10. Frac M., Michalski P., Sas-Paszt L. The effect of mulch and mycorrhiza on fruit yield and size of three strawberry cultivars. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 2009. Vol. 17. № 2. Pp. 85–93
11. Fan L. The effect of three production systems on the postharvest quality and phytochemical composition of Orleans strawberry / L. Fan, C. Yu, C. Fang et al. *Canadian Journal of Plant Science*. 2011. Vol.91. №2. Pp. 403–409.
12. Кюрчев С. В., Паламарчук І. П., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О., Кюрчева Л. М. Обґрунтування розробленого обладнання для швидкоскоростного заморожування сільськогосподарської продукції. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21, т. 1. С. 11–18.
13. Zhang H., Wang Z. Y., Yang X., Zhao H. T., Zhang Y. C., Dong A. J., Wang J. Determination of free amino acids and 18 elements in freeze-dried strawberry and blueberry fruit using an amino acid analyzer and ICP-MS with micro-wave digestion. *Food chemistry*. 2014. №147. Pp. 189–194.
14. Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Максименко І. Ф.,



Мироненко С. М. Інтенсивні технології переробки плодів та ягід. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2021. Т.27, № 1. С. 102–110.

15. Іваненко Ф. В., Сінченко В. М. Технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. К.: КНЕУ, 2005. 221 с.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2023 р.

S. Kiurchev, V. Verkhohantseva, N. Palianychka
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

EFFECT OF STORAGE OF BERRIES AFTER THE APPLICATION OF COLD

Summary

With the development of the culture of berry consumption in Ukraine and in the world, as well as with the increase in supply from producers, the demand for quality products is growing. To maintain competitiveness and high quality of products, producers need to introduce new technologies in the process of growing berries, as well as in the processes of post-harvest processing.

Modern requirements for the quality and safety of food products require the further development of technologies for the storage and transportation of agro-food products, in particular fruits and berries. These technologies should ensure the preservation of quality indicators of stored products, regardless of terms. Scientific articles by foreign and domestic scientists have proven that the chemical composition of raw materials and semi-finished products does not change significantly during freezing and their properties are as close as possible to raw materials. One of the most important parameters affecting the quality of food products, semi-finished products and raw materials during storage and cooling is the storage temperature, and in the production of frozen products and their use - the temperature and speed of freezing.

Berries are the main source of supplying the population with products with an increased content of vitamins, mineral compounds, and other biologically active substances to ensure the necessary daily physiological needs of the human body. However, this raw material is seasonal, not suitable fresh for long-term storage, so the period of its consumption is quite limited. And only the use of methods of freezing and low-temperature storage makes it possible to preserve the properties, composition and nutritional value of fruits and berries, to carry out their deeper processing and, most importantly, to ensure the needs of the population for high-vitamin products throughout the year, especially in the off-season period in the absence of fresh raw materials.

Key words: cold, berry, storage, period, temperature, process, processing, products.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-11

УДК 608.3:631.362.28

А. С. Комар, інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

Б. В. Болтянський, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2072-4025

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: artem.komar@tsatu.edu.ua

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАЛЬЦЕВИХ ГРАНУЛЯТОРІВ З ПЛОСКОЮ МАТРИЦЕЮ

Анотація. В статті представлений аналіз конструктивних і технологічних рішень по вдосконаленню вальцевих грануляторів з плоскою матрицею. Здійснено огляд патентів, авторських свідоцтв та статей пов'язаних з грануляцією та брикетуванням сировини з різною насипною щільністю для пристроїв такого типу. Коротко описаний принцип роботи та переваги конструктивних новацій на різних етапах розвитку устаткування для грануляції. Кожен з наведених вальцевих грануляторів має видимі переваги та дещо приховані недоліки.

Основні напрямки вдосконалення грануляторів вальцевого типу мають на меті:

- підвищення надійності та ефективності пристроїв;
- підвищення продуктивності та якості гранул;
- зменшення металоємності конструкції;
- зниження зносу робочих органів;
- зниження енергозатрат на гранулювання;
- розширення технологічних можливостей та оптимізація режимів роботи при гранулюванні сировини з різними фізико-механічними властивостями.

Пресові пристрої відносяться до технічних засобів для приготування гранульованих продуктів і можуть бути використані при виготовленні паливних брикетів з тирси та рослинних відходів (пелети), комбікормів, із зернових культур та харчових відходів, гранул з відходів пивоваріння, побутового сміття та подрібнених автопокришок, а також при виробництві гранульованих стабілізуючих добавок в будівництві.

Ключові слова: вальцевий гранулятор, плоска матриця, вдосконалення, пристрій, грануляція, брикетування.

Постановка проблеми. В сучасних умовах високої зайнятості



населення все більшу популярність набуває продукція в гранульованому або брикетованому вигляді, оскільки це підвищує транспортабельність сипучої сировини, знижує злежуваність, запобігає сегрегації багатокомпонентних сумішей. Провідним устаткуванням під час виробництва таких продуктів є гранулятори [1-4]. За допомогою грануляторів отримують паливні, кормові або інші види гранул діаметром 3-12 мм і довжиною 5-50 мм. Пресове обладнання застосовується у побутових умовах, на фермерських господарствах та промислових виробництвах.

Гранульовані комбікорми мають оптимальну рецептуру, забезпечується якісніше введення рідких харчових добавок та медикаментів в раціон, збільшується ступінь перетравлюваності кормів [5]. За допомогою пресових пристроїв виробляють паливні гранули, які отримують шляхом переробки торфу, деревних відходів та відходів сільського господарства [6]. Також гранулюють різноманітні матеріали, такі, наприклад, як пластик, вугільний пил, торф тощо [7]. Однак слід зазначити, що для кожної сировини необхідно розробляти свою технологію виробництва, яка відрізнятиметься в залежності від основних параметрів: складу, вологості, жирності, температури, способу зберігання тощо.

Сьогодні в Україні представлено велику кількість грануляторів для структурування різних продуктів. При всій їх різноманітності стає важко обрати оптимальний тип гранулювання, який безпосередньо відповідає типу сировини, особливо коли багато грануляторів є універсальними і можуть працювати в широкому діапазоні зміни властивостей вихідної сировини [8]. При цьому стає основним визначення витрат енергії на проведення процесу отримання гранул, що у свою чергу прямопропорційно впливає на собівартість, а отже і конкурентоспроможність готового продукту.

Широке застосування сьогодні здобули вальцеві гранулятори з плоскою матрицею [3, 6, 7]. Про конструктивно-технологічне вдосконалення цього обладнання і йтиметься далі в статті.

Аналіз останніх досліджень. Питанням вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею присвячені праці вітчизняних і закордонних вчених [9-13]. Модернізацією пресуючих вальців пристроїв в різні часи займалися: Овдієнко М. Л., Поліщук В. Ю., Michał Chłopek, Tomasz Dzik, Marek Hryniewicz, Горягин П. Ю., Севостьянов В. С., Якимець Н. А. Зміну будови та форм фільтр плоскої матриці досліджували: Сербіновський М. Ю., Волощук В. Г., Логінов В. Т., Roman Hejft, Глаголев С. М., Севостьянов М. В., Гридчин А. М. Ряд науковців займалися встановленням додаткових елементів, пристроїв або вдосконаленням будови існуючих, наприклад, ножа для зрізання гранул [14]: Карпов В. П., Нагайник Ф.

В. Мурахвер В. І., Тимошенко А. Н.; регульованих втулок для покращення звільнення фільтр матриці від сировини [15]: Піуновський І. І., Хмелінко А. П., Лисоконь В. П.; нагрівальних елементів матриці: Макаренков Д. А., Назаров В. І., Булатов І. А.; попереднього ущільнювача сировини [16]: Севостьянов М. В., Ільїна Т. В., Осокін А. В.

Загалом аналіз конструктивно-технологічних вдосконалень вальцевих грануляторів з моменту їх розроблення, на протязі всього періоду, підкреслює попит на них в різних галузях промисловості, в тому числі у сільському господарстві, де вони в переважній більшості застосовуються для гранулювання комбікормів [3, 5, 9].

Формулювання мети статті. Виконати аналіз наукових джерел літератури та визначити основні напрями вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею.

Основна частина. За період свого існування вальцеві гранулятори з плоскою матрицею зазнали ряд конструктивно-технологічних змін і на сьогодні досягли певного рівня досконалості. Проте, незважаючи на значне вдосконалення конструкції, у пристроїв залишились наступні недоліки: інтенсивне зношення поверхонь робочих органів, порівняно невисокий коефіцієнт корисної дії, високі робочі температури (через сильне тертя активних робочих органів), висока питома метало- та енергоємність.

Виділяють кілька основних напрямів вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею (рис. 1) [12, 13].

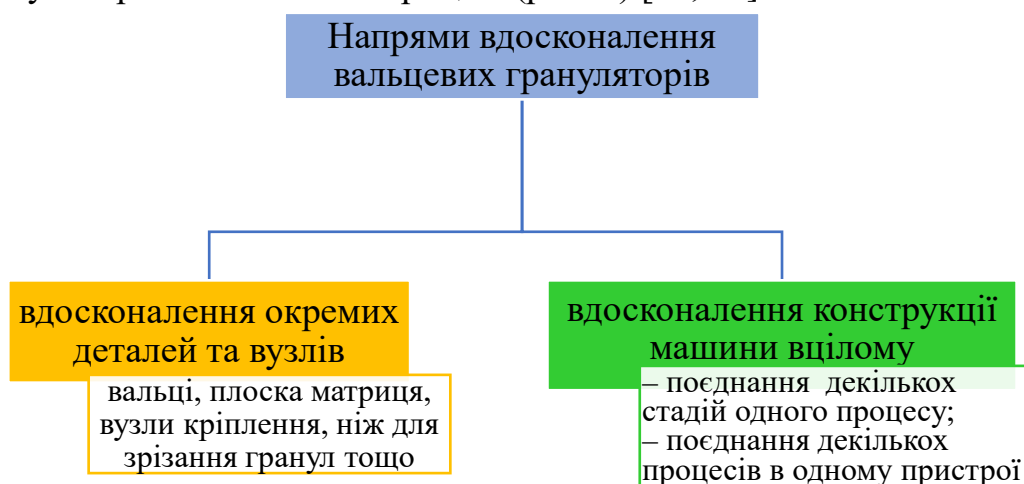
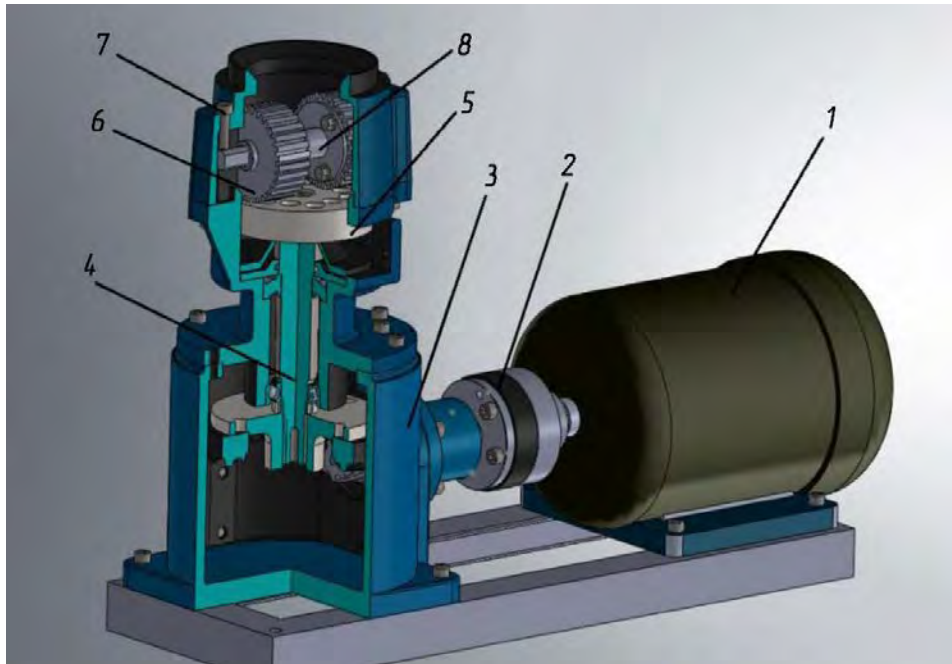


Рисунок 1. Напрями вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею

Компактну конструкцію вальцевого гранулятора з плоскою матрицею зображено на рисунку 2. Дані пристрої користуються попитом в різних галузях промисловості, в тому числі і на невеликих сільськогосподарських підприємствах з виробництва продукції рослинництва та тваринництва [6].



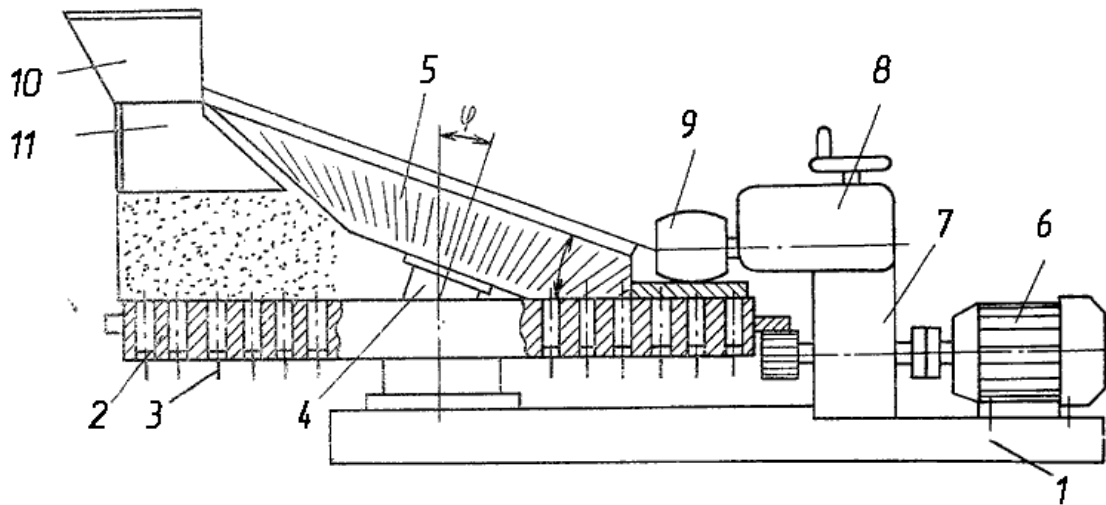
1 – електродвигун, 2 – муфта, 3 – редуктор; 4 – вал; 5 – плоска матриця, 6 – вальці, 7 – регулювальні гвинти, 8 – вал вальців

Рисунок 2. 3D-модель вальцевого гранулятора с плоскою матрицею

Вальцевий гранулятор працює наступним чином. Від електродвигуна 1 обертова сила через муфту 2 передається до понижуючого редуктора 3. Від редуктора через вал 4 обертання передається на плоску матрицю 5, яка закріплена з валом за допомогою шпонкового з'єднання. Матриця має багато формувальних фільтер, тобто циліндричних каналів з зенкуванням. При обертовому русі матриці розпочинають рухатися вальці 6, які притискаються до матриці за допомогою регулювальних гвинтів 7. Вальці в свою чергу, обертаються на валу вальців 8. При обертанні матриці та вальців сировина продавлюється через фільтери плоскої матриці і формуються джгути, які відрізаються спеціальним ножом та отримуються гранули необхідної довжини. Далі готові гранули через вивантажувальний патрубок надходять ємність, після чого їх охолоджують та пакують.

Відома конструкція гранулятора № 858649 (рис. 3) авторів В. П. Карпова і Ф. В. Нагайника в якій науковці підвищили продуктивність однієї з перших моделей [14].

Поставлена мета досяглася тим, що гранулятор забезпечений скребком, який розташований над матрицею і механізмом виштовхування гранул, виконаним у вигляді поршнів, кожен з яких має шток з пружиною та встановлений в пресуючому каналі матриці і горизонтального циліндра, розташованого під матрицею, який взаємодіє зі штоками, причому циліндр розміщений між місцем



1 – рама, 2 – плоска матриця, 3 – поршні, 4 – колінчаста вісь, 5 – конічний валець, 6 – електродвигун, 7 – редуктор, 8 – механізм регулювання зазору між матрицею і вальцем, 9 – притискний валець, 10 – завантажувальна горловина, 11 – розподільник

Рисунок 3. Гранулятор

контактування вальця з матрицею та скребком.

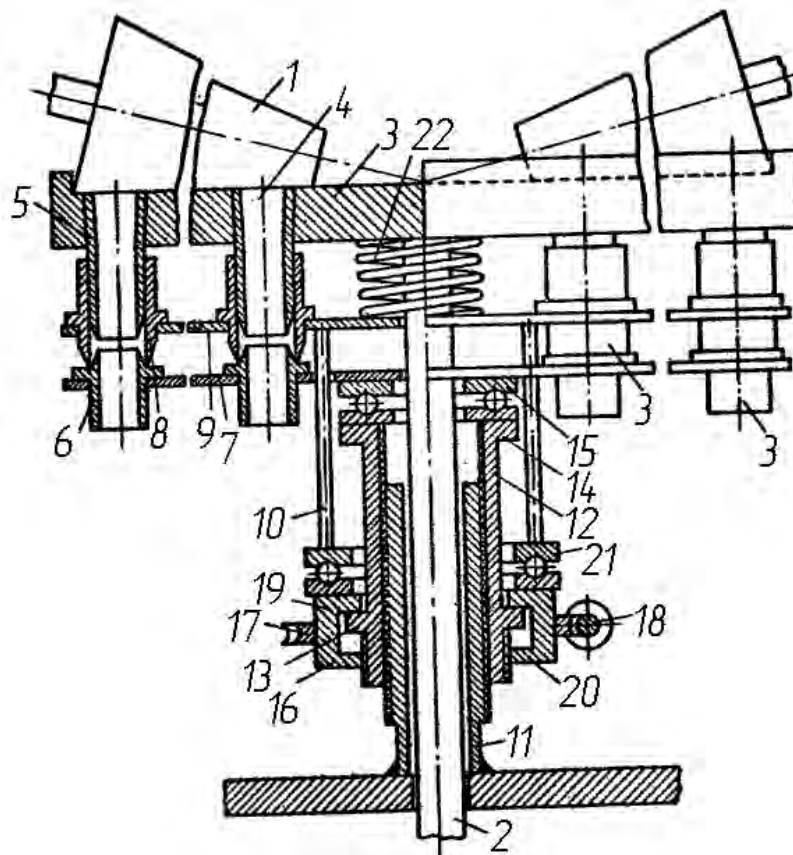
Крім того, гранулятор оснащено ножем, який встановлено над матрицею між місцем контактування її з вальцем і циліндром. Така конструкція забезпечує захоплення та пресування товстого шару корму за один оберт матриці.

Наступний етап вдосконалення конструкції вальцевих грануляторів відображений у авторському свідоцтві № 1007603 [15].

Дана конструкція гранулятора (рис. 4) складається з пресуючих конічних вальців з активним приводом, встановленої на валу матрицею з каналами, що утворюються втулками, одні з яких закріплені в матриці, а інші на диску, що переміщується виконавчим механізмом.

Основною метою такої конструкції є підвищення ефективності регулювання протидії при гранулюванні кормів з різними реологічними властивостями. Це досягається тим, що втулки каналів матриці оснащені встановленою на їх зовнішній поверхні з можливістю переміщення в вертикальній площині проміжною втулкою (8), закріпленою на додатковому диску (9), зв'язаними за допомогою штовхачів з виконавчим механізмом (10), враховуючи те, що втулки каналів матриці мають рівний прохідний переріз.

Виконавчий механізм виконаний у вигляді нерухокої ступиці (11) вільно встановленої на валу, з закріпленою на ній різьбовим з'єднанням втулкою з упором, що взаємодіє верхнім торцем (14) з диском.



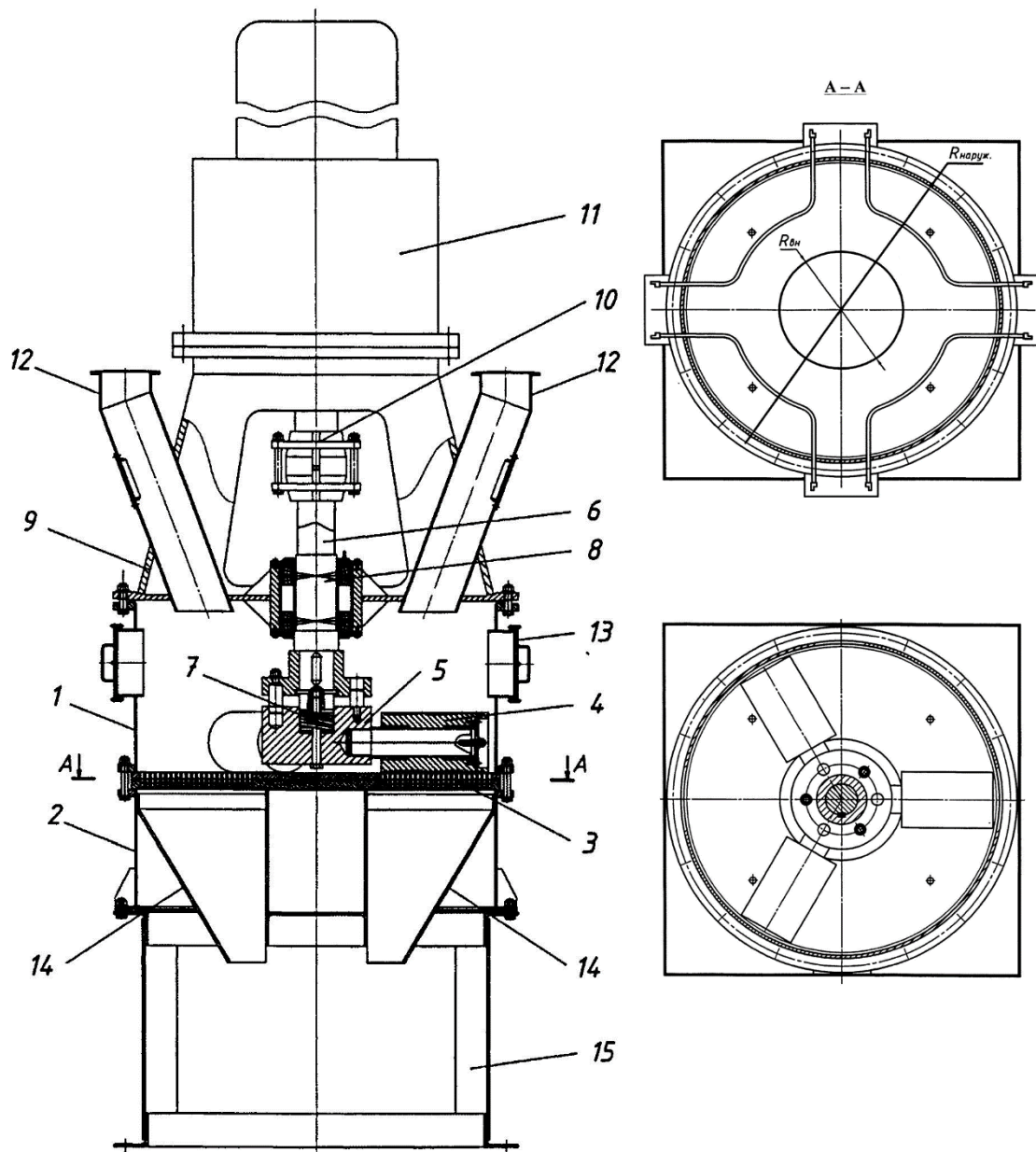
1 – конічні вальці, 2 – вал, 3 – матриця, 4 – канали матриці, 5 – верхні втулки, 6 – нижні втулки, 7 – диск, 8 – проміжні втулки, 9 – додатковий диск, 10 – штовхачі з виконавчим механізмом, 11 – нерухома ступиця, 12 – втулка, 13 – упор, 14 – верхній торець, 15 – підшипник, 16 – втулка гайки, 17 – зубчасте колесо, 18 – черв'як, 19 – верхній упор, 20 – нижній упор, 21 – підшипник

Рисунок 4. Гранулятор кормів

Крім того, втулка оснащена механізмом її переміщення по висоті, виконаним у вигляді встановленої на втулці гайки (16), що взаємодіє за допомогою закріпленою на її зовнішній поверхні гвинтової пари з упором втулки і з штовхачами (10).

Макаренков Д. А., Назаров В. І. та ін. запатентували розробку № 2527998 пресового гранулятора з плоскою матрицею [17]. Винахід спрямовано на збільшення міцності та щільності гранульованого матеріалу за рахунок скорочення трудомісткості і вартості підготовки.

Пресовий гранулятор (рис. 5) містить корпус з встановленими в ньому перфорованою матрицею з профільованими каналами, прикочувальні вальці, що закріплені на вертикальному приводному валу за допомогою втулки з пружним елементом, і патрубку для завантаження вихідної сировини і вивантаження гранул. Матриця пристрою виконана роз'ємною та складається з двох скріплених між



1 – корпус, 2 – опорної обичайка, 3 – плоска матриця, 4 – три вальці, 5 – втулка, 6 – привідний вал, 7 – пружний елемент, 8 – вузол підшипника, 9 – опори, 10 – муфта, 11 – привід, 12 – патрубкі завантаження сировини, 13 – оглядові люки, 14 – патрубкі вивантаження гранул, 15 – опорна спідниця

Рисунок 5. Пресовий гранулятор з плоскою матрицю

собою перфорованих дисків з пазами в нижньому диску та забезпечена гнучкими нагрівальними елементами, встановленими в пазах у кільцевій зоні матриці по дузі з радіусом $(R_{\text{зов.}} + R_{\text{внут.}})/2$, де $R_{\text{зов.}}$, $R_{\text{внут.}}$ – зовнішній та внутрішній радіуси кільцевої перфорованої зони матриці, при цьому у верхньому диску матриці профільовані канали виконані циліндричними, а в нижньому диску канал виконаний у вигляді двох конічних та однієї циліндричної



калібруючої ділянки.

Пресовий гранулятор з плоскою матрицю має три прикочувальні вальці. Співвідношення між діаметрами вальців і матриці становить $0,2 \div 0,5$.

При поєднанні кількох процесів в одному пристрої, екструзійне гранулювання може бути основною або підготовчою операцією. Процес гранулювання також може бути кінцевим, який випереджає підготовча операція, наприклад, як це здійснено у винаході № 135539 [16]. Гранулятор волокнистих матеріалів (рис. б), забезпечений попередньо-ущільнювальним пристроєм, основними робочими органами якого є внутрішній рухомий і зовнішній нерухомий конуси з гладкими або ребристими поверхнями, причому перший з них встановлений в підшипниках ексцентрично вертикального валу, а другий закріплений нерухомо в пустотілому корпусі та утворює із корпусом гранулятора резервуар для зберігання та подачі рідини або пари через отвори, розташовані по колу нерухомого конуса, при цьому у верхній його частині встановлена вібруюча лійка, і похилими бортами для направлення матеріалу під пресувальні вальці та зменшення застійної зони.

Рухомий конус встановлюється з ексцентриситетом, що забезпечує необхідний робочий зазор і ступінь ущільнення матеріалу, який визначається виходячи з властивостей матеріалів, що гранулюються.

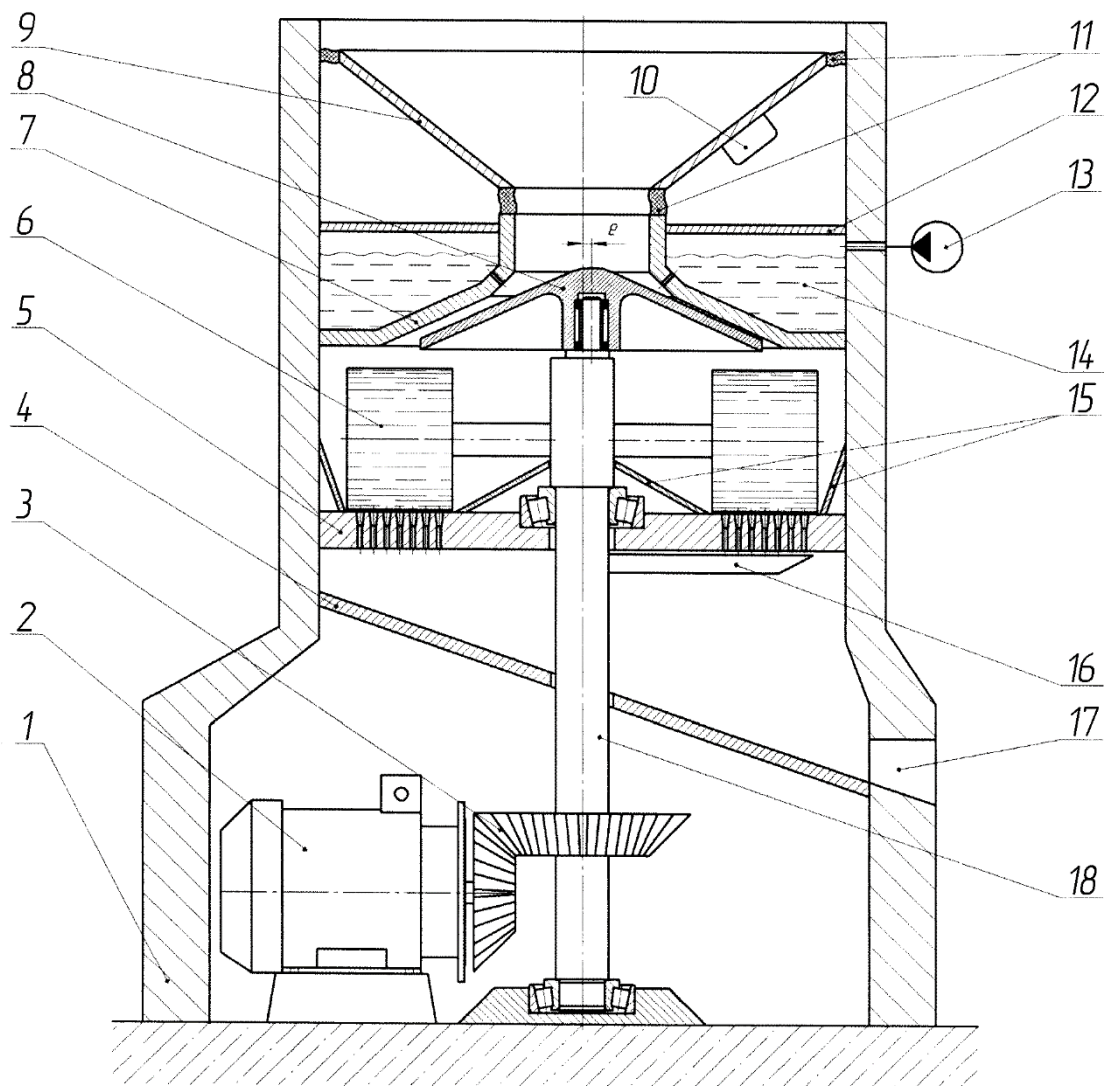
Установка рухомого конуса на підшипниках дозволяє йому ущільнювати матеріал обкаткою без ефекту перетирання.

Залежно від характеристик матеріалу, що переробляється, кут рухомого і нерухомого конусів може бути різним, але зі збереженням зони паралельності.

Внутрішня поверхня нерухомого конуса утворює з корпусом гранулятора резервуар, у якому може бути технологічна рідина (наприклад, вода) для зволоження матеріалу. Подача рідини може здійснюватися крапельним способом, або під тиском, що утворюється насосом.

На внутрішній поверхні нерухомого конуса можуть укладатися термонагрівальні елементи, якщо за технологією матеріал необхідно зволожувати паром або ж підсушувати перезволожений матеріал.

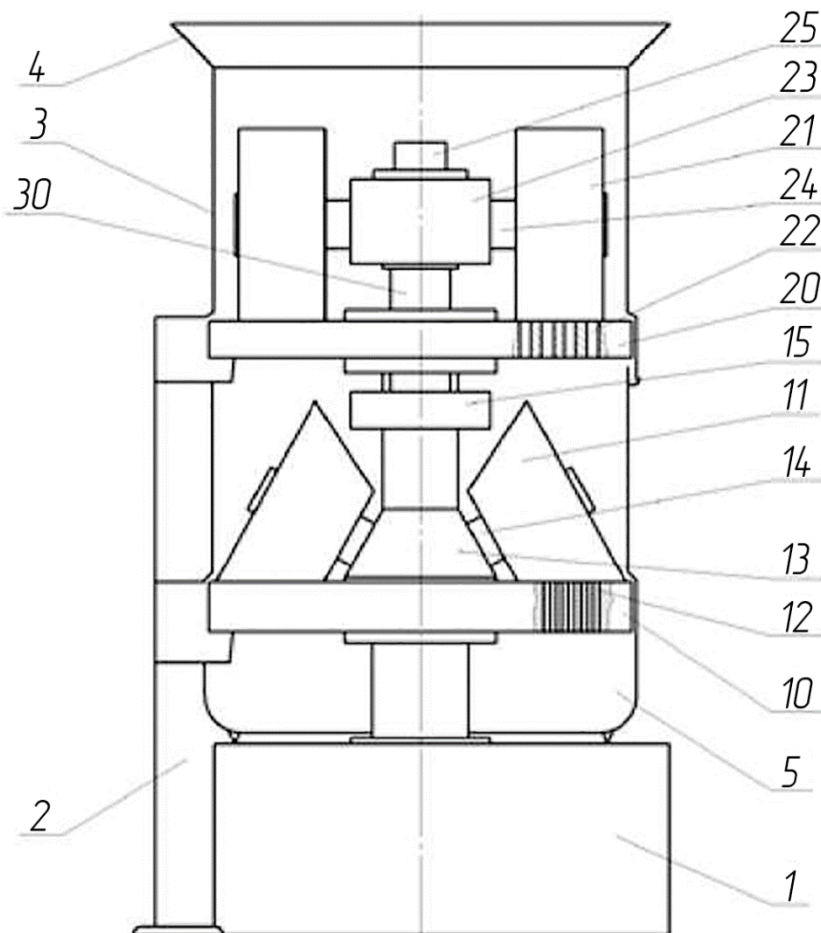
За рахунок ущільнення матеріалу в спеціальному передущільнюючому пристрої, енергія вальців витрачається безпосередньо на продавлювання матеріалу через фільтри, завдяки цьому збільшується швидкість гранулювання і, як наслідок, продуктивність машини. Таким чином авторський склад своїм винаходом намагався підвищити продуктивність машини і ефективність процесу гранулювання.



1 – корпус, 2 – електродвигун, 3 – механічна передача, 4 – похилий стіл, 5 – нерухома дискова матриця з формуючими отворами (фільєрами), 6 – циліндричні вальці, 7 – зовнішній нерухомий конус, 8 – внутрішній рухомий конус, 9 – завантажувальна лійка, 10 – високочастотний генератор, 11 – пружні елементи, 12 – герметизуюча кришка, 13 – підживлювальний насос, 14 – резервуар, 15 – похилі борти, 16 – ніж, 17 – вивантажувальний отвір, 18 – вал

Рисунок 6. Гранулятор волокнистих матеріалів

Німецький вчений Бенсон В. пішов далі і розробив конструкцію двоступінчастого гранулятора (рис. 7) [18]. У даній конструкції верхні циліндричні вальці додатково виконують функцію доподрібнення сировини, що подається до завантажувальної горловини. Товщина нижньої плоскої матриці виконана більш товщою від верхньої. Кількість циліндричних вальців у пристрої – 2; конічних – 2-4.



1 – редуктор, 2 – опорні колони, 3 – захисний кожух, 4 – завантажувальна горловина, 5 – камера для прийому готових гранул, 10 – прес-матриця другого ступеня, 11 – конічні вальці другої стадії, 12 – фільтри прес-матриці другого ступеня, 13 – головка циліндричних прес-вальців, 14 – вісь конічного прес-вальця, 15 – притискний пристрій конічних прес-вальців, 20 – прес-матриця першого ступеня, 21 – циліндричні прес-вальці першої стадії, 22 – фільтри прес-матриці першого ступеня, 23 – головка конічних прес-вальців, 24 – вісь циліндричного прес-вальця, 25 – притискний пристрій циліндричних прес-вальців, 30 – приводний вал. (описано не всі позиції рисунка)

Рисунок 7. Двоступінчастий гранулятор

Таке конструкторське рішення, на думку розробників, дозволить скоротити витрати на виробництво, заощадити робочий простір та трудовитрати, а на виході отримати більш якісні гранули.

Даний двоступінчастий гранулятор має складну конструкцію і низьку ремонтпридатність, а двигун на приводі повинен мати підвищену потужність. Крім того на другій ступені пристрою використовуються конічні вальці, які складніші у виготовленні.

Також до недоліків даного пристрою слід віднести відсутність



можливості гранулювання матеріалів з малою насипною щільністю (наприклад, подрібнених екскрементів тварин, відходів сільськогосподарського виробництва), а також складність конструкції.

Висновки. Таким чином, дослідження показують, що загальним недоліком всіх розглянутих рішень є те, що вальцеві гранулятори розраховані, в першу чергу, на сипучі матеріали із середньою та високою насипною щільністю (понад 250 кг/м³). Процес гранулювання сировини волокнистої структури з малою насипною щільністю (20-250 кг/м³), зокрема, подрібненні підсушені екскременти і підстилка тварин та птиці, на машинах даного типу є малодослідженим та вимагають всебічного вивчення, а вальцеві гранулятори, для здійснення цього процесу, потребують подальшого конструктивно-технологічного вдосконалення. При цьому необхідно враховувати специфічні особливості волокнистих матеріалів, такі як: насипна щільність і мала сипкість, коефіцієнт внутрішнього тертя і високе вологопоглинання, нерівномірний розподіл сировини по робочій камері пристрою, підвищена схильність до злежування тощо.

Список використаних джерел

1. Novelli, L.R. (2006). Equipment focus: Granulators. 63. Pp. 109–113.
2. Sevostyanov M., Osokin, A. (2022). Methodological Principles and Algorithm for Forming Technogenic Fibrous *Materials with Low Bulk Density in a Flat-Matrix Extruder*. 10.1007/978-3-030-81289-8_5.
3. Болтянська Н. І. Огляд способів ущільнення порошкоподібних та дрібних сипких матеріалів. Матеріали І Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 238–243.
4. Boltianska N. I., Manita I. Y. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. (1(19), 2021. Pp. 7–12.
5. Комар А. С. Доцільність гранулювання і брикетування кормів для тварин і птиці. Матеріали VII-ї Науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». Глеваха, 2019. С. 47–49.
6. Комар А. С., Болтянська Н. І. Гранулювання органічних відходів рослинного походження на прикладі очерету. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 1. №21. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-21. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/issue/view/10>
7. Litster Jim, Ennis Bryan. (2004). Mixer Granulators. 10.1007/978-



94-017-0546-2_10.

8. Комар А. С. Сучасні запатентовані способи переробки посліду птахів. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. №15. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-15. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/issue/view/20>

9. Chłopek, M. & Dzik, Tomasz & Hryniewicz, Marek. (2014). Determining the grip angle in a granulator with a flat matrix. *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 16. Pp. 337–340.

10. Hejft Roman Selected problems in construction of granulators for plant materials. Part 2. – granulating and briquetting matrix. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 64, nr 1. Pp. 30–35.

11. Komar A. S. Advantages of pelleting organic waste of plant and animal origin. *Аграрна галузь сучасної України: проблеми та перспективи розвитку*: матер. І Міжн. наук.-практ. конф. Луганськ, 2021. С. 363–365.

12. Shkarpetkin, E & Osokin, A. (2019). Features of fibrous materials agglomeration in flat-matrix granulators. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. 698. 066047. 10.1088/1757-899X/698/6/066047.

13. Болтянська Н. І. Взаємодія пресуючого ролика і матеріалу в прес-грануляторі [DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-260-269]. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 260–269.

14. 1. Гранулятор: авт. свид. 858649 СССР: МПК А01F15/02. № 2915418/30-15; заявл. 16.03.80; опубл. 30.08.83, Бюл. № 32. 3 с.

15. 2. Гранулятор кормов: авт. свид. 1007603 А СССР: МПК А01F15/00. № 3319914/30-15; заявл. 10.07.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. 4 с.

16. 4. Гранулятор волокнистых материалов: пат. № 135539 РФ: МПК В01J2/20. № 2013130468/05; заявл. 02.07.2013; опубл. 20.12.13, Бюл. № 35. 7 с.

17. 3. Прессовой гранулятор с плоской матрицей: пат. № 2527998 РФ: МПК В01J2/20. № 2013106371/05; заявл. 14.02.2013; опубл. 10.09.14, Бюл. № 25. 12 с.

18. 5. Севостьянов М. В., Осокин А. В., Гиенко Е. А., Лагутин И. И. Основные направления конструктивно-технологического совершенствования пресс-валковых агрегатов с плоской матрицей для экструдирования волокнистых материалов. *Молодой ученый*. Ч.3. 2015. № 12 (92). С. 288–294.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2023 р.



A. Komar, B. Boltianskyi
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF GRANULATORS WITH CYLINDRICAL ROLLERS AND FLAT MATRIX

Summary

Analysis of constructive and technological solutions for the improvement of granulators with cylindrical rollers and flat matrix are presents in the article. A review of patents, copyrights and articles related to the granulation and briquetting of raw materials with different bulk densities for devices of this type was carried out. The principle of operation and advantages of constructive innovations at various stages of development of granulation equipment are briefly described. Each of the mentioned granulators with cylindrical rollers has visible advantages and somewhat hidden defects.

With the help of granulators, fuel, fodder or other types of pellets with a diameter of 3-12 mm and a length of 5-50 mm are obtained. The press equipment is used in household conditions, on farms and industrial productions. Granulators with cylindrical rollers and flat matrix are widely used today.

The main areas of improvement of roller-type granulators are aimed at:

- increasing the reliability and efficiency of devices;
- increasing productivity and quality of pellets;
- reduction of the metal capacity of the structure;
- reduction of wear and tear of working bodies;
- reduction of energy consumption for granulation;
- expansion of technological capabilities and optimization of work modes during granulation of raw materials with higher physical and mechanical properties.

Press devices are also technical means for the preparation of granulated products and can be used in the production of fuel briquettes from sawdust and vegetable waste (pellets), compound feed, from grain crops and food waste, pellets from brewing waste, household briquettes and shredded car tires, as well as in the production of granulated stabilizing additives in construction.

Key words: roller granulator, flat matrix, improvement, device, granulation, briquetting



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-12

УДК 621.867.42

С. Ф. Пилипака¹, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-1496-4615

М. Б. Клендїй², к.т.н., доц.,

ORCID: 0000-0001-8271-5381

А. П. Драган², к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7195-1127

¹Національний університет біоресурсів та природокористування України²ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

e-mail: dragan1402@ukr.net, тел.: 096-234-43-14

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИМ ПАТРУБКОМ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Анотація. В результаті проведених досліджень запропоновано нові схеми перевантажувальних патрубків гвинтових конвеєрів призначених для транспортування сільськогосподарських сипучих матеріалів, що забезпечують зменшення енерговитрат на виконання процесу транспортування. Розроблено стенд і методику проведення дослідження з визначення параметрів гвинтових робочих органів, які дозволяють забезпечити мінімальне пошкодження транспортованого вантажу. Наведені результати експериментальних досліджень впливу конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів перевантажувального патрубка конвеєра на об'єм пошкодженого вантажу. Встановлено вплив конструктивних і технологічних параметрів розробленого перевантажувального патрубка і його робочих органів на параметри процесу транспортування сипких матеріалів і стан зернового матеріалу після транспортування.

Ключові слова. транспортування, гвинтовий конвеєр, перевантажувальний патрубок, робочий орган, травмування зернового матеріалу.

Постановка проблеми. Існуючі на даний час конструкції перевантажувальних патрубків [1; 2] в основному забезпечують вертикальне переміщення матеріалу під дією сил гравітації, що призводить до високих енерговитрат та виникнення крутих згинів магістралі.

Дослідження спрямовані на розробку конструкцій і визначення раціональних параметрів перевантажувальних елементів спрямовані за



двома напрямками. Перший полягає у компоюванні патрубків, вивантажувальна і завантажувальна зони яких розташовані вертикально одна навпроти одної [1, 2] і мають власні приводи. Другий передбачає співвісне розташування і один привід магістралей [3].

Але такі конструкції мають суттєві недоліки. При вертикальному розташуванні магістралей зростають витрати енергії, що пов'язано з розташуванням завантажувальної магістралі над вивантажувальною в зоні пересипу. Це призводить до надлишкового піднімання матеріалу, і до появи додаткового згину завантажувальної магістралі перед патрубком, і спричиняє прискорене руйнування гвинтового робочого органу.

У другому випадку часто виникає скупчення сипучого матеріалу і так звані “мертві зони”, через те, що в зоні приводу обертовий рух передається на секцію направляючого кожуха [3].

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню функціональних, характеристик транспортних засобів такого типу при їх взаємодії з сипучими матеріалами присвячено ряд робіт, зокрема [5; 6]. Дослідженню руху частинок сільськогосподарських матеріалів по поверхнях робочих органів конвеєрів присвячені роботи [7; 8; 9]. В роботах [10; 11; 12] обґрунтовано конструктивні і технологічні параметри робочих органів. Використання гвинтової поверхні для виготовлення гвинтових робочих органів розглянуто в працях [13; 14]. Теорія конструювання і побудови лінійчатих поверхонь висвітлена у роботі [15]. У роботі [16] обґрунтована практична можливість використання гвинтового робочого органу у перевантажувальних патрубках, а в роботі [17] визначено травмування зернового матеріалу гвинтовим конвеєром.

Проаналізувавши дані роботи можна зробити висновок, що існуючі на даний час конструкції перевантажувальних патрубків не задовольняють експлуатаційні вимоги, а тому актуальним завданням є розробка конструкцій з модернізованими робочими органами та обґрунтування їх оптимальних конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів, при яких забезпечується підвищення експлуатаційних показників гвинтових конвеєрів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної роботи є розроблення перевантажувальних патрубків конвеєрів, які забезпечують зменшення енерговитрат процесу перевантаження та оцінка рівня пошкодження транспортованого зерна.

Основна частина. Розглянемо рух частинки матеріалу робочим органом машини у вигляді гвинтової поверхні із заданою кривою осевого перерізу. Тригранник Френе напрямної кривої в кожній точці займає визначене положення. Одиничний орт $\vec{\tau}$ дотичний до кривої,

орт головної нормалі \bar{n} спрямований до центра кривини, орт бінормалі \bar{b} перпендикулярний до $\bar{\tau}$ і \bar{n} . Тригранник Дарбу побудований в цій же точці, його орт \bar{T} збігається із ортом $\bar{\tau}$. Орт \bar{N} спрямований по нормалі до поверхні, тоді орт \bar{P} лежить в дотичній до поверхні площині. В спільній для цих тригранників нормальній площині кут між ортами \bar{n} і \bar{N} позначимо ε (рис. 1).

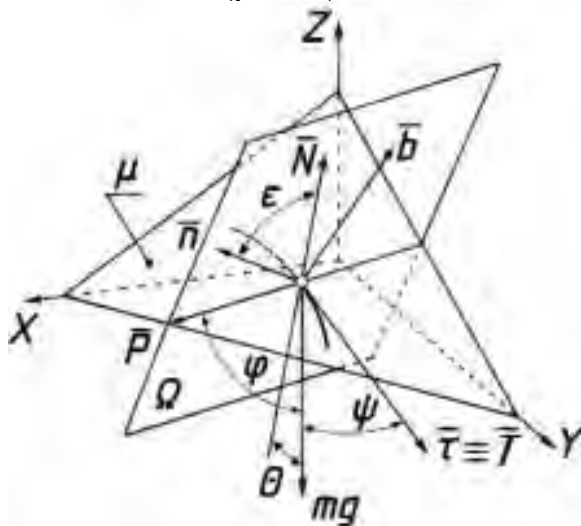


Рисунок 1. Супровідні тригранники Френе та Дарбу траєкторії руху частинки по поверхні

Розглянемо діючі на точку сили. Відцентрова сила, що виникає через рух точки криволінійною траєкторією, направлена вздовж головної нормалі \bar{n} від центра кривини. Так як орт \bar{n} лежить в нормальній площині Ω , відцентрова сила mV^2k , де m – маса частинки, V – швидкість її руху і k – кривина траєкторії в даній точці, також буде діяти в цій площині перпендикулярно до траєкторії руху. Кут ε в загальному випадку є змінним, але після стабілізації руху він буде сталим. Під час руху частинки поверхнею тільки сила ваги змінює напрям в натуральній системі координат, решта сил орієнтовані вздовж осей тригранників.

Після стабілізації руху швидкість V частинки стала і прикладені до неї сили будуть зрівноважені. Запишемо рівняння рівноваги сил в проекції на орти тригранника Дарбу. На орт \bar{T} :

$$mg \cos \psi - fR = 0, \quad (1)$$

де ψ - кут між ортом \bar{T} і вектором mg (рис. 1).

Складова кривини $k \cdot \cos \varepsilon$ в проекції на орт \bar{N} називається нормальною кривиною: $k_n = k \cdot \cos \varepsilon$. Рівняння рівноваги сил в проекції на орт \bar{N} :



$$R = mg \cos \theta + mV^2 k_n. \quad (2)$$

Добуток $k \cdot \sin \varepsilon$ називають геодезичною кривиною. Рівняння рівноваги в проекції на орт \bar{P} :

$$mV^2 k_z = mg \cos \phi. \quad (3)$$

Після перетворень отримаємо:

$$\begin{cases} g \cos \psi - f(g \cos \theta + V^2 k_n) = 0; \\ V^2 k_z = g \cos \phi. \end{cases} \quad (4)$$

Систему (4) можна звести до одного рівняння.

$$V^2 = \frac{g}{k_z} \cos \phi. \quad (5)$$

Враховуючи що $k_n/k_z = \operatorname{ctg} \varepsilon$ отримаємо:

$$\cos \psi - f(\cos \theta + \operatorname{ctg} \varepsilon \cos \phi) = 0. \quad (6)$$

Лінію осьового перерізу гвинтової поверхні задамо параметричними рівняннями:

$$\rho = \rho(u); \quad h = h(u) \quad (7)$$

Дана лінія може відхилитися від осі на сталу d . Наприклад, якщо взяти дугу кола радіуса r , то рівняння (7) набудуть вигляду:

$$\rho = r \sin u + d; \quad h = r \cos u \quad (8)$$

Для утворення гвинтової поверхні дузі кола треба надати гвинтового переміщення. Такий спосіб описується рівняннями:

$$X = \rho \cos \alpha; \quad Y = \rho \sin \alpha; \quad Z = h + b\alpha, \quad (9)$$

де α – кут повороту кривої навколо вертикальної осі,

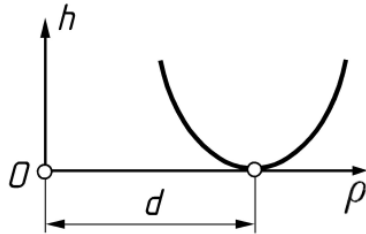
b – гвинтовий параметр.

Гвинтова поверхня (9) і крива осьового перерізу (8) зображені на рис. 2, б.

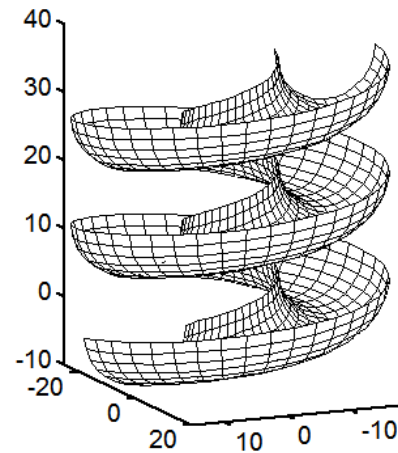
Для розв'язку рівняння (6), треба знати всі кути, які до нього входять.

Проекції вектора \bar{N} на поверхню (9) знаходимо, як векторний добуток векторів, дотичних до координатних осей. Проекціями цих векторів є часткові похідні першого порядку поверхні (9):

$$\begin{aligned}
 X_u &= \rho'_u \cos \alpha; & Y_u &= \rho'_u \sin \alpha; & Z_u &= h'_u; \\
 X_\alpha &= -\rho \sin \alpha; & Y_\alpha &= \rho \cos \alpha; & Z_\alpha &= b.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$



а



б

а) розташування кривої; б) поверхня, утворена гвинтовим рухом кривої

Рисунок 2. Схема утворення поверхні

Тоді векторний добуток векторів (10):

$$\bar{N} = \begin{vmatrix} X & Y & Z \\ X_u & Y_u & Z_u \\ X_\alpha & Y_\alpha & X_\alpha \end{vmatrix} = \left\{ \begin{aligned} &b\rho'_u \sin \alpha - \rho h'_u \cos \alpha; \\ &-b\rho'_u \cos \alpha - \rho h'_u \sin \alpha; \\ &\rho\rho'_u. \end{aligned} \right\}
 \tag{11}$$

Після приведення \bar{N} (11) до одиничного:

$$\bar{N} = \left\{ \begin{aligned} &\frac{b\rho'_u \sin \alpha - \rho h'_u \cos \alpha}{\sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}; \\ &-\frac{b\rho'_u \cos \alpha + \rho h'_u \sin \alpha}{\sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}; \\ &\frac{\rho\rho'_u}{\sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}} \end{aligned} \right\}.
 \tag{12}$$

Спільний орт тригранників $\bar{\tau} \equiv \bar{T}$ спрямований по дотичній до траєкторії руху. Так як траєкторією руху є гвинтова лінія, проєкції дотичної можна знайти диференціюванням рівнянь (9) за змінною α :

$$x' = -\rho \sin \alpha; \quad y' = \rho \cos \alpha; \quad z' = b.
 \tag{13}$$

Щоб розрізнити поверхні від лінії, будемо застосовувати в



першому випадку великі літери, а в другому – малі. Привівши вектор (13) до одиничного, можна записати:

$$\bar{T} = \left\{ -\frac{\rho \sin \alpha}{\sqrt{\rho^2 + b^2}}; \quad \frac{\rho \cos \alpha}{\sqrt{\rho^2 + b^2}}; \quad \frac{b}{\sqrt{\rho^2 + b^2}} \right\}. \quad (14)$$

Орт \bar{P} перпендикулярний до \bar{N} і \bar{T} , тоді його можна знайти через їх векторний добуток:

$$\bar{P} = \begin{vmatrix} X & Y & Z \\ T_x & T_y & T_z \\ N_x & N_y & N_z \end{vmatrix} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{b\rho h'_u \sin \alpha + \rho'_u (\rho^2 + b^2) \cos \alpha}{\sqrt{\rho^2 + b^2} \sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}; \\ -\frac{b\rho h'_u \cos \alpha - \rho'_u (\rho^2 + b^2) \sin \alpha}{\sqrt{\rho^2 + b^2} \sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}; \\ \frac{h'_u \rho^2}{\sqrt{\rho^2 + b^2} \sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}. \end{array} \right\} \quad (15)$$

Проекції вектора \bar{n} знаходять за відомими формулами через похідні напрямної кривої:

$$\bar{n} = \{-\cos \alpha; \quad -\sin \alpha; \quad 0\}. \quad (16)$$

Вектор сили ваги mg позначимо літерою \bar{j} і запишемо проекції враховуючи те, що він спрямований вниз:

$$\bar{j} = \{0; \quad 0; \quad -1\}. \quad (17)$$

Кути між векторами \bar{L} і \bar{M} знаходимо за відомою формулою:

$$\cos(\bar{L}, \bar{M}) = L_x M_x + L_y M_y + L_z M_z. \quad (18)$$

Маючи (18), знаходимо косинуси кутів.

Для векторів \bar{T} і \bar{j} :

$$\cos \psi = -\frac{b}{\sqrt{\rho^2 + b^2}}. \quad (19)$$

Для векторів \bar{N} і \bar{j} :

$$\cos \theta = -\frac{\rho \rho'_u}{\sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}. \quad (20)$$



Для векторів \bar{P} і \bar{j} :

$$\cos \phi = -\frac{h'_u \rho^2}{\sqrt{\rho^2 + b^2} \sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}. \quad (21)$$

Для векторів \bar{N} і \bar{n} :

$$\cos \varepsilon = \frac{\rho h'_u}{\sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}}. \quad (22)$$

Підставимо в рівняння (16) і після перетворень отримаємо:

$$b \rho_u' \sqrt{\rho^2 + b^2} = f \rho \sqrt{\rho^2 (\rho_u'^2 + h_u'^2) + b^2 \rho_u'^2}. \quad (23)$$

З рівняння (23) можливо знайти відстань ρ від осі гвинтової поверхні до траєкторії руху частинки. Щоб знайти швидкість руху використаємо формулу (15). Кривизна k гвинтової лінії відома:

$$k = \frac{\rho}{\rho^2 + b^2}. \quad (24)$$

Синус кута ε знаходимо за виразом (22), і після підстановки у (15) отримаємо:

$$V^2 = -g \rho \frac{h'_u}{\rho_u'}. \quad (25)$$

Щоб знайти швидкість (25), треба задати лінію осьового перерізу поверхні. Нехай це буде дуга кола (8). Знайдемо похідні рівнянь (8):

$$\rho_u' = r \cos u; \quad h'_u = -r \sin u. \quad (26)$$

Підставляючи (8) і (26) в (24) і (25) отримаємо:

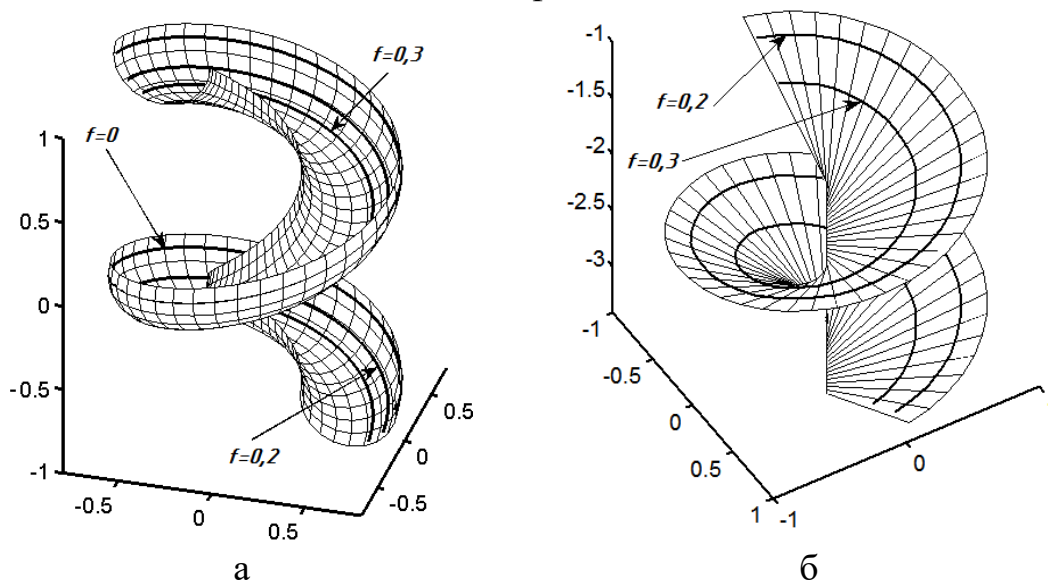
$$b \cos u \sqrt{(r \sin u + d)^2 + b^2} = f (r \sin u + d) \sqrt{(r \sin u + d)^2 + b^2 \cos^2 u} \quad (27)$$

$$V^2 = g (r \sin u + d) \operatorname{tg} u. \quad (28)$$

Для розв'язку рівняння (27) потрібно застосовувати чисельні методи. Візьмемо поверхню з такими параметрами: $r=0,25$, $d=0,5$, $b=0,2$. Отримаємо такі значення кута u при різних значеннях коефіцієнта тертя f : $u=0,4443$ при $f=0,3$; $u=0,8359$ при $f=0,2$; $u=1,5708$ при $f=0$. Швидкість руху: $V=1,68$ м/с при $f=0,3$; $V=2,73$ м/с при $f=0,2$; $V=\infty$ при $f=0$.

На рис. 3, а показана гвинтова поверхня з траєкторією руху

частинки при різних значеннях коефіцієнта тертя.



а) поверхнею утвореною гвинтовим рухом дуги кола; б) поверхнею утвореною гвинтовим рухом прямої

Рисунок 3. Траєкторії руху частинки по гвинтових поверхнях

Розглянемо випадок, коли лінією осьового перерізу є пряма, розміщена під кутом β до горизонтальної площини. Тоді параметричні рівняння лінії осьового перерізу матимуть вигляд:

$$\rho = u \cos \beta; \quad h = u \sin \beta \quad (29)$$

Підставивши рівняння (29) і їх похідні $\rho'_u = \cos \beta$, $h'_u = \sin \beta$ у (23) іотримаємо:

$$b\sqrt{u^2 \cos^2 \beta + b^2} = fu \cos \beta \sqrt{u^2 + b^2}. \quad (30)$$

Розв'яжемо рівняння (30) відносно параметра u :

$$u = \frac{b}{\sqrt{2f}} \sqrt{1 - f^2 + \sqrt{\frac{4f^2}{\cos^2 \beta} + (1 - f^2)^2}} \quad (31)$$

З (31) видно, що u зростає пропорційно параметру b . Підставивши в (25) перший враз (29) і похідні отримаємо:

$$V = \sqrt{-gu \sin \beta}. \quad (32)$$

Для гелікоїда з кутом нахилу твірних $\beta = -45^\circ$ і $b = 0,2$ отримаємо такі значення u : $u = 0,4443$ при $f = 0,3$; $u = 0,8359$ при $f = 0,2$; $u = \infty$ при $f = 0$. При зменшенні коефіцієнта тертя зростає швидкість частинки: $V = 1,8$ м/с при $f = 0,3$; $V = 2,2$ м/с при $f = 0,2$. Поверхню і траєкторії руху частинки показано на рис. 3, б.

Для вибору раціональної конструкції перевантажувального



патрубка розглянемо окремі варіанти напрямків перевантаження транспортованого матеріалу із завантажувальної на вивантажувальну магістраль (рис. 1).

Якщо застосувати лівосторонньо навиту гвинтову спіраль з обертанням шнекових робочих органів спрямованим проти ходу годинникової стрілки (рис. 4,а) сипучий матеріал рухається нижньою горизонтальною поверхнею перевантажувального патрубка. При застосуванні правосторонньо навитої гвинтової спіралі з напрямком обертання шнеків за ходом годинникової стрілки (рис. 4,б) сипучий матеріал переміщується по верхній горизонтальній поверхні патрубка.

Комбінуючи напрямки навантаження та обертального руху шнеків можна отримати інші варіанти перевантаження сипучого матеріалу з завантажувальної магістралі на вивантажувальну (рис. 4, в, г).

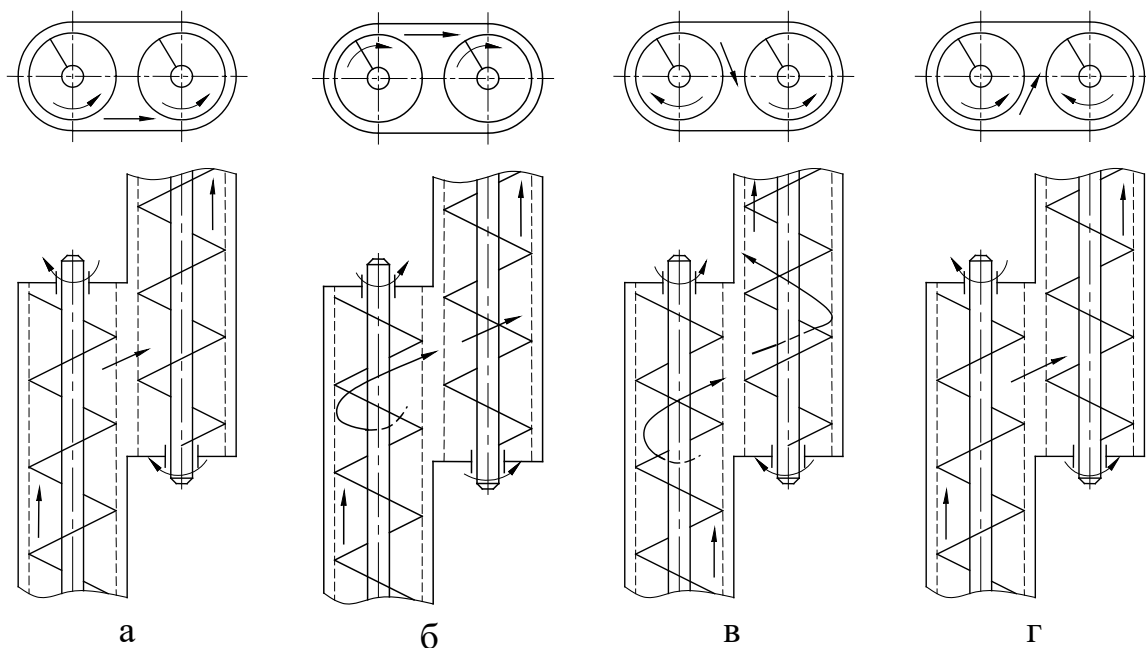
Для встановлення раціональних конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів конвеєра треба провести експериментальні дослідження для розроблених варіантів компоновання і порівняти отримані результати.

Для цього виготовлено стенд, загальний вигляд якого при різних розташуваннях перевантажувального патрубка показано на рис. 5.

Метою проведених досліджень було отримання відповідності параметрів робочого процесу перевантажувального патрубка експлуатаційним вимогам, та визначення впливу регульованих параметрів шнеків на рівень пошкодження транспортованого матеріалу.

При проведенні експериментів змінними були наступні параметри:

- кутова швидкість робочих органів;
- кут нахилу патрубка до горизонту;
- величина зазору між кожухом і поверхнею обертання робочих органів;
- варіанти виконання робочих органів.



Рисцнок 4. Схеми напрямків перевантаження сипкого матеріалу з завантажувальної магістралі на вивантажувальну



а



б

Рисунок 5. Експериментальний стенд

Для визначення впливу варіантів виконання шнекових робочих органів запропоновано і виготовлено їх пари, які зображено на рис. 6.

У випадку а) робочий орган виконано комбінуванням гвинтової спіралі однією стороною закріпленої на валу яка переходить в радіальні пластини розташовані діаметрально.

Для унеможливлення подачі транспортованого матеріалу в бік розташування опор валу, за пластинами закріплена секція шнека з

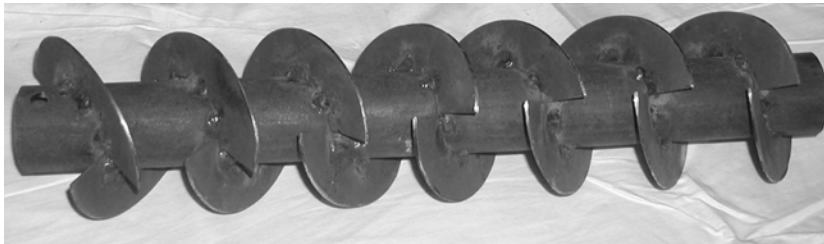
протилежним напрямом навивання, і вивантажувальний робочий орган виготовлений з суцільної спіралі.



а



б



в

а - комбінований шнек з бітером; б - суцільний шнек; в - вал з похилими лопатками

Рисунок 6. Загальний вигляд гвинтових робочих органів первантажувального патрубкa

Також доцільно провести експериментальні дослідження для суцільних шнеків. Такий робочий орган зображено на рис. 6,б.

В даний час ведуться дослідження гвинтових робочих органів, виконаних з використанням шарнірно з'єднаних секцій для гнучких конвеєрів [18], які забезпечують переміщення сипучих матеріалів криволінійними магістралями. В такому випадку складним є виготовлення гвинтових секцій спіралей, довжина який має становити 1,2-2 кроку шнека.

На практиці виготовлення такої секції здійснюється за 4 чи 5 операцій (навивання; калібрування; розрізання на секції; оброблення торцевих поверхонь; оброблення бокових поверхонь).

Для усунення цієї проблеми розроблено новий робочий органу [19], який виконаний у вигляді валу, на якому закріплені похилі лопатки.

Отже, необхідно провести експериментальні дослідження і для такого типу робочого органу (рис. 6,в), який розташовуватиметься в



патрубка, який працюватиме на гнучких технологічних магістралях.

Для певної пари шнекових робочих органів проводиться комплекс експериментів, з метою визначення часу переміщення транспортованого матеріалу між завантажувальною і розвантажувальною магістралями, і встановленні рівня травмування матеріалу що транспортується.

Для цього за різних обертів шнеків, змінювалися кути нахилу перевантажувального патрубка і величини технологічних зазорів і, при цьому, визначали час вивантаження певного об'єму сипкого матеріалу з бункера за допомогою перевантажувального патрубка.

Для визначення рівня травмування сипкого матеріалу попередньо відбирають десять проб матеріалу. Перед проведенням експериментальних досліджень шляхом підрахунку визначають відсоток пошкодженого зерна. Потім зерновий матеріал пропускають через патрубок. Для мінімізації впливу випадкових факторів на результати досліджень транспортований матеріал доцільно декілька разів пропускати через патрубок, і встановлений відсоток пошкодженого матеріалу поділити на відповідну кількість проходів матеріалу.

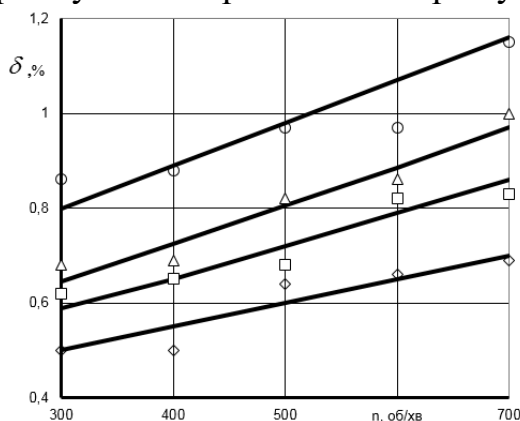
При проведенні експерименту змінювалися такі фактори:

- зовнішній діаметр шнека - D , мм;
- кількість обертів робочого органу за хвилину - n , об/хв.;
- кут перевантажувального патрубка до горизонтальної площини – α , град.

При проведенні експериментів використовувалися різні типи і розміри шнекових робочих органів [20]. Спочатку експерименти проводили для шнеків діаметром 98 мм, а потім їх поверхню обертання проточували, зменшуючи зовнішній діаметр до необхідного. Регулювання частоти обертання шнека забезпечувалося за допомогою частотного перетворювача струму. Кут нахилу перевантажувального патрубка до горизонтальної площини змінювали дискретно, фіксуючи шарнірно закріплені плити основи патрубка на рамі експериментальної установки [22].

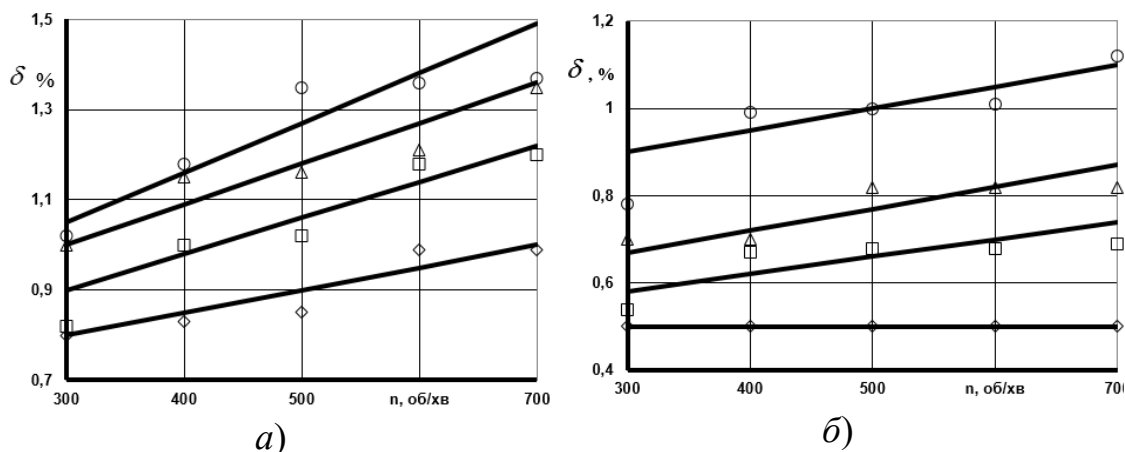
В результаті проведених експериментів для перевантажувального патрубка з робочим органом виконаним у вигляді шнека з лопаткою (рис. 6,а) побудовані графічні залежності (рис. 7) ступеня травмування насінневого зернового матеріалу δ від частоти обертання шнека n при $D = 96$ мм для різних кутів нахилу α перевантажувального патрубка. Аналізуючи їх можна встановити, що при частотах обертання шнека в межах 300...400 об/хв ступінь пошкодження транспортованого матеріалу фактично не змінюється. Зростання величини n викликає зростання травмування матеріалу, і чим більший кут нахилу патрубка, тим більше зростає величина δ .

На рисунку 8 наведено графічні залежності для робочих органів з похилими пластинами (рис. б,в). Проаналізувавши їх можна стверджувати, що збільшення рівня травмування зернового матеріалу при збільшенні частоти обертання робочого органу спостерігається для різних кутів нахилу патрубків, крім горизонтального положення при $D = 96$ мм. Збільшення діаметру робочого органу з 96 до 97 мм викликає збільшення рівня травмування зернового матеріалу на 14...37%.



1◇ – $\alpha = 0^\circ$; 2□ – $\alpha = 10^\circ$; 3Δ – $\alpha = 20^\circ$; 4O – $\alpha = 30^\circ$

Рисунок 7. Залежності рівня пошкодження транспортованого матеріалу δ від обертів n шнека при зміні кута нахилу α



1◇ – $\alpha = 0^\circ$; 2□ – $\alpha = 10^\circ$; 3Δ – $\alpha = 20^\circ$; 4O – $\alpha = 30^\circ$; а - $D = 97$ мм; б - $D = 96$ мм.

Рисунок 8. Залежності рівня пошкодження транспортованого матеріалу δ від обертів n робочого органу з похилими лопатками при змінному куті нахилу α

Висновки. Проаналізувавши технологічні схеми можливих варіантів руху зернового матеріалу в робочій зоні перевантажувального патрубків, розроблено його удосконалену конструкцію, запропоновано комплекти шнекових робочих органів, виготовлено установку для проведення експериментальних



досліджень, а також розроблена методика проведення експериментальних досліджень.

На основі отриманих результатів можна стверджувати, що при частотах обертання робочих органів 300...400 об/хв рівень травмування зернового матеріалу змінюється мало. Зростання величини n вище вказаних меж призводить до зростання рівня травмування зернового матеріалу, і чим більший кут нахилу патрубку до горизонтальної площини, тим інтенсивніше зростає δ . При збільшенні діаметру шнека з 96 до 97 мм викликає зростання рівня травмування зернового матеріалу на 14...37%.

Список використаних джерел.

1. Bulgakov V., Nikolaenko S., Holovach I., Adamchuk V., Kiurchev S., Ivanovs S., Olt, J. Theory of grain mixture particle motion during aspiration separation. *Agronomy Research*, 18(1), 2020. С. 18-37.
2. Loveikin V. S., Romasevych Yu. O. Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. Vol. 4. P. 81–87.
3. Pylypaka S. F., Klendii M. B., Klendii O. M. Particle motion over the surface of a rotary vertical axis helicoid. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 51, No. 1. P. 15–28.
4. Патент № 67426А Україна, В65633/16. Гвинтовий конвеєр. Клендій М.Б., Павлова І.О., Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г. № 2003010046. Бюл. № 8. 3 с.
5. Liaposchenko O., Pavlenko I., Nastenko O. The model of crossed movement and gas-liquid flow interaction with captured liquid film in the inertial-filtering separation channels. *Separation and Purification Technology*. 2017. Vol. 173. P. 240–243.
6. Hevko V. M., Hevko R. B., Klendii O. M., Buriak M. V., Dzyadykevych Y. V., Rozum R. I. Improvement of machine safety devices. *Acta Polytechnica*. 2018. Volume 58. Issue 1. P.17-25.
7. Pylypaka S., Klendii M., Kremets T., Klendii O. Particle motion over the surface of a cylinder, which performs translational oscillations in a vertical plane. *Engineering Journal*. 2018. Vol. 22, No. 3. P. 83–92.
8. Булгаков В., Адамчук В., Кувачов В. Результати експериментальних досліджень блоково-модульного сільськогосподарського агрегату. *Вісник аграрної науки*. Вип. 99, № 7. 2021. С. 49-58.
9. Бондарев В. С. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних і транспортувальних машин : підручник для ВУЗів. Київ: Вища школа, 2009. 322 с.
10. Скиба М. Є., Синюк О. М., Михайловський А. Ю. Математичне моделювання впливу геометрії шнека та кінематичних



параметрів його руху на переміщення гранульованого полімеру в процесі лиття під тиском. *Вісник Хмельницького національного університету*. № 5. 2015. С. 38–44.

11. Кобець А. С., Чурсінов Ю. О., Черних С. А., Сабадаш М. П., Грекова Н. В., Канунніков В. П. *Машины і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна*. Дніпро: ДДАУ, 2013. 766 с.

12. Bulgakov V. et al. Motion stability estimation for modular traction vehicle-based combined. unit. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18, No. 4. P. 2340–2352.

13. Bulgakov V. et al. Angular oscillation model to predict the performance of a vibratory ball mill for the fine grinding of grain. *Biosystems Engineering*. 2018. Vol. 171. P. 155–164.

14. Pylypaka S. et al. External rolling of a polygon on closed curvilinear profile. *Acta Polytechnica*. 2021. Vol. 61, No. 1. P. 270–278.

15. Hevko B. M. et al. Improvement of machine safety devices. *Acta Polytechnica*. 2018. Vol. 58. No. 1. P. 17–25.

16. Hevko R. et al. Investigation of sectional operating elements for conveying agricultural materials. *Research in Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 66, No. 1. P. 18–26.

17. Hevko R. et al. Experimental studies of the process of loose material transportation by a pneumatic-screw conveyor. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 63, No. 1. P. 479–487.

18. Tkachenko I. et al. Substantiation of the parameters of a horizontal conveyer-cleaner of root crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*. 2021. Vol. 1. P. 213–222. doi: 10.31926/BUT.FWIAFE.2021.14.63.1.19.

19. Hevko R. et al. Design development and study of an elastic sectional screw operating tool. *Acta Polytechnica*. 2021. Vol. 61, No. 5. P. 624–632. doi: 10.14311/AP.2021.61.0624.

20. Kuvachov V. et al. Experimental research into new harrowing unit based on gantry agricultural implement carrier. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, No. 1. P. 126–135.

21. Bulgakov V. et al. Experimental studies of flexible sectional screw conveyor torque value. *Engineering for rural development: Contents of proceedings of 21st international scientific conference (Jelgava, 25-27 May 2022)*. Jelgava, 2022. P. 472–477.

22. Bulgakov V. et al. Research of a contact stresses in swivel elements of flexible shaft in screw conveyor for transportation of agricultural materials. *Estonian Academic Agricultural Society*. 2022. Vol. 1. P. 1–7.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.



S. Pylypaka¹, M. Klendiy²., A. Drahan²

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

²Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Berezhany agrotechnical institute»

SIMULATION AND RESEARCH OF THE PROCESS OF TRANSPORTATION OF BULK MATERIAL THROUGH THE LOADING PIPE OF A SCREW CONVEYOR

Summary

Increasing the length of agricultural bulk materials transportation routes is possible by increasing the torsional rigidity of flexible screw implements or by using double-track conveyors with a transmission pipe between them.

The first solution to the problem significantly increases the metal consumption of the screw conveyor's working body, which leads to increased energy consumption, as well as an increase in the level of vibrations and rapid wear of the flexible body.

Therefore, another direction can be considered rational, which allows unloading the working bodies of loading and unloading lines and significantly reducing their metal consumption.

The purpose of the research was to determine the compliance of the operating parameters of the reloading nozzle with the operational requirements and to determine the effect of the adjustable parameters of the screws on the level of damage to the transported material.

As a result of the research, new schemes of reloading nozzles of screw conveyors for the transportation of bulk agricultural materials have been developed, which provide a significant reduction in energy consumption for the work process. The design of the test bench and the research methodology for determining the main parameters of the working bodies that reduce damage to the transported bulk materials have been developed. The results of experimental studies carried out to determine the influence of the structural and kinematic parameters of the screw working bodies of the conveyor's reloading nozzle on the degree of seed damage are presented. The regularities of the influence of the structural and technological parameters of the developed reloading nozzle and its working bodies on the parameters of the process of material transportation and the degree of their damage have been established. The results of experimental studies indicate that the main factor leading to an increase in the level of damage to bulk material is the size of the gap between the surface of the rotating working body and the casing, followed by the speed of its rotation and the angle of inclination of the reloading nozzle to the horizon.

Key words: overloading nozzle, transportation, rotation frequency, screw conveyor, working body, angle of inclination of the nozzle, injury of grain material.



УДК 631.362:665.335.5

В. В. Дідур¹, д.т.н.

ORCID: 0000-0001-7584-5073

О. В. В'юник², інж.,

ORCID: 0000-0002-6413-5567

Г. І. Дашивець², к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-2612-6077

¹Уманський національний університет садівництва²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: olga.viunyk@tsatu.edu.ua

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ОЛІЇ, ВІДЖАТОЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Анотація. В статті наведено результати аналізу методів очищення олії, віджатої з рослинної сировини. Проблема очищення рослинних олій є складовою частиною проблем, які пов'язані з очищенням рідин, що використовуються як в промисловості, так і в сільському господарстві. Різноманітність властивостей продуктів та технологічних вимог до їх очищення сприяла створенню великої кількості апаратів для видалення домішок з рідин. Показники очищення залежать від багатьох факторів, основні з яких: фізико-хімічні властивості; температура, продуктивність та ін. В роботі розглянуто такі методи очищення рідин як відстоювання, очищення в гідроциклонах, фільтрація, біологічні методи, фізичні методи та ін. Описано в чому полягає кожен з методів, галузь його застосування та недоліки. Як найбільш перспективний метод очищення рідин виділено діелектрофорез.

Ключові слова: рідина, аналіз, метод, очищення

Постановка проблеми. На ринку рослинної олії спостерігається активна конкуренція. Лідером стає той, чий продукт має максимально високу якість. Також гостро стоїть питання собівартості та енергоємності виготовлення продукції. Отже, розробка і впровадження у виробництво способів і конструкцій апаратів, які забезпечать високу якість продукції та зниження енерговитрат процесу виготовлення є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Проблема очищення рослинних олій є складовою частиною проблем, які пов'язані з очищенням рідин, що використовуються як в промисловості, так і в сільському господарстві. Зокрема в технологіях агропромислового комплексу проблема,



пов'язана із очищенням рідин, зустрічається в тваринництві при утилізації стоків, при переробці молока, в технологічних процесах переробки фруктів, ягід, винограду, буряку, ефіроолійних культур, в технологіях відновлення технічних рідин [1]. На теперішній час розроблено і впроваджено у виробництво велику кількість методів механічного, хімічного, фізичного, фізико-хімічного та біохімічного способів очищення рідин [1 – 6].

Різноманітність властивостей продуктів та технологічних вимог до їх очищення сприяла створенню великої кількості апаратів для видалення домішок з рідин. До них належать фільтри, гідроциклони, центрифуги, відстійники та інші апарати.

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є обґрунтування оптимального методу очищення олії, віджатої з рослинної сировини.

Основна частина. Незважаючи на велику чисельність конструкційних рішень апаратів для очищення олій та рідин, в принцип їх роботи закладено не так багато фізичних явищ. Всі вони можуть бути розділені на дві групи. До першої групи належать всі способи очищення в пористих середовищах, до другої - способи очищення в силових полях [3].

Відповідно до цього всі технічні засоби очищення також можна розділити на дві основні групи. До першої групи засобів очищення належать гідравлічні фільтри: сітчасті, паперові, картонні, тканинні, фетрові, металокерамічні, фільтри з різних волокнистих і зернистих пресованих матеріалів та пластмас, а також гідродинамічні фільтри. До другої групи засобів належать поля: гравітаційне, відцентрове, магнітне, електричне та ультразвукове. З іншого боку методи і засоби очищення можна класифікувати за способом впливу на дисперсну систему (рис. 1).

Основними характеристиками апаратів для очищення олій та рідин є:

- 1) кількість домішок, що утримуються або вилучаються з рідини у співвідношенні до вихідної кількості;
- 2) кількість домішок, що розділяються та утримуються або вилучаються з рідини у співвідношенні до вихідної кількості;
- 3) продуктивність - витрата рідини через очищувач або сепаратор;
- 4) тонкість очищення або сепарації - мінімальний розмір частинок, що повністю вилучаються з рідини;
- 5) питомі витрати енергії - витрати енергії на очищення або сепарацію одиниці об'єму рідини.

Показники очищення залежать від багатьох факторів, основні з яких: фізико-хімічні властивості; температура, продуктивність та ін.

Основні методи очищення олій та рідин, викладені в джерелах [1, 3] ряд із них, мають перспективи розвитку та широкого застосування в технологічних процесах.

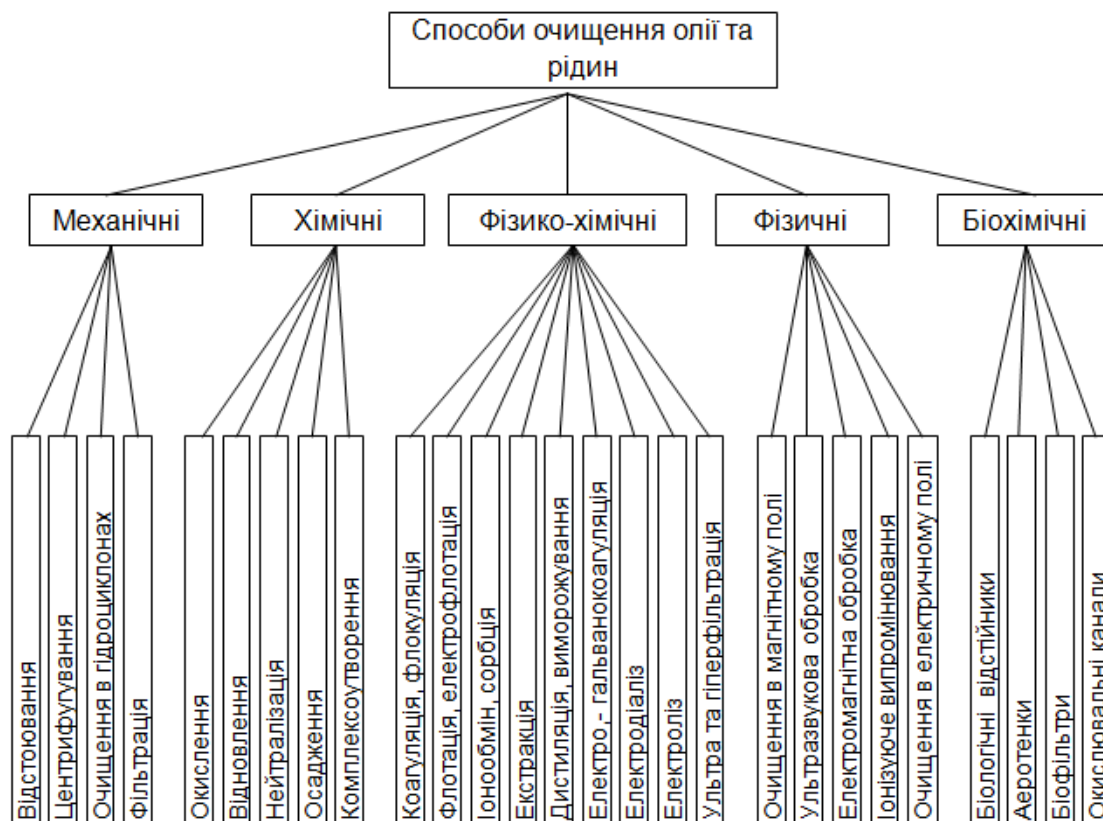


Рисунок 1. Класифікація способів очищення олій та рідин

Найпростішим методом очищення олій і рідин є відстоювання. В цьому методі використовується гравітаційна сила. Розроблено декілька типів відстійників (вертикальні, горизонтальні, радіальні, багатоярусні та інші). Такі апарати використовуються для очищення широкого спектру рідин, до яких не ставляться жорсткі вимоги тонкості; стічних вод, грубого очищення стоків, виноматеріалів, олій та інших продуктів. Недоліком такого методу очищення є невелика сила, що діє на частинки, та залежність показників очищення від густини речовини частинок і рідини.

При очищенні в гідроциклонах використовують відцентрову силу, що діє на зважену частинку при закручуванні потоку рідини. Порівняно з відстоюванням, в гідроциклонах отримують механічні сили на порядок, а в центрифугах, на декілька порядків вище, що дає змогу видаляти тонкодисперсні частинки. Центрифуги використовують в технологіях очищення соків, виноматеріалів, рослинних олій, паливо-мастильних матеріалів, сепарації молока та інших продуктів. Недоліком цього методу є великі затрати енергії на організацію кругового руху рідини разом з ротором центрифуги, наявність рухомих



вузлів, висока вартість обладнання.

Очищення рідин фільтрацією засновано на утриманні зважених частинок пористими перегородками з різноманітних матеріалів. Цей метод знайшов широке застосування в паливних та мастильних системах двигунів внутрішнього згоряння, в технологічних процесах виготовлення соків, виноматеріалів, олій, при очищенні стічних вод, підготовці питної води та ін. Основними недоліками методу є: потреба в заміні або відновленні фільтрувальних елементів; зміна продуктивності в процесі експлуатації фільтрувального елемента; нестабільність показників очищення та потреба в забезпеченні високого тиску на фільтрі, що приводить до значних витрат енергії, особливо для в'язких рідин.

Коагуляція і флокуляція частіше всього використовуються при відстоюванні для інтенсифікації процесу. Методи використовуються для очищення питної води, для освітлення соків, очищення стічних вод та ін. Недоліками методів є вплив реагентів на рідину та обмежена область застосування.

Флотаційне очищення засноване на виносі бульбашками газу зважених частинок на поверхню рідини. Відповідно до методів отримання бульбашок газу існують наступні способи флотаційного очищення:

- флотація бульбашками, що утворюються шляхом механічного дроблення повітря або іншого газу;
- флотація бульбашками, що утворюються з перенасиченого розчину повітря в рідині (вакуумна або напірна);
- електрофлотація.

Флотація застосовується в технологіях виробництва соків, при очищенні стічних вод, при збагаченні корисних копалин. Видалення пінного шару з поверхні рідини потребує додаткових пристроїв, що ускладнює апарати очищення. Крім того, процес утворення комплексів бульбашка-зважена частинка залежить від фізико-хімічних властивостей цих компонентів і в багатьох випадках взагалі неможливий.

Очищення олій та рідин за допомогою сорбції та іонообміну, в більшості випадків, застосовують для стічних вод та питної води з метою видалення розчинених сполук. Для очищення рідин від розчинених сполук також використовують метод екстракції за допомогою екстрагента, в якому розчинність речовини, що видаляється, більша, ніж в рідині. Ці методи не дозволяють вилучати з рідини тверді частинки.

Очищення дистиляцією та виморожуванням застосовуються для дисперсних систем та рідких сумішей, в яких речовини мають різні температури кипіння або кристалізації. Ці методи енергоємні (питомі



витрати енергії, зокрема на випаровування води складають $2,72 \cdot 10^6$ Дж/кг) і використовуються в специфічних хімічних та харчових технологіях, наприклад, отримання спиртів, ефірів, видалення воску з рослинних олій, парафіну з нафтопродуктів.

Метод електрокоагуляції полягає в отриманні коагулянтів - гідроксидів металів при їх анодному розчиненні. Він застосовується для очищення води від колоїдних та дрібнодисперсних домішок. Область його застосування обмежена рідинами, в яких процеси електролізу на електродах допускаються технологічними умовами.

Електродіаліз та мембранний електроліз застосовують для очищення та опріснення води за допомогою електромембран. Область їх застосування розповсюджується як на промисловість, медицину, так і на сільське господарство: опріснення поливної води, видалення солі з сироватки при переробці молока, видалення з води нітратів, нітритів та інших речовин.

В електролізних установках очищення води здійснюється за рахунок декількох наступних процесів: окислення на аноді, електрокоагуляції, електрофорезу колоїдних частинок, електрофлотації. Ефективність процесу залежить від складу рідини та властивостей ДФ.

Методи електрокоагуляції, електродіалізу та електролізу обмежені використанням для рідких продуктів на основі води.

Ультра- та гіперфільтрація належать до мембранних технологій і полягають в молекулярному розділенні розчинів під високим тиском. Питомі витрати енергії на здійснення процесу менші ніж при випаровуванні, але теж залишаються високими і складають величину порядку 10^4 Дж/кг, а для в'язких рідин - значно більші.

Для очищення води, зокрема стічної, знайшли застосування біологічні методи, що ґрунтуються на безперервному культивуванні мікроорганізмів, які використовують органічні та деякі неорганічні сполуки в якості субстрату для харчування. До технічних засобів, що здійснюють біологічний метод очищення, належать біологічні відстійники, аеротенки, біофільтри та окислювальні канали.

В технологічних процесах багатьох галузей народного господарства знайшли застосування фізичні методи очищення і сепарації рідин. В цих пристроях використовується силова дія полів: магнітного, ультразвукового, електромагнітного, електричного та іонізуючого випромінювання.

Магнітна обробка застосовується для рідин з домішками у вигляді феромагнітних частинок різних розмірів. Використовуються магнітні фільтри, відстійники та гідроциклони. Недоліком цього методу є вибірковість дії магнітного поля на частинки з певною магнітною проникністю.



Ультразвукова обробка, з метою очищення рідин, пов'язана зі специфічними ефектами, що виникають в рідині під впливом ультразвукового поля: кавітацією, коагуляцією, акустичними течіями та іншими. Ці ефекти дозволяють інтенсифікувати процеси: відстоювання, фільтрації, коагуляції, флокуляції, флотації [4].

Недоліком цього методу є складність, велика вартість ультразвукового обладнання, енергоємність, нестабільність процесу та підвищені експлуатаційні вимоги. Він застосовується при очищенні соків, для прискорення кристалізації винного каменя, очищення рідин напірною флотацією як фактор, що інтенсифікує основний процес [4, 5].

При електромагнітній обробці використовують як силову дію електромагнітного поля на зважені частинки, так і теплову, що приводить до порушення стійкості деяких дисперсних систем. Метод не знайшов широкого застосування, але може бути перспективним для очищення і сепарації певних рідин.

Іонізуюче випромінювання може використовуватися як фактор, що інтенсифікує коагуляцію, відстоювання та електрохімічні методи, і таким чином впливає на процеси очищення.

Методи очищення рідин в електричному полі ґрунтуються на осадженні зважених частинок на електродах під дією сил електричного поля. Безпосереднє використання електричного поля не тільки робить можливим проведення глибокого очищення рідини при високій продуктивності устаткування, але і забезпечує енерговигідність процесу, простоту конструкцій апаратів, дозволяє механізувати і автоматизувати їх роботу [6]. Крім того, електрична обробка може впливати на процеси масообміну, зокрема інтенсифікувати випаровування летючих речовин [7].

Проте цей метод застосовують вибірково. Наприклад, метод не знайшов розповсюдження в процесах переробки рідких продуктів сільськогосподарського виробництва. Основна причина цього полягає в тому, що більшість цих рідин - електроліти. При створенні електричного поля в таких рідинах виникають електрохімічні реакції, що змінюють хімічний склад продукту і часто погіршують його якість.

Полярizaційні явища, що виникають під дією електричного поля в електролітах, не дозволяють подавати велику напругу на електроди і тим самим обмежують продуктивність процесу. Як правило, напруженість поля в таких випадках не перевищує 10^4 В/м. В цьому відношенні електричні очищення неполярних рідин є перспективними. Їх діелектричні властивості дозволяють подавати високу напругу на електроди і не побоюватися хімічних змін, що виникають під дією поля [8, 9]. Електрохімічні реакції в неполярних рідинах практично не відбуваються. В технологічних процесах переробки продукції



сільського господарства до таких рідин належать рослинні олії, тваринні жири, їх розчини, місцели, синтетичні і натуральні рідкі запашні речовини та інші продукти. Застосування електричного очищення перспективне і для ефірних олій [10, 11] та нафтопродуктів [12].

Очищення рідин в електричному полі повинні дати значний економічний ефект внаслідок підвищення якості продукції і підвищення її стійкості при зберіганні.

Таким чином, для очищення різних рідин і олій з існуючих сучасних методів найбільш широкое застосування знайшли гравітаційне відстоювання, центрифугування, фільтрація та методи, що ґрунтуються на використанні електричного поля.

Як показав аналіз, ці методи мають суттєві недоліки: велику енергоємність для центрифугування та фільтрації; низькі якісні показники для гравітаційного відстоювання; вибірковість застосування в залежності від густини рідини і частинок для центрифугування та гравітаційного відстоювання і в залежності від електрофізичних властивостей рідини та домішок для електричних методів; можливість розділення зважених частинок тільки за ознакою густини та розміру для гравітаційного відстоювання, центрифугування та фільтрації.

Таким чином, розвиток систем очищення та сепарації спрямований на удосконалення існуючих, і розробку нових методів та технічних засобів з метою зменшення енерго- та ресурсовитрат: на процес підвищення технологічності, забезпечення якості рослинних олій, при їх виробництві, є актуальною проблемою.

Діелектрофорез – виникнення сил на частинках, що поляризуються в неоднорідному електричному полі (зазвичай електричне поле змінного струму) [13]. Сили діелектрофорезу можуть бути використані для переміщення, фіксації у визначеному місці, розділення і управління частинками мікро- і нанорозмірів. Це може бути сортування, захоплення, видалення і розділення різних за властивостями об'єктів, тобто для маніпулювання ними. Потрібно відзначити, що діелектрофорез можна застосовувати не тільки для організації руху частинок в неоднорідному полі, але і для визначення їх власних характеристик: діелектрична проникність (ДП) і питома електропроникність (ПЕ).

Величина і спрямованість діелектрофоретичних сил залежить від декількох чинників, включаючи частоту змінного електричного поля, ПЕ і ДП середовища і зважених частинок, градієнта електричного поля. Останній залежить від геометрії використовуваних електродів. До того ж, електричні поля великої напруженості, що використовуються в діелектрофорезі, генерують високу щільність енергії в середовищі. Завдяки високій неоднорідності електричного поля спостерігаються



градієнти температури, що приводить до градієнтів ПЕ і ДП. Перший створює вільний об'ємний заряд і силу Кулона, тоді як останній породжує діелектричну силу. Ці дві сили примушують середовище текти.

Ефект взаємодії частинок з полем пропорційний їх об'єму і набагато сильніше виявляється при розділенні крупних частинок.

Неоднорідне змінне електричне поле викликає поступальний рух поляризованої частинки. Швидкість діелектрофорезу пропорційна градієнту від квадрату напруженості поля, і залежно від параметрів частинки, навколишнього середовища і властивостей межі розділу між ними, може бути направлена у бік сильнішого або слабкішого поля [13,14].

У порівнянні з електрофорезом діелектрофоретичне маніпулювання частинками потрібно проводити з використанням сильніших полів, проте воно має певні переваги, які особливо важливі у разі управління окремими частинками. Серед цих переваг можна відзначити наступні: 1) сильніша, порівняно з електрофорезом, просторова залежність сили, що діє на частинку, дозволяє точніше управляти її положенням; 2) використання при діелектрофорезі змінного поля дозволяє уникнути забруднення простору біля електродів продуктами електрохімічних реакцій, які накопичувалися б при протіканні постійного електричного струму.

Діелектрофорез вивчається з 1951 р. стосовно частинок, що знаходяться в непровідних рідинах типу вуглеводнів. Дослідження діелектрофорезу в провідних рідинах, наприклад, водних розчинах, ускладнені проблемами створення електричного поля достатньо великої напруженості в таких середовищах. Оскільки діелектрофоретична рухливість залежить від неоднорідності поля в місці розташування частинок, швидкість частинок виявляється функцією просторових координат, що також ускладнює експериментальне вивчення діелектрофорезу. Реалізація переваг діелектрофорезу для нанотехнологій стала можливою після створення мікроскопічних міжелектродних областей, в яких завдяки високому опорі - більше 40 МОм та інтенсивному відведенню тепла, можуть бути отримані поля напруженістю близько десятків кВ/см. Такі напруженості поля виявляються достатніми для ефективного маніпулювання частинками радіусом від 10 нм [14].

Квадратична по полю повна сила, що діє в неоднорідному полі на електронейтральну систему, яка складається з частинки разом з її дебаєвською атмосферою – дифузною частиною подвійного електричного шару, описується наступним виразом:

$$\vec{F} = (\vec{P}\nabla)\vec{E}, \quad (1)$$



де \vec{F} – сила, що діє в неоднорідному полі на електронейтральну частинку,
Н;

\vec{P} – повний індукований дипольний момент системи, Кл·м.

У традиційному підході до розрахунку швидкості діелектрофорезу в розчині електроліту вважається, що електрична сила, яка діє на частинку, дорівнює повній силі. Тоді швидкість діелектрофорезу обчислюється з умови рівності сили, що діє в неоднорідному полі на електронейтральну систему частинок. В результаті швидкість діелектрофорезу сферичної частинки радіусу a дорівнює

$$\vec{v}_{de} = \frac{(\vec{p}\nabla)\vec{E}}{6\pi\eta a} \quad (2)$$

де \vec{v}_{de} – швидкість частинки, м/с;

a – радіус частинки, м.

Проте в тих випадках, коли частинка рухається в розчині електроліту, тільки частина повної сили прикладена до частинки, тоді як інша частина діє на дебаєвську атмосферу. В роботі [14] було враховано вплив зарядів іонів, що розподілені в межах поляризованої дифузійної обкладки подвійного електричного шару, і розрахована швидкість діелектрофорезу

$$\vec{v}_{de} = \frac{\chi_{eff}\nabla|\vec{E}|^2}{12\pi\eta a} \quad (3)$$

де χ_{eff} – ефективна здатність частинки до поляризації;

$$\chi_{eff} = \chi_{eff}^{(0)} + \chi_{eff}^{(2)} \cdot \xi^2 \quad (4)$$

де $\chi_{eff}^{(0)}$ – ефективна здатність до поляризації незарядженої частинки;

$\chi_{eff}^{(2)}$ – коефіцієнт, що характеризує вплив заряду частинки на діелектрофорез.

Таким чином, розвиток теорії діелектрофорезу зазвичай зводиться до удосконалення методів розрахунку величини індукованого дипольного моменту, а саме, - до врахування впливу на нього електричних властивостей частинки і середовища, поверхневої провідності, взаємозв'язаних електричних, концентраційних і гідродинамічних полів, що виникають при поляризації дифузної



частини подвійного електричного шару, рухливості іонів в шарі Штерна та інших чинників [14].

Не дивлячись на великі потенційні можливості, застосування діелектрофорезу все ще обмежене в більшості випадків лабораторними і пілотними установками.

Інша річ, коли частинка знаходиться в повітрі або в непровідній рідині. В цьому випадку ситуація спрощується, і сила, що діє на частинку у формі кулі, може бути розрахована за формулою [15]

$$\vec{F} = 4\pi\epsilon_c a^3 \frac{\epsilon_q - \epsilon_c}{\epsilon_q + 2\epsilon_c} \left(\bar{E}_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + \bar{E}_y \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + \bar{E}_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \right) \quad (5)$$

На основі цієї сили працюють пристрої електросепарації в повітряних середовищах – діелектричні сепаратори [16]. Але застосування подібних пристроїв для ОС діелектричних рідин від механічних домішок ускладнено у зв'язку з великою в'язкістю рідин у порівнянні з газами та іншими факторами. Рідинні електрофільтри та електросепаратори з конструкцією, подібною до газових, не знайшли практичного застосування.

Крім цього, при використанні діелектрофоретичних механізмів очищення рідин застосовується постійний струм або струм промислової частоти, що зумовлено нехтуванням електропровідністю середовища та частинки. Для багатьох рідин такий підхід не є прийнятним. Наприклад, для соняшникової олії з питомою електропровідністю 10^{-9} Ом/м вже при частоті 50 Гц реактивна електропровідність дорівнює активній. Це приводить до зсуву фаз між дипольним моментом діелектричної частинки і електричним полем, та відповідної зміни величини сили (1.5).

Висновки. Метод діелектрофорезу має великі перспективи, які пов'язані перш за все зі створенням такої конфігурації електричного поля, яка б дозволила забезпечити ефективні траєкторії руху частинок у відведені зони та їх вивантаження з пристрою в неперервному режимі роботи обладнання, та можливістю розділення частинок з різними електрофізичними властивостями.

Список використаних джерел

1. Fayza A. Nasr, Hala S. Doma, Hisham S Abdel-Halim, Saber A. El-Shafai. *Chemical industry wastewater treatment*. TESCE, Vol. 30, No.2 2004. Pp. 1183–1206

2. Дідур В. В., Дідур В. А., Назаренко І. П., Назарова О. П., Діденко О. В. Моделювання процесу очищення пресової касторової олії методом флотації. *Науковий вісник Національного університету*



біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2018, Вип. 297 С. 91–.

3. National Research Council. 1998. Separation Technologies for the Industries of the Future. Washington, DC: The National Academies Press. 128 pages. <https://doi.org/10.17226/6388>

4. Назаренко І. П. Дослідження процесу зарядки дисперсної фази в діелектричних рідинах. Праці Таврійської державної агротехнічної академії: наук. фах. видання. ТДАТА. Мелітополь, 2002. Вип. 9. С. 33–37.

5. Назаренко І. П. Моделювання біжучого електричного поля в електросепараторах діелектричних суспензій. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Харків, 2010. - Вип. 101. С. 137–139.

6. Abramov A., Morozov A., Koshkina, Anastasia & Petryakov S. & Nuretdinova, J. The cleaning process model of diesel fuel in an electric field. MATEC Web of Conferences. 2019. 298. 00095. [10.1051/mateconf/201929800095](https://doi.org/10.1051/mateconf/201929800095).

7. Назаренко І. П., Лобода О. І., М Груба. О., Ларіков К. М. До питання випаровування рідин в коронному розряді. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*: наук. фах. видання. ТДАТУ. Мелітополь, 2008. Вип. 8, Т.5. С. 44–48.

8. Mikheev, Gennady & Tarasov, V. & Mikheeva, T.. (2008). Electroconvective purification of dielectric liquids. *Technical Physics Letters*. 34. 391–393. [10.1134/S106378500805009X](https://doi.org/10.1134/S106378500805009X).

9. Paul Flowers, Klaus Theopold, Richard Langley, William R. Robinson. с 2e. OpenStax. 2019. Houston, Texas. 1207 p.

10. Эфендиев О. Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1977. 149 с.

11. Asaad Rehman Saeed Al-Hilphy A practical study for new design of essential oils extraction apparatus using ohmic heating *International Journal of Agricultural Sciences* ISSN: 2167-0447 Vol. 4(12), Pp. 351–366, December, 2014. Available online at www.internationalscholarsjournals.org
© International Scholars Journals

12. Мартынов А. Г. Очистка нефтепродуктов в электрическом поле постоянного тока. М.: Химия, 1974. 89 с.

13. Green Nicolas, Morgan Hywel. Dielectrophoretic separation of nano-particles. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1999. 30. L41. [10.1088/0022-3727/30/11/001](https://doi.org/10.1088/0022-3727/30/11/001).

14. Shilov V. N. Dielectrophoresis of nanosized particle. *Colloid Journal* 70, 515–528 (2008). <https://doi.org/10.1134/S1061933X08040170>

15. John Bird. *Electrical and Electronic Principles and Technology*. 4 edition. Published by Elsevier Ltd. 2010. 441 p.



16. System for the dielectrophoretic separation of particulate and granular material: пат. 4100068 США, МКИ В03 С5/00. № 759202; заявл. 13.01.77; опубл. 11.07.78, United States Patent Office. 5 с.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

V. Didur¹, O. Viunyk², H. Dashyvets²

¹Uman National University of Horticulture

²Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

ANALYSIS OF THE PURIFICATION METHODS OF OIL EXTRACTED FROM VEGETABLE RAW MATERIALS

Summary

The article presents the results of the analysis of methods of cleaning oil pressed from vegetable raw materials. The problem of purification of vegetable oils is an integral part of the problems associated with the purification of liquids used both in industry and in agriculture. In particular, in the technologies of the agro-industrial complex, the problem related to the purification of liquids occurs in animal husbandry during the disposal of sewage, during the processing of milk, in the technological processes of processing fruits, berries, grapes, beets, essential oil crops, in the technologies of recovery of technical liquids. The variety of product properties and technological requirements for their cleaning contributed to the creation of a large number of devices for removing impurities from liquids. Cleaning indicators depend on many factors, the main of which are: physical and chemical properties; temperature, productivity, etc. The work considers such methods of liquid purification as sedimentation, purification in hydrocyclones, filtration, sorption and ion exchange, distillation and freezing, electrocoagulation, electrodialysis and membrane electrolysis, biological methods, physical methods. Physical methods of cleaning and separating liquids are based on the force of magnetic, ultrasonic, electromagnetic, electric and ionizing radiation fields. Dielectrophoresis has been singled out as the most promising method of liquid purification. The method of dielectrophoresis has great prospects, which are primarily related to the creation of such a configuration of the electric field, which would allow ensuring effective trajectories of the movement of particles into the designated areas and their discharge from the device in continuous operation of the equipment, and the possibility of separating particles with different electrophysical properties.

Key words: liquid, analysis, method, purification



УДК 637.134.001.57

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-1248-4068
В. О. Верхоланцева, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-1961-2149
О. О. Червоткіна, асист. ORCID: 0000-0002-6814-0566
О. О. Ковальов, к.т.н., ст. викл. ORCID: 0000-0002-4974-5201

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: nadiia.palianychka@tsatu.edu.ua, тел.: 098-987-51-60

ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ІМПУЛЬСНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА

Анотація. Під гомогенізацією розуміють технологічний процес, який дозволяє отримати однорідну суміш з інгредієнтів, які зазвичай не змішуються. Використовується у сільському господарстві, хімічній, переробній, фармацевтичній, косметологічній галузях. Однак найбільшого розповсюдження отримав у харчовій промисловості при виробництві молочної продукції. Обладнання, яке використовують для гомогенізації називають гомогенізаторами. Основною проблемою розповсюджених типів гомогенізаторів є їх висока енергоефективність. В даній статті обґрунтовано доцільність виробництва лабораторної установки імпульсного гомогенізатора, приведено методику його розробки, основні розрахунки та вимоги до виготовлення.

Ключові слова. Гомогенізація, імпульсний гомогенізатор, лабораторна установка, експериментальні дослідження якості, енергозатрати, ступінь гомогенізації.

Постановка проблеми. Процес гомогенізації у харчовій промисловості є дуже розповсюдженим на сьогоднішній день. З його використанням обробляють продукти у рідкому та пастоподібному стані, які дуже погано змішуються між собою (яєчні меланжі, соуси, суміші "молочна основа – рослинний жир", тощо). Завдяки цьому готовий продукт набуває однорідності та не розшаровується при тривалому зберіганні та транспортуванні [1, 2]. Найчастіше для даної технологічної операції використовують клапанні типи гомогенізаторів. Головною причиною вибору цих гомогенізаторів є висока ступінь диспергування кінцевого продукту. Однак, поряд з цим вони мають ряд суттєвих недоліків, таких, як великі витрати енергії на процес диспергування, значні габаритні розміри обладнання та масу, а також



підвищену вартість [2-4]. Не дивлячись на це, їх все ж таки найчастіше використовують у зв'язку з відсутністю альтернативного типу обладнання, яке зможе дозволити отримати високу якість готового продукту. Тому актуальним залишається питання розробки гомогенізаторів, які зможуть досягти необхідного ступеня диспергування при значно нижчих витратах енергії на процес.

Аналіз останніх досліджень. Проведений аналіз наукових робіт вчених Drankhar P., Innings F., Glawdel T., Liu C., Håkansson, A., Promtov M. A., Барановського Н. В., Орешіної М. М., Фіалкової Є. О., та інш. дозволив дійти висновку, що існуючі типи гомогенізаторів потребують вдосконалення задля отримання високоякісних продуктів при низьких енерговитратах [2-8]. Найбільш перспективним типом технологічного обладнання, який дозволить задовольнити поставлені задачі є імпульсний тип гомогенізатора. Конструкція даного обладнання дозволяє створити умови для отримання високого ступеня диспергування кінцевого продукту і при цьому не потребує великих затрат енергії для приведення гомогенізатора в дію [10-12].

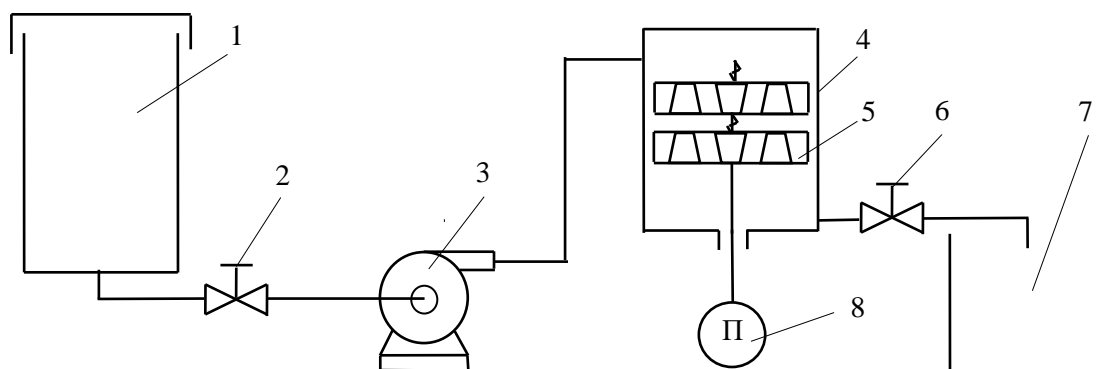
Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є обґрунтування доцільності виробництва лабораторної установки імпульсного гомогенізатора, приведення методики його розробки, основних розрахунків та вимог до його виготовлення.

Основна частина. Проведені теоретичні дослідження дозволили встановити, що отримати кінцевий продукт з високим ступенем диспергування і при цьому невисоких енерговитратах на процес можна з використанням імпульсного типу гомогенізатора.

Для перевірки працездатності даного виду технологічного обладнання та проведення експериментальних досліджень слід створити лабораторну установку імпульсного гомогенізатора [10]. Попередній аналіз досліджень показав, що імпульсний гомогенізатор повинен складатися з: технологічних ємностей для приймання молока перед гомогенізацією та накопичення готового продукту, перепускних вентилів для регулювання подачі молока, насосу, робочої камери гомогенізатора із встановленими всередині поршнями-ударниками. Коливальні рухи поршня мають створюватися за допомогою кривошипу, який приводиться в дію від електродвигуна. Принципова схема лабораторного зразка імпульсного гомогенізатора представлена на рисунку 1.

Технологічне обладнання працює таким чином. В ємність 1 заливається незбиране молоко, підігріте до необхідної температури, яке через вентиль 2, який служить для регулювання подачі продукту, потрапляє до насосу 3 і звідти подається у робочу камеру гомогенізатора 4. При коливальних рухах поршнів-ударників 5 відбувається диспергування жирової фази молока, після чого

оброблений продукт зливається в ємність 7 через вентиль 6 [11, 12].



1, 7 – технологічні ємності; 2, 6 – перепускні вентиля; 3 – насос; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршні-ударники; 8 – кривошипний механізм з електроприводом.

Рисунок 1. Принципова схема лабораторної установки імпульсного гомогенізатора

Для розроблення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора нам слід провести розрахунок основних конструктивних параметрів розроблюваного гомогенізатора.

Основним технологічним вихідним параметром розрахунку лабораторної установки імпульсного гомогенізатора є ступінь гомогенізації. Клапанні гомогенізатори забезпечують максимальну ступінь гомогенізації серед відомих промислових машин: $Hm = 5$. Така якість обробки молока є достатньою для технологічних процесів виробництва молочних продуктів з використанням гомогенізації молока. Тому це значення приймається за розрахункове.

Основними характеристики процесу імпульсної гомогенізації є: амплітуда коливання поршня-ударника h , частота f , подача молока Q , ступінь гомогенізації Hm , температура гомогенізації t , енерговитрати на процес гомогенізації E , форма отворів поршня-ударника, діаметр робочої камери D , довжина робочої камери L .

Основні режими роботи імпульсного гомогенізатора для практичних розрахунків визначаються згідно рівняння

$$0,88 + 0,694h + 0,602f - 0,588Q + 0,2h \cdot f + 0,426h^2 - 0,663f^2 - 0,459Q^2 = 0. \quad (1)$$

Діаметр робочої камери гомогенізатора визначається згідно формули

$$D = \frac{Q}{\pi \cdot \delta \cdot \vartheta_6 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varphi_1}, \quad (2)$$



де Q – продуктивність імпульсного гомогенізатора, кг/год;
 δ – зазор між циліндром і поршнем, м;
 v_b – швидкість руху гомогенізуючого продукту у зазорі між циліндром і поршнем, м/с;
 ε_1, φ_1 – коефіцієнти відповідно звуження і швидкості для плоскої щілини.

Довжина камери імпульсного гомогенізатора визначається по формулі

$$L = 4 \frac{Q}{\pi \cdot D^2 \cdot f}, \quad (3)$$

де f – частота коливання поршня-ударника, Гц.

Оптимальним діаметром отворів поршнів-ударників є: $d_{\text{вихід}} = 0,008$ м; $d_{\text{вих}} = 0,002$ м. Кількість отворів повинна бути максимальною з умов характеристики міцності робочого органу гомогенізатора.

Діаметр поршнів-ударників визначається за формулою

$$d_{\text{пор}} = D - 2\delta. \quad (4)$$

Товщина поршнів-ударників імпульсного гомогенізатора визначається як

$$S_{\text{пор}} = 2 \dots 6 \cdot d_{\text{отв}}, \quad (5)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отворів поршнів-ударників, м.

Потужність гомогенізатора визначається по формулі

$$N = \frac{c \cdot \rho_m \cdot v^3 \cdot S}{2 \cdot \eta_n \cdot \eta_e}, \quad (6)$$

де c – коефіцієнт опору, для круглої пластини, $c=1,1\dots1,15$;
 S – площа поршня, м²;
 v – швидкість руху поршня-ударника (подача), м/с;
 η_n – коефіцієнт корисної дії насоса;
 η_e – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Результати теоретичного розрахунку основних конструктивних параметрів лабораторної установки імпульсного гомогенізатора зведені в таблицю 1.

Отримані дані використовуємо для розробки креслення загального виду лабораторної установки імпульсного гомогенізатора.

В якості насоса для лабораторної установки запропоновано використовувати відцентровий насос марки ОНЦ 1,5/15 ГОСТ 15150-



69. Ці насоси досить універсальні і найчастіше застосовуються саме в молочній промисловості. Даний насос забезпечує подачу молока до 3500 л/год при частоті обертання 3000 об/хв. Кавітаційний запас насосу складає 1,5 м, коефіцієнт корисної дії – 38%.

Таблиця 1

Результати розрахунку параметрів лабораторної установки імпульсного гомогенізатора

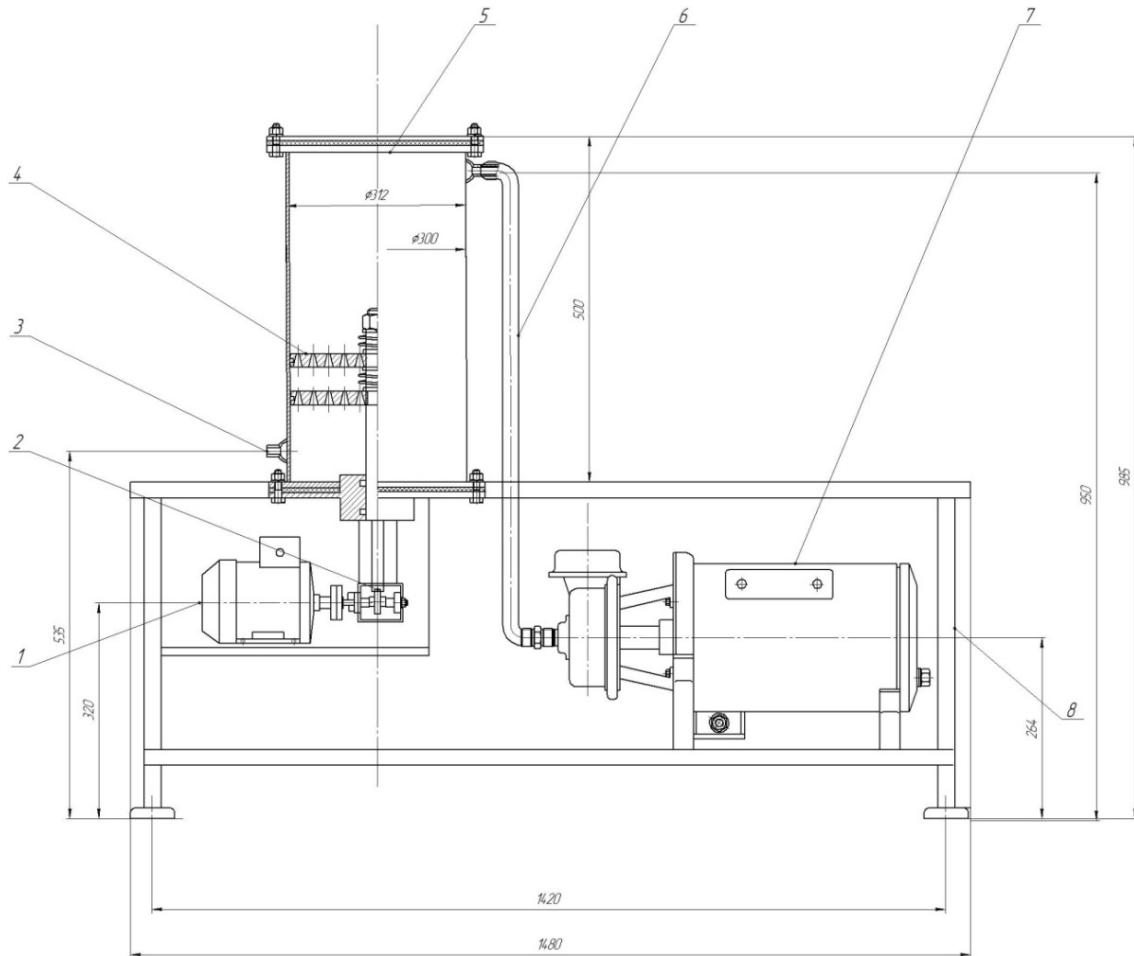
Продуктивність гомогенізатора Q , кг/год	Максимальне значення тиску імпульсів, МПа	Довжина робочої камери гомогенізатора, м	Діаметр робочої камери гомогенізатора, м	Потужність гомогенізатора, N , кВт
1800	1,5	0,5	0,3	2

Загальне креслення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора з насосом ОНЦ 1,5/15 представлено на рисунку 2.

Виготовлення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора повинно супроводжуватись дотриманням певних вимог до матеріалів, які використовуються [13, 14]. Деталі та вузли установки, які в процесі роботи безпосередньо контактують з продуктом (ємність, робоча камера, шток, поршень-ударник, верхня кришка, нижня кришка, патрубок) мають бути виготовлені з високоякісної харчової нержавіючої сталі, яка не викликає окиснення та не впливає на смакові властивості готового продукту. Трубопровід повинен виконуватися із спеціального типу ПВХ, який призначений для контактування з харчовою сировиною. Перепускні вентиля обираються з легованої корозійної харчової сталі або латуні або міді, які не окислюються та можуть витримати необхідний тиск під час роботи лабораторної установки.

Основною задачею подальшого проведення експериментальних досліджень є: обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторної установки імпульсного гомогенізатора для отримання максимального ступеня гомогенізації при мінімальних енерговитратах на процес.

Висновки. На сьогоднішній день найрозповсюдженіший тип обладнання, яке використовується для гомогенізації характеризується своїми високими затратами енергії на процес, актуальним залишається питання дослідження та розробки енергоефективного технологічного обладнання для гомогенізації, яке дозволить отримати продукти високої якості при значно нижчих витратах на процес. Попередні



1 – електродвигун; 2 – кривошип; 3 – робоча камера гомогенізатора; 4 – шток з поршнями-ударниками; 5 – трубопровід для подачі молока в камеру; 6 – ємність для сировини; 7 – насос; 8 – зварний каркас; 9 – ємність для готового продукту.

Рисунок 2. Креслення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора

дослідження дозволили встановити, що підходящим варіантом обладнання є імпульсний гомогенізатор. Були проведені теоретичні розрахунки основних конструктивних параметрів лабораторної установки імпульсного гомогенізатора, які дозволили встановити, що продуктивність даної установки складає 1800 кг/год, максимальне значення тиску становить 1,5 МПа, а потужність гомогенізатора – 2 кВт. Розроблено креслення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора та приведено основні вимоги до матеріалів при його виготовленні. В подальшому планується проведення експериментальних досліджень з метою обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторної установки імпульсного гомогенізатора для отримання максимального ступеня гомогенізації при мінімальних енерговитратах на процес.

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи



"Розроблення технології переробки молочних продуктів з використанням нових типів гомогенізаторів", яка фінансується МОН за договором № ДЗ/132 - 2022.

Список використаних джерел

1. Walstra P, Wouters J T M., Geurts T J. Homogenization. In: Dairy Science and Technology. Second Edn. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton London New York. 2006. 279 p.
2. Huppertz T. Homogenization of Milk | Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)*. 2011. P. 761–764.
3. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.
4. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип.16. Т.1. С. 9–15.
5. Innings F., Trägårdh C. Visualization of the Drop Deformation and Break-Up Process in a High Pressure Homogenizer. *Chemical Engineering & Technology*. Volume 28, Issue 8, August, 2015. Pages 882–891. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ceat.200500080>
6. Liu C., Li M., Liang C., Wang W. Measurement and analysis of bimodal drop size distribution in a rotor-stator homogenizer. *Chemical Engineering Science*. 2013. Vol. 102. P. 622–631. ISSN 0009-2509. DOI: 10.1016/j.ces.2013.08.030
7. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій : автореф. дис. на здобуття ступеню д-ра техн. наук: 05.18.12. Харківський держ. ун-т харч. та торгівлі. Харків. 2018. 44 с.
8. Jahnke Stefen. Homogenisieren faserhaltiger produkte. *Labor Praxis*. 2001. №7. P. 24–28.
9. Glawdel T., Elbuken C., CL Ren I. Droplet formation in microfluidic T-junction generators operating in the transitional regime. Experimental observations. *Physical Review E*, 2012. APS.
10. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. с. 26-34. DOI: 10.31388/2078-0877-20-1-26-34
11. Самойчук К. О., Івженко А. О., Султанова В. О. Дослідження імпульсного гомогенізатора молока. *Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: тези доповідей міжнар. наук.–практ. конф.*, 8–11 вер. 2015 р. Мелітополь–



Кирилівка: ХДУХТ, 2015. С. 91–92.

12. Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Циб В. Г., Антонова Г. В. Використання імпульсного гомогенізатора в молочній промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 12–17. DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-12-17

13. Loncin M., Merson R. *Food Engineering. Principles and Selected Applications*. New York: Academic Press, 1979. 279 p.

14. Kessler A. *HG Food and bioprocess engineering: dairy technology*. Germany. Verlag. 2002. V.5. P. 694.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

N. Palianychka, V. Verkholyantseva, O. Chervotkina, A. Kovalov
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

JUSTIFICATION OF THE DEVELOPMENT OF THE LABORATORY INSTALLATION OF THE PULSE HOMOGENIZER

Summary

Homogenization is a technological process that makes it possible to obtain a homogeneous mixture from ingredients that normally do not mix. It is used in agriculture, chemical, processing, pharmaceutical, and cosmetology industries. However, it was most widely distributed in the food industry. It is used to process products in a liquid and pasty state, which are very poorly mixed with each other (egg melanges, sauces, "milk base - vegetable fat" mixtures, etc.). Thanks to this, the finished product acquires uniformity and does not delaminate during long-term storage and transportation. The equipment used for homogenization is called a homogenizer. Since the most common type of equipment used for this process is characterized by its high energy costs for the process, the issue of research and development of energy-efficient technological equipment for homogenization, which will allow obtaining high-quality products at significantly lower costs for the process, remains relevant. Previous theoretical research allowed us to establish that a pulse-type homogenizer can obtain a final product with a high degree of dispersion and at the same time low energy consumption for the process. In order to check the performance of this type of technological equipment and conduct experimental research, a laboratory installation of a pulse homogenizer should be created. In this article, the expediency of manufacturing a laboratory sample of a pulse homogenizer was substantiated, the principle of operation of the equipment was described, and the method of calculating the main structural parameters of a laboratory unit of a pulse homogenizer was given. As a result of the calculation, it was established that the productivity of the installation is 1800 kg/h, the maximum pressure value is 1.5 MPa, and the power of the homogenizer is 2 kW. In addition, the drawings of the pulse homogenizer laboratory installation and the main requirements for materials in its production are given.

Keywords. Homogenization, pulse homogenizer, laboratory setup, experimental studies of quality, energy consumption, degree of homogenization.



УДК 637.134

О. О. Ковальов, к.т.н., ст. викл.,

ORCID: 0000-0002-4974-5201

К. О. Самойчук, д.т.н, проф.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Н. О. Фучаджи, к.т.н., ст. викл.

ORCID: 0000-0001-9433-6282

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua, тел.: 096-320-55-31

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННИХ ГОМОГЕНІЗАТОРІВ МОЛОКА

Анотація. В статті було запропоновано методологію дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока. Розроблено та наведено структурну схему проведення досліджень параметрів гомогенізаторів молока струминного типу. Наведено деталізований опис програми теоретичних досліджень та стадій її розробки. Представлено етапи розробки програми проведення експериментальних досліджень, що включають комплекс дій від обрання змінних факторів до визначення оптимальних величин цих параметрів та залежностей, що пов'язують їх з показниками якості та енергетичних витрат гомогенізатора. Наведена методологічна основа розробки методики обчислення параметрів промислового зразку та оцінки ефективності його впровадження в умовах реального виробництва.

Ключові слова: методологія, параметри, диспергування, канал подачі, вершки, струминний гомогенізатор, молоко

Постановка проблеми. Диспергування за рахунок зменшення середнього діаметру жирових кульок забезпечує рівномірний розподіл вершків в молочній плазмі [1]. Її метою є зменшення середнього діаметру жирових кульок з 3–4 мкм до 0,75–0,85 мкм в готовому продукті, такі показники дисперсності знаходяться на рівні вимог нормативної документації, що регулює показники якості молочних виробів після переробки [2,3]. Між тим, найбільш поширені в промисловості клапанні гомогенізатори, що забезпечують СЖК на рівні 0,75–0,80 мкм мають надто високі питомі витрати електричної енергії, що сягають близько 7–8 кВт·год/т переробленого молока [4]. Відсоток енергетичних витрат на диспергування складає близько 30–40% в загальних технологіях переробки молока та молочних продуктів



[1–4]. Отже, зниження енергоємності процесу являє собою актуальну та важливу задачу для спеціалістів переробної галузі та науковців за фахом.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження гомогенізації в сучасних конструкціях, які забезпечують високу енергоефективність диспергування характеризується складністю візуального спостереження за їх деформацією та подальшим руйнуванням. Це пояснюється високими швидкостями руху молока (що для клапанного гомогенізатора перевищують 100 м/с), низьким ступенем прозорості молочної емульсії та мікроскопічними показниками середнього діаметру жирових кульок, що складають близько 1 мкм [2]. Сукупна дія цих чинників обумовила відсутність єдиної теорії диспергування та дозволила дослідникам процесу висунути близько 10 гіпотез, що мають суперечності та частково спростовують одна іншу [1, 4]. Створені на базі цих гіпотез конструкції або відрізняються високими значеннями питомих витрат енергії (мікрофлюїдизатори, клапанні), або не забезпечують зменшення СЖК до 0,75–0,85 мкм (вібраційні, електрогідравлічні, вакуумні) [2, 5].

Результати останніх досліджень дозволяють виділити в якості основного чинника, що спричинює деформацію та руйнування жирових кульок критерій Вебера. Його значення зростає при збільшенні швидкості ковзання жирових кульок відносно молочної плазми. Відтак створення енергоефективних конструкцій гомогенізаторів має ґрунтуватись на створенні максимальної різниці між швидкостями руху знежиреного молока та вершків. Одночасно зі створенням сприятливих умов для руйнування жирових кульок при цьому використовується принцип роздільної подачі вершків, що дозволяє знизити енергетичні витрати процесу на 40–60% [1, 3]. Цим вимогам відповідає група струминних гомогенізаторів молока. Їх використання забезпечує зменшення середнього діаметру жирових кульок до 0,75–1,20 мкм, при цьому питомі енерговитрати таких конструкцій не перевищують 0,9–1,8 кВт·год/т [6, 7]. Однак незважаючи на перспективність розробки енергоефективних конструкцій цієї групи гомогенізаторів на теренах Інтернету відсутня узагальнююча інформація щодо методології проведення їх досліджень. Цей факт пригальмовує подальші дослідження та розробку енергоефективних конструкцій диспергаторів цієї групи.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Отже метою даної статті є розробка методології дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

– розробка структурної схеми проведення досліджень струминного гомогенізатора молока;



– розробка програми теоретичних досліджень, метою яких є обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторного зразку гомогенізатора для отримання дисперсності молочної емульсії, на рівні технологічних вимог при мінімальних енерговитратах процесу;

– розробка програми експериментальних досліджень, головною метою яких є перевірка адекватності отриманих аналітичних залежностей лабораторного зразку струминного гомогенізатора молока, встановлення реальних значень введених коефіцієнтів, перевірка та при необхідності уточнення значення критерію Вебера;

– розробка методики обчислення параметрів та конструкції промислового зразка гомогенізатора.

Основна частина. Аналіз літературних джерел дозволив визначити, що проведення досліджень руйнування жирових кульок в струминних гомогенізаторах являє найбільш перспективний напрямок підвищення енергоефективності диспергування в технологічних процесах переробної промисловості. До групи струминних гомогенізаторів молока належать: струминний в об'ємі, струминно-ударний, струминний із зустрічною подачею вершків, протитечіно-струминний (ПСГМ), струминний з роздільною подачею вершків (СГРПВ) та струминно-щілинний диспергатори молока (СЦГМ). Останні 3 конструкції були розроблені на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф. Ю. Ялпачика (ТДАТУ імені Дмитра Моторного) [3,6].

Диспергування жирової фази в ПСГМ здійснюється при зіткненні струменів молока, що подаються крізь дві співвісно розташовані форсунки. Конструктивні особливості будови гомогенізатора дозволяють створити високу швидкість ковзання жирової кульки по відношенню до молочної плазми [8]. Це призводить до підвищення значень гідродинамічного критерію Вебера, що обумовлює ефективне руйнування часток жирової фази. Згідно результатів досліджень [6] при переробці молока в ПСГМ середнього діаметру жирових кульок складає близько 0,75–0,85 мкм, при цьому його питомі енерговитрати не перевищують 1,6–1,8кВт·год/т [6].

В СГРПВ після попередньої сепарації знежирене молоко та вершки подаються окремо, до швидкісного потоку знежиреного молока подається струмінь вершків [9]. Завдяки використанню тонких каналів подачі вершків та малого діаметру струменю забезпечується висока швидкість ковзання жирових кульок. Збільшення гідродинамічного критерію Вебера обумовлює зниження середнього діаметру жирових кульок при використанні гомогенізаторів цього типу до 0,80–0,90 мкм [6,9]. Використання принципу роздільної подачі вершків забезпечує зниження питомих енерговитрат таких конструкцій до 0,85–0,90кВт·год/т [9].

В СЦГМ дисперсна фаза подається до швидкісного потоку



знежиреного молока, що пройшло попередню сепарацію, крізь вузьку кільцеву щілину. Згідно результатів проведених досліджень при його використанні можливо отримати жирові кульки середнім діаметром 0,8–0,9 мкм. При цьому питомі енергетичні витрати гомогенізатора не будуть перевищувати 0,7–0,8 кВт·год/т гомогенізованої емульсії [3].

В ході подальших досліджень необхідно розробити структурну схему досліджень, загальний вигляд якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Структурна схема проведення досліджень



Як бачимо зі структурної схеми досліджень (табл.1) теоретичні дослідження потрібно починати зі створення моделі зменшення середнього діаметра жирових кульок в гомогенізаторі. Вона включає дослідження сил, які діють на жирову кульку при її русі відносно молочної плазми, що необхідно для визначення чинників руйнування. Після складання рівняння руху жирової кульки, слід визначити основні механізми, за якими відбувається диспергування жирової фази молочної емульсії. На цьому етапі перевіряються і другорядні чинники, які можуть відігравати важливу роль в процесі диспергування (кавітація, турбулентні пульсації, подрібнення за відсутності вдару) [10].

Визначення раціональних та оптимальних значень конструктивних, гідравлічних та технологічних параметрів з точки зору зменшення подальшої кількості пошукових експериментів та загального обсягу досліджень доцільно починати з проведення моделювання. Серед програм, які використовуються для моделювання гідродинамічних процесів COSMOS, AutoCAD, Solid Works. Програмний комплекс кінцево-елементного аналізу ANSYS було обрано завдяки наявності таких переваг, як висока точність програми; можливість оперування великою кількістю параметрів процесу, забезпечення при використанні програми значень густини, в'язкості знежиреного молока та вершків, які є найбільш наближеними до їх реальних значень [11,12]. Спочатку авторами в програмному комплексі Solid Works було створено геометрично параметризовану модель камери, струменю вершків та потоку знежиреного молока, які згодом було інтегровано до програмного комплексу ANSYS [13,14].

Після обрання програмного комплексу проводиться обґрунтування межі варіювання значень параметрів, які будуть досліджуватись. Для ПСГМ ними можуть бути, наприклад відстань між форсунками, тиск диспергування, для СГРПВ відповідно тиск подачі знежиреного молока та діаметр каналів подачі вершків, для СЦГМ окрім тиску подачі дисперсійної фази ($\Delta p_{зн}$), ширина кільцевої щілини (h) (рис.1).

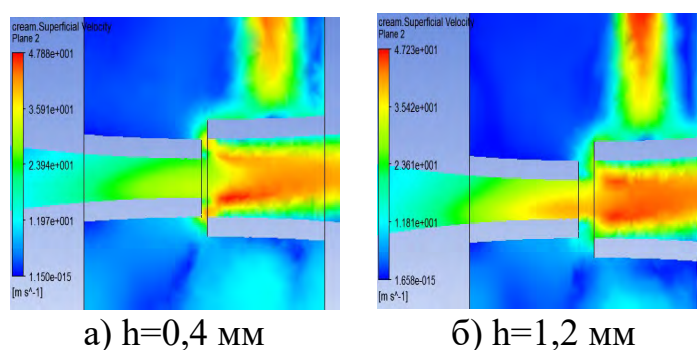


Рисунок 1. Поля швидкостей при тиску подачі знежиреного молока $\Delta p_{зн}=8$ МПа та ширині кільцевої щілини h

На етапі проведення аналітичних досліджень важко оцінити вплив деяких факторів на показники якості процесу диспергування. Тому для оцінки значення реальних величин можна використовувати неявні залежності (коефіцієнти) впливу параметрів, у СГПРВ каналів подачі вершків, у СЦГМ, відповідно параметрів кільцевої щілини [6,9]. Цей коефіцієнт ($k_{щ}$) у випадку СЦГМ уточнював вплив жирності вершків, ширини кільцевої щілини та швидкості подачі вершків на показники якості диспергування в СЦГМ [3,9].

Наступним кроком є знаходження залежностей, що пов'язують конструктивні, технологічні та гідравлічні параметри досліджуваного гомогенізатора з середнім діаметром жирових кульок (d_{cp}) після диспергування. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: залежності класичної гідродинаміки, теорії затоплених струменів, граничного шару Шліхтінга, локальної ізотропної турбулентності Колмогорова-Обухова. Наприклад, для СГПРВ така залежність має вигляд (1) [3, 15]

$$d_{cp} = \frac{We_k \sigma_{ж-п} \varepsilon_k^2 s^2}{2 \rho_{пл} k_c^2 Q_{zn}^2}. \quad (1)$$

де We_k – критичне значення критерію Вебера;

k_c – коефіцієнт струминної гомогенізації;

$\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг на межі розділу жиру та плазми, Н/м;

ε_k – коефіцієнт стиснення для центральної частини камери, який залежить від форми профілю внутрішніх поверхонь камери;

s – площа каналів подачі вершків, м²;

Q_{zn} – подача знежиреного молока, м³/с;

$\rho_{пл}$ – густина молочної плазми, кг/м³.

Отримана формула (1) може бути представлена в вигляді графічних залежностей, що дає змогу визначити раціональні величини параметрів процесу диспергування з точки зору мінімізації середнього діаметру жирових кульок. На підставі отриманої залежності (1) можна виразити до яких значень мають прямувати параметри процесу диспергування для забезпечення мінімально можливих величин середнього діаметру жирових кульок після диспергування (2) [3]

$$(We_k, \sigma_{ж-п}, \varepsilon_k, d_k) \rightarrow \min; (k_{щ}, Q_{zn}) \rightarrow \max.. \quad (2)$$

Наступним кроком є аналітичне знаходження залежностей, які пов'язують конструктивні, гідравлічні та технологічні параметри гомогенізатора з потужностями для його приводу (від гідроциліндру у випадку ПСГМ та від насосів подачі знежиреного молока та вершків у випадку СГПРВ та СЦГМ) та питомими енерговитратами диспергування. Така залежність може мати вигляд, подібний до формули, що пов'язує параметри гомогенізатора та питомі витрати



енергії для СЦГМ (3) [3,15]

$$E_{пит} = \frac{Q_{зн}^2 \left(\frac{8 \cdot \rho_{зн}}{\mu_k^2 \cdot d_k^4} + \left(\frac{Ж_n - Ж_{зн}}{Ж_в - Ж_n} \right)^3 \cdot \frac{\rho_в}{2 \cdot d_k^2 \cdot h^2 \cdot \mu_{щ}^2} \right)}{\pi^2 \cdot \rho_m \cdot \left(\frac{Ж_в - Ж_{зн}}{Ж_в - Ж_n} \right)} \quad (3)$$

де ρ_m – густина молочної плазми, кг/м³;

d_k – діаметр конфузору в місці найбільшого звуження, м.

$\rho_в$ – густина вершків, кг/м³;

h – ширина кільцевої щілини, м;

$Ж_{зн}$, $Ж_в$, $Ж_n$ – жирності відповідно знежиреного молока, вершків та нормалізованої емульсії, %;

μ_k , $\mu_{щ}$ – коефіцієнти витрат відповідно конфузора та кільцевої щілини, які враховують гідродинамічні умови на ділянці надходження вершків до потоку знежиреного молока.

Отримана формула (3) може бути представлена в вигляді графічних залежностей, що дає змогу визначити раціональні величини параметрів процесу диспергування з точки зору мінімізації питомих витрат енергії. Залежність (3) дає змогу виразити до яких значень мають прямувати параметри процесу диспергування для забезпечення мінімально можливих величин питомих витрат енергії (4).

$$\begin{aligned} (\mu_k, \mu_в, h, Ж_в) &\rightarrow \max \\ (Q_{зн}, Ж_n) &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (4)$$

Отриманих даних достатньо для проведення оптимізації. Процес диспергування молока в має забезпечувати зменшення середнього діаметра жирових кульок до рівня 0,75–0,80 мкм при мінімальних енергетичних витратах. Гідравлічні, конструктивні і технологічні параметри гомогенізатора, які відповідають таким вимогам, будемо вважати оптимальними. Для визначення оптимальних параметрів гомогенізатора молока необхідно побудувати лінії рівної дисперсності на графіках залежностей питомих витрат енергії $E_{пит}$ при різних величинах раціональних значень довжини кільцевої щілини $l_{щ}$ (8,4–9,4) і різних формах профілю внутрішніх поверхонь конфузору, визначених при проведенні аналітичних досліджень струминно-щілинного гомогенізатора [15]. Після цього за даними, визначеними з експериментальних графіків на рівні, необхідному для забезпечення середнього діаметра жирових кульок на рівні вимог нормативної документації проводиться лінія рівної дисперсності, позначена на обох графіках суцільною лінією [16]. На перетині лінії рівної дисперсності, що має значення 0,8 мкм з кожною з кривих у легенді, знаходимо відповідні значення питомих витрат енергії. Нанесемо знайдені

значення питомих витрат енергії на попередньо побудовані графіки залежності питомих витрат енергії гомогенізатора від довжини кільцевої щілини при різних типах внутрішнього профілю конфузору [15].

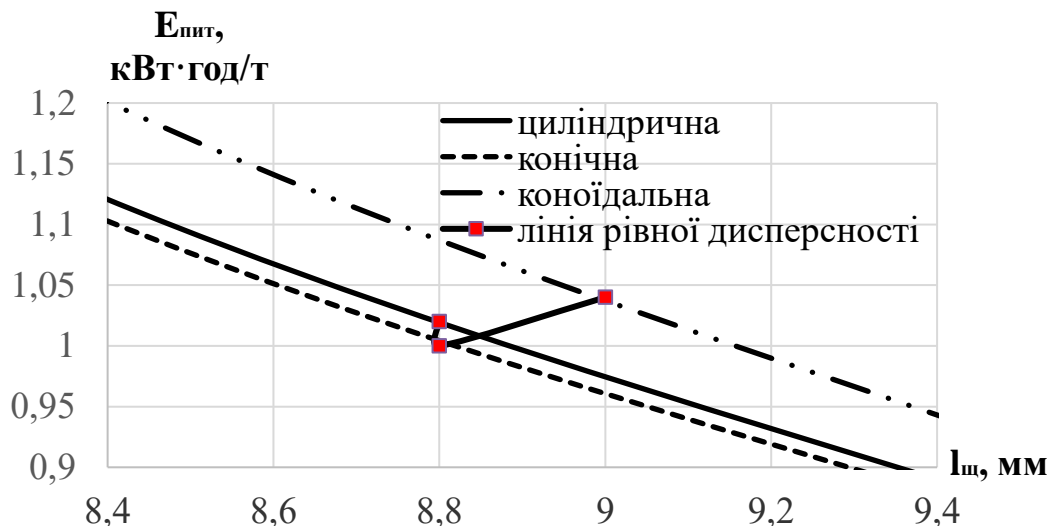


Рисунок 2. Оптимізація форми внутрішніх поверхонь камери та діаметра конфузору в місці найбільшого звуження камери струминно-щілинного гомогенізатора молока (при $J_{зн}=0,05\%$; $J_{н}=3,5\%$; $J_{в}=40\%$; $h=0,5$ мм; $\mu_{в}=0,1$; $Q_{г}=1000$ кг/год)

Перед проведенням експериментальних досліджень визначаються сталі та обираються змінні фактори процесу, як показано на рис.3 для СЦГМ.

Наприклад у випадку з СГПРВ ними були швидкості подачі знежиреного молока, вершків, жирність вершків, площа каналів подачі вершків тощо. Після цього здійснювалось обґрунтування діапазону варіювання кожного зі змінних факторів процесу. Наприклад жирність характеризує відсоткову кількість жирової фази в загальному об'ємі вершків [17]. При використанні вершків жирністю нижче за 10% спостерігається суттєве зростання питомих енерговитрат [18]. Це пов'язано з необхідністю подачі жирової фази з більшою швидкістю для забезпечення необхідної жирності нормалізованого продукту. Також не рекомендовано використовувати вершки, жирність яких перевищує 50% [19]. Це пов'язано зі значним зростанням витрат енергії, що необхідні для проведення додаткової гомогенізації при використанні вершків високої жирності [20].

Отриманих даних досліджень достатньо для здійснення обґрунтування схеми лабораторного зразку гомогенізатору та

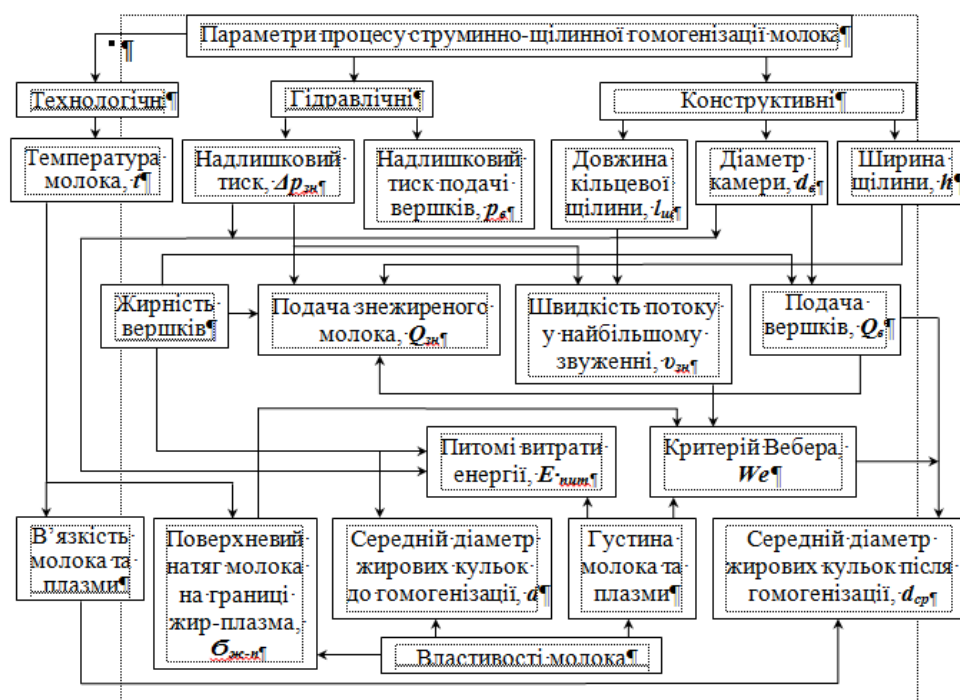


Рисунок 3. Блок-схема взаємозв'язку основних факторів, вихідних параметрів та критеріїв оптимізації в струминно-щілинному гомогенізаторі молока

створення його в металі. Наступним кроком є планування експерименту за рівнями варіювання факторів та обґрунтування вибору засобів контролю параметрів при проведенні експериментальних досліджень. На цьому ж етапі відбувається обґрунтування методів контролю якості гомогенізації. Обраний метод мікрофотографування дозволяє не тільки визначати середній діаметр жирових кульок, а й оцінити їх розподіл за розмірними групами. Дисперсний склад жирових кульок після гомогенізації визначався за допомогою оптичного мікроскопу Микромед Р-1-LED загальною кратністю збільшення 1500 крат. До нього приєднувалась цифрова камера Mustek Wcam 300 з роздільною здатністю 640x480 [6,9].

З отриманих при проведенні експериментальних досліджень даних були складені матриці, які оброблялися на персональному комп'ютері за допомогою програм Mathcad [12] та Microsoft Office Excel 2010 за обраною методикою. Розраховувались дисперсії достовірності, однорідність дисперсії за критерієм Кохрена). Перевірку значущості коефіцієнтів отриманих рівнянь регресії проводили за критерієм Стюдента, а похибку апроксимації дослідних даних – за критерієм Фішера. Рівень значущості приймали рівним 0,05.

Отримані дані заносились до спеціальних таблиць, згідно розмірних класів, де до кожного класу належала група жирових кульок певного розміру. За визначальний розмір класу приймався

максимальний розмір жирової кульки даної групи [15]. У полі зору мікроскопа підраховувались кількість жирових кульок та їх діаметр. Шляхом оцінки максимальних коливань діапазону значень результатів дослідів виключалися грубі помилки вимірів [12]. Внаслідок обробки було отримано розподіл розмірів жирових кульок в інтервалі класу за їх кількістю шляхом обробки сукупності одиниць, відібраних для контролю з партії. Обчислення основних параметрів вибірки, виконувалось за допомогою програми Microsoft Office Excel 2010 [12].

Отримані результати можуть бути представлені в вигляді графічних залежностей, що дає змогу визначити раціональні та оптимальні величини параметрів процесу диспергування з точки зору отримання продукту з мінімальними значеннями середнього діаметра жирових кульок СЦГМ (рис.4) або мінімізації питомих витрат енергії.

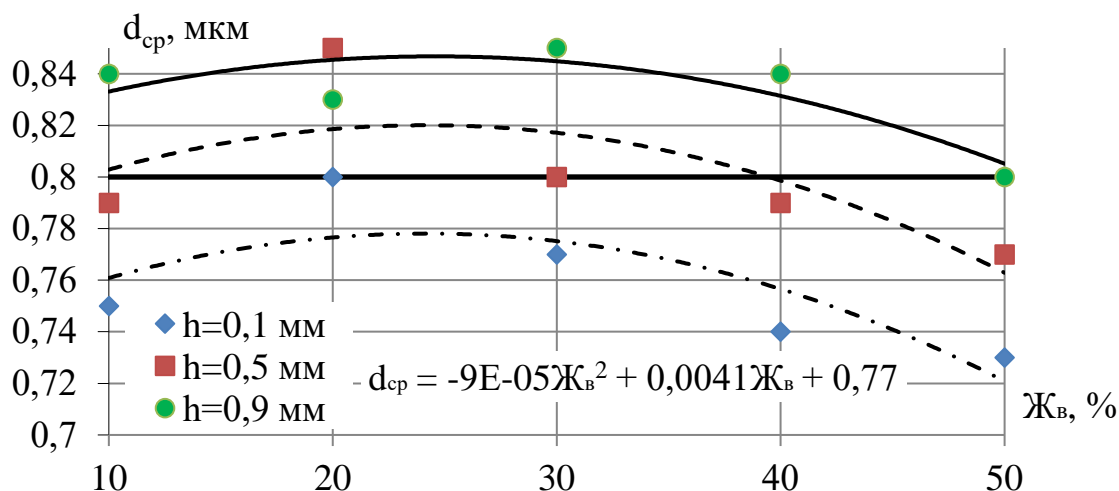
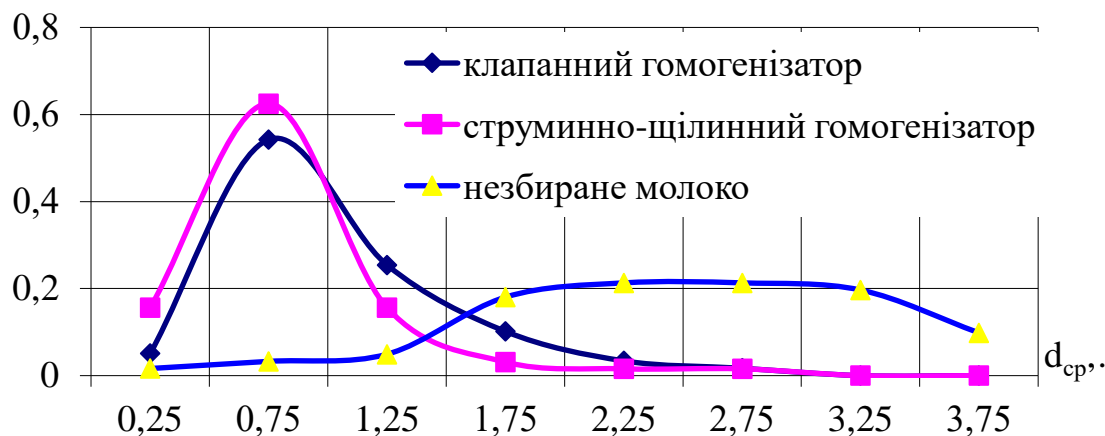


Рисунок 4. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок d_{cp} від жирності вершків $Ж_v$, та ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження h при $Ж_n=3,5$ %, $d_k=3$ мм, $v_{zn}=60$ м/с

Для знайдених раціональних параметрів гомогенізатора, після аналізу мікрофотографій будувалась гістограма розподілу середнього діаметра жирових кульок по розмірних групах, визначалась дисперсія та коефіцієнт варіації, як для СЦГМ (рис.5) [9]

Оскільки на етапі аналітичних досліджень для уточнення впливу параметрів каналу подачі вершків у СГПРВ та кільцевої щілини у СЦГМ вводились коефіцієнти, наприкінці експериментальних досліджень проводилось визначення реального значення цих величин. Проведене на основі отриманих емпіричних даних прогнозування, виконане методом екстраполяції експериментальних даних, дозволило знайти уточнене критичне значення критерію Вебера для диспергування молока, яке складає 29 [15]. Знайдене значення необхідне для розробки математичних моделей процесу диспергування молочного жиру та дослідження більш ефективних конструкцій



a – після струминно-щілинної гомогенізації; *б* – після струминної гомогенізації з роздільним подаванням жирової фази; *в* – необробленого молока

Рисунок 5. Гістограма розподілу середнього діаметру жирових кульок за розмірними групами.

гомогенізаторів молока.

Наступним етапом було проведення розробки методики розрахунку параметрів промислового зразку гомогенізатора. В ньому враховуються уточнені значення коефіцієнтів впливу параметрів відповідно каналу подачі вершків для СГПРВ та кільцевої щілини для СЦГМ та критерію Вебера. Вихідними технологічними даними для розрахунку параметрів СГПРВ з використанням нормалізації за жирністю були [3,6,15]:

– необхідний середній діаметр жирових кульок молока d_{cp} після гомогенізації;

– загальна продуктивність струминного агрегату, мінімальні значення якої для промислового зразку складають 1000 кг/год, або $2,8 \cdot 10^{-4}$ кг/с;

– жирність знежиреного молока, що для процесів нормалізації знаходиться на рівні 0,05%;

– жирність вершків, що задана технологічними вимогами проведення процесу та згідно результатів аналітичних досліджень для отримання високого ступеню дисперсності має дорівнювати 30–50%.

З вихідних даних послідовно розраховуються середній діаметр жирових кульок після диспергування, необхідна кількість знежиреного молока та вершків для отримання нормалізованої емульсії з заданим відсотком жирності. Визначався діаметр камери в місці найбільшого звуження, діаметр та необхідна кількість каналів подачі вершків, надлишкові тиски та швидкості подачі знежиреного молока та вершків. Після цього обчислювались необхідні потужності приводів насосів подачі знежиреного молока та вершків з врахуванням ККД насосів, редукторів і передач між насосами та обчислювались питомі витрати



енергії в діапазоні продуктивності промислових гомогенізаторів 1-10 т/год. Отримані дані зводились до таблиці, загальний вигляд якої для СГПРВ наведено в табл.2 [3]

Таблиця 2

Розрахункові дані типорозмірів СГПРВ

Продуктивність, Q_g , т/год	Діаметр камери $d_{кам}$, мм	Діаметр каналу верхків d_v , мм	Кількість каналів N	Потужність насоса верхків, P_v , кВт	Потужність насоса знежир. молока, $P_{зн}$, кВт	Сумарна потужність, P , кВт	Питоме енергоспоживання, $E_{пит}$ кВт·год/т
1,0	2,2	1,4	2	0,10	0,7	0,8	0,8
2,5	3,6	2,2	2	0,18	1,8	2,0	0,8
5,0	5,0	3,0	2	0,35	3,6	4,0	0,8
10,0	4,4	2,8	2	0,72	7,2	7,9	0,8

Отримані результати дали необхідну інформацію для розробки рішення промислового зразку, обрання необхідних технологічних ємностей, камери гомогенізації, насосів, двигунів, редукторів, з'єднувальної арматури та контрольно-регулюючої апаратури [12]. Розроблені та втілені в металі промислові зразки гомогенізатора проходили випробування та перевірку показників роботи в умовах масложирового комбінату «Південний». Отримані при випробуванні техніко-економічні показники використовувались для оцінки економічної ефективності впровадження результатів досліджень в якості заміни найбільш енерговитратним конструкціям клапанних гомогенізаторів. Обчислення економічної ефективності проводилось за загальноприйнятою методикою з визначенням річного економічного ефекту, ступеню зниження енерговитрат, терміну окупності тощо.

Висновки. Необхідність розробки методології досліджень параметрів струминних гомогенізаторів молока обумовлена відсутністю узагальнюючої інформації, що полегшує проведення досліджень нових типів енергоефективних гомогенізаторів цієї групи. Розроблена структурна схема проведення досліджень структурує послідовність дій, які повинен виконати науковець для перевірки робочої гіпотези досліджень.

Детальний опис етапів програми аналітичних досліджень та стадій її розробки дозволяє скоротити час, який раніше витрачався на планування етапів проведення досліджень. Надана послідовність розробки та реалізації програми проведення експериментальних досліджень дозволяє скоротити обсяг досліджень до необхідної та



достатньої кількості для перевірки адекватності залежностей, отриманих аналітичним шляхом.

Рекомендації відносно розробки методики обчислення параметрів та розробки промислового зразка узагальнюють інформацію, здобуту авторами при проведенні досліджень створених на базі кафедри ОПХВ новітніх конструкцій енергоефективних гомогенізаторів молока. Матеріали статті можуть бути використані при проведенні досліджень перспективних та малодосліджених конструкцій диспергаторів, наприклад струминного гомогенізатора молока з зустрічною подачею вершків.

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи "Розроблення технології переробки молочних продуктів з використанням нових типів гомогенізаторів", яка фінансується МОН за договором № ДЗ/132 - 2022.

Список використаних джерел

1. Liao, Y. X., Lucas, D. A literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions. *Chem. Eng. Sci.*, 2009. 64, pp 3389–3406.

2. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом. 2007. 264 с.

3. Ковальов О. О. Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. ТДАТУ. Мелітополь, 2021. -20 с.

4. Huppertz T. Homogenization of Milk|Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd Edition, 2011. pp 761–764.

5. Innings, F.; Trägårdh, C. Visualization of the drop deformation and break-up process in a high pressure homogenizer. *Chem. Eng. Technol.* 2005, 28, 882–891.

6. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: автореф. дис ... док. техн. наук: 05.18.12// – Харків, 2018 . 44 с.

7. Håkansson, A., Fuchs, L., Innings, F., Revstedt, J., Trägårdh, C., Bergenståhl, B. Velocity measurements of turbulent two-phase flow in a high-pressure homogenizer model. *Chemical Engineering Communications*, 2013. 200, 93-114 pp.

8. Haponiuk, E.; Zander, L.; Probola, G. Effect of the homogenization process on the rheological properties of food emulsions. *Pol. J. Nat. Sci.* 2015, 30, 149–158.



9. Kovalyov A., Samoichuk K., Palyanychka N., Verkholtantseva V., Yanakov, V. Experimental investigations of the parameters of the jet milk homogenizer with separate cream supply. *Technology audit and production reserves*. 2017. 3/3 (35). Pp. 33–39.

10. Jiang, B., Shi, Y., Lin, G., Kong, D., Du, J. Nanoemulsion prepared by homogenizer The CFD model research. *Journal of Food Engineering*, 2019. 241, Pp. 105–115

11. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*, 2014. 4(5), Pp. 1–8.

12. Дідур В. А., Савченко О. Д., Журавель Д. П., Мовчан С. І. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. Підручник. К: Аграрна освіта. 2008. 577 с.

13. Ward K., Fan Z. H. Mixing in microfluidic devices and enhancement methods. *Journal of Micromechanics and Microengineering* 2015. 25.

14. Walstra P, Wouters J T M and Geurts T J. Homogenization. In: *Dairy Science and Technology*. Second Edn. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton London New York. 2006, p. 279.

15. Samoichuk K., Kovalyov A., Fuchadzhy N., Hutsol T., Jurczyk M., Pająk T., Banaś M., Bezalychna O., Shevtsova A. Energy Costs Reduction for Dispersion Using a Jet-Slot Type Milk Homogenizer. *Energies* 2023, 16, 2211.

16. Jiang, B., Shi, Y., Lin, G., Kong, D., Du, J. (2019). Nanoemulsion prepared by homogenizer The CFD model research. *Journal of Food Engineering*, 241, Pp. 105–115.

17. Morales, J.; Watts, A.; McConville, J. Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci. Ser.* 2016, 22, 165–213.

18. Postelmans, A.; Aernouts, B.; Jordens, J.; Van Gerven, T.; Saeys, W. Milk homogenization monitoring: Fat globule size estimation from scattering spectra of milk. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020, 60, 102311.

19. Yanga, B.; Zhua, Z.; Gaoa, M.; Yana, X.; Zhua, X.; Guo, W. A portable detector on main compositions of raw and homogenized milk. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 177, 105668.

20. Tartar, L. (2009). *The General Theory of Homogenization*. Lecture Notes. *Springer*. P. 470.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023



A. Kovalov, K. Samoichuk, N. Fuchadzy
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

METHODOLOGY OF STUDYING THE PARAMETERS OF FLOW MILK HOMOGENIZERS

Summary

Increasing the energy efficiency of the process of dispersing milk emulsions is still one of the most urgent problems of the milk processing industry. According to the results of the latest research, it is possible to ensure a significant reduction in the specific energy consumption of the process while ensuring quality indicators at the level of valve homogenizers due to the introduction of jet milk homogenizers. The principle of operation of these structures is based on creating the maximum difference between the speeds of skimmed milk and cream, which is the basis of increasing the energy efficiency of the dispersion process. However, the more dynamic research process of homogenizers of this group is hindered by the lack of methodological foundations of the research, which were provided in this article.

The article proposed a methodology for researching the parameters of jet milk homogenizers. A structural scheme for researching the parameters of jet-type milk homogenizers has been developed and given. The given sequence of actions allows you to structure the process of studying the parameters of jet-type homogenizers. A detailed description of the theoretical research program and the stages of its development is provided. A set of actions is sequentially laid out, from the creation of a model of the destruction of a fat ball and simulation to the determination of rational and optimal parameters of the homogenizer.

The stages of development of the program for conducting experimental research are presented, which include a set of actions from the selection of variable factors to the determination of the optimal values of these parameters and the dependencies that connect them with the indicators of quality and energy costs of the homogenizer. The methodological basis for the development of the methodology for calculating the parameters of an industrial model and evaluating the effectiveness of its implementation in the conditions of real production is provided. The developed methodological bases for the study of jet milk homogenizers will allow the research of little-known designs, for example, a jet homogenizer with a counter supply of cream.

Key words: methodology, parameters, annular gap, supply channel, cream, jet homogenizer, milk



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-16

УДК 662.636:662.81

В. А. Самохвал,

ORCID: 0000-0001-5539-3647

К. О. Самойчук, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: 097-880-54-85

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВІДТИСКАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ В ГВИНТОВИХ ПРЕС-ЕКСТРУДЕРАХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена проблемою надмірного вмісту технічних олій в паливних брикетах які виготовлялись з оліємістких сировин, що впливає в значній мірі як на якість брикету так і на екологічні показники. Ця проблема характерна для різних видів конструкцій шнекових пресів для виготовлення паливних брикетів. У зв'язку з цим дане дослідження направлено на знаходження найбільш оптимальних методів виготовлення паливних брикетів на пресах даного типу та розробці і вдосконаленню їх конструкції з метою підняття якості готової продукції. Одними із головних видів для знаходження оптимального вирішення даної проблеми є, емпіричні методи дослідження, за допомогою яких проаналізовано методи та способи удосконалення та здійснена розробка більш інноваційного обладнання для виготовлення паливних брикетів з оліємісткої рослинної сировини. В роботі по вирішенню даної проблеми, проаналізовано особливості відомих конструкцій обладнання шнекового типу для виготовлення паливних брикетів з олієвмісної сировини, та обґрунтовано необхідність розроблення нових формуючих та дожимних робочих органів.

Ключові слова: виробництво брикетів, прес, геометричні параметри, формуючі насадки, вихід олії

Постановка проблеми. Більшість паливних брикетів в промисловості виробляється на великих промислових підприємствах із використанням різних видів пресового обладнання, значний відсоток якого складають шнекові прес-екструдери [1]. У нашій місцевості переважає сільське господарство яке направлене на вирощування таких культур як соняшник, соя, льон, рапс, коріандр, відходи яких гарно



підходять для виготовлення паливних брикетів. В сучасних економічних умовах величезне значення при будь-якому виробництві відіграє правильно обрана технологія переробки той чи іншої сировини а також підбір оптимального обладнання, це також відноситься і до пресового обладнання при виготовленні паливних брикетів. Так сільськогосподарські підприємства, які мають напрямок по виготовленню паливних брикетів з відходів оліє містких рослин все частіше застосовують механічний спосіб виготовлення продукції за допомогою шнекових прес-екструдерів [2], так як їх конструкція найбільш підходить для даного виду сировини та дає змогу частково відділяти технічні олії при формуванні брикету.

Процес виготовлення паливних брикетів з олієвмісної сировини, включає в себе процес відтискання технічної олії та є однією з важливих операцій при їх виробництві, від якої залежить якість продукції та її екологічні показники. В більшості випадків, при виготовленні паливних брикетів, відділення технічної олії здійснюють з попередньо підготовленого відходу олійних культур. Також застосовуються більш спрощені технологічних схеми, де весь процес виготовлення паливних брикетів виконує один прес. Преса діляться за типами конструкцій, використовуються як одно шнекові так і багато шнекові. Вони найчастіше використовуються в сільськогосподарських переробних підприємствах по виготовленню паливних брикетів з оліємістких культур. Даний тип пресового обладнання має велику популярність завдяки невеликій собівартості та можливості переобладнати екструдери під будь-які вимоги промисловості [3] шнекові преси для виготовлення паливних брикетів мають доволі просту конструкцію, та дуже прості в обслуговуванні, для їх обслуговування не потрібні висококваліфіковані технічні спеціалісти, а самі преси легко адаптувати під різні види сировини.

На даний час, головною митою при розробці нового пресового обладнання, є створення універсальних машин які б могли працювати з широким спектром сировини, мали мінімальні затрати енергоресурсів та були легкі в обслуговуванні та при цих всіх показниках мали гарний ресурс, та невелику собівартість. Для переналаштування роботи пресів даного типу з однієї сировини на іншу передбачають заміну окремих його деталей (шнеків, камер, вихідних насадок, матриць, органу остаточного формування, тощо) та налаштування окремих технологічних параметрів самого процесу під конкретний вид сировини, її вологість, структуру. У зв'язку з цим існує багато різноманітних пропозицій по удосконаленню – шнекового обладнання. Деякі пропозиції, частково або повністю реалізовані у вигляді серійних пресових агрегатів або окремих вузлів. Також розглядаються різні види оптимізації, при виконання тих чи інших процесів процесів.



В сфері виготовлення паливних брикетів з відходів сільського господарства, шнекове обладнання постійно вдосконалюють, головною метою є отримати обладнання яке давало конкуренто спроможну продукцію, та мало не великі енерговитрати на процес пресування. Одним з основних напрямків при розвитку пресового обладнання для виготовлення паливних брикетів є також удосконалення технологічного процесу шляхом одночасної дії різних фізико-механічних факторів на сировину. Конструктивні особливості шнекового обладнання передбачають в собі поєднання багатьох процесів в одному пресі, до яких відносять, подрібнення сировини, нагрівання з одночасним стискання, віджим технічних олій та формування брикету.

Аналіз останніх досліджень. Більшість наукових досліджень з теми виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини направлені на вивчення процесу взаємодії стану підготовки різних видів сировини з конструктивно-технологічними даними пресового обладнання [4]. Вони направлені на вдосконалення існуючого пресового обладнання та розробку нового більш інноваційного. На сьогоднішній день, в зв'язку з глобальним підвищенням цін на енергоносії швидко розвивається напрямок – виготовлення паливних брикетів з оліємістких відходів сільського господарства, що несе за собою постійний розвиток та удосконалення пресів здатних виготовляти паливні брикети та одночасно відтискати технічні олії. При цьому досліджено такі напрямки робіт: оптимізація технічного процесу виготовлення паливних брикетів з одночасним відтискання технічної олії; удосконалення конструкції пресового обладнання; підготовка сировини. Значна кількість досліджень спирається на досвіді та інтуїції виробників і операторів пресів. Хоча шнекове обладнання використовується уже багато років в різних сферах, але в даному напрямку промисловості мало розробок здатних працювати з широким спектром оліємістких сировин та поєднувати всі потрібні показники в одному пресі.

Якість готової продукції в значній мірі залежать від різних факторів, а тобто: роду та властивостей сировини, температури в робочих камерах та формуючому пристрої, вологості сировини, величина подачі та ступінь заповнення шнеків, їх форма та швидкість обертання ступінь піджиму регулюючої частини, від пристрою остаточного формування [5]. Оптимальний рівень вологості при виготовленні паливних брикетів з оліємістких сировин має рівень від 5 до 12% а температури в формуючій камері від 60 до 80°C при чому відділення технічних олій при виході з даного інтервалу, різко знижується.

Також при формуванні брикету великий вплив має вологість



сировини, при надмірній вологості, відділення технічної олії стає гіршим а сам брикет за рахунок пароутворення стає крихким [6]. На дослідах було визначено та підтверджено, що і занадто низький вміст вологи, до 5% у олієвмісній сировині погано впливає на процес виготовлення брикетів, а саме значно підвищує тиск та нагрів у пресовому обладнанні за рахунок великої жорсткості сировини. Досліди показали, що відхилення від оптимальної вологості погано впливає на якість готової продукції так як відбувається перегрів як шнекового обладнання так сировини, та різко падає показник відділення технічної олії [8].

При формуванні брикету з оліємісткої сировини велику роль відіграє час перебування сировини в пресі, збільшення якого дає змогу краще стиснути сировину, яка формуватиметься брикет, та відділити більший процент технічних олій. Є багато досліджень де змінюють тільки види шнеків та їхню довжину, з деяких з них ми бачим що при збільшенні довжини шнеку та від розміщення більшої кількості між ними компресійних затворів для розриву потоку олієвмісної сировини перед кожною стискувальною насадкою дає непоганий результат. Відтискання технічної олії тут присутнє лише в компресійних секціях, при цьому брикет виходить гарної якості і з меншим вмістом олій. Також при формуванні брикету велику роль відіграє час перебування брикету в органі остаточного формування[7].

З проведеного аналізу літератури та різноманітних наукових праць, бачимо, що для виготовлення паливних брикетів з оліємісткої сировини велику увагу інженерів привертає реалізація додаткових проміжних видів дотискання олійної сировини та збільшення часу її проходження. Поміж винаходів та ідей, часто пропонуються доволі складні в своєму виконанні та обслуговуванні конструкції [8], а відповідно, і кінцева вартість виробу на такому обладнанні буде завищеною. Деякі розробки не враховують тих факторів [9] що сировина може бути не однорідною і перелаштовувати кожного разу обладнання не зручно. Наприклад преси з занадто збільшеною довжиною валу часто перегріваються при роботі з сировиною вологість якої до 5% або з сировиною з меншим вмістом олії, також часто в пресах застосовують швидко змінні вали з однієї сторони це скорочує час зміни шнеків а з іншої, доказано на практиці, значно зменшує ресурс робочих органів.

Формулювання мети статті. Визначення тенденції розвитку та вдосконалення відомих конструкцій робочих органів шнекового обладнання за допомогою аналізу сучасних наукових праць та патентів. Головним завданням даної роботи було запропонувати власну розробку, при застосуванні якої було можливо працювати з більшістю оліємістких сировин та підвищити показники відтискання технічних



олій при формуванні брикету, при мінімальних затратах енергії.

Основна частина. Експериментальні дослідження проводились на шнековому прес-екструдері для виготовлення паливних брикетів патент [11]. Основна технічна характеристика серійного прес-екструдера приведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічна характеристика прес-екструдера для виготовлення паливних брикетів.

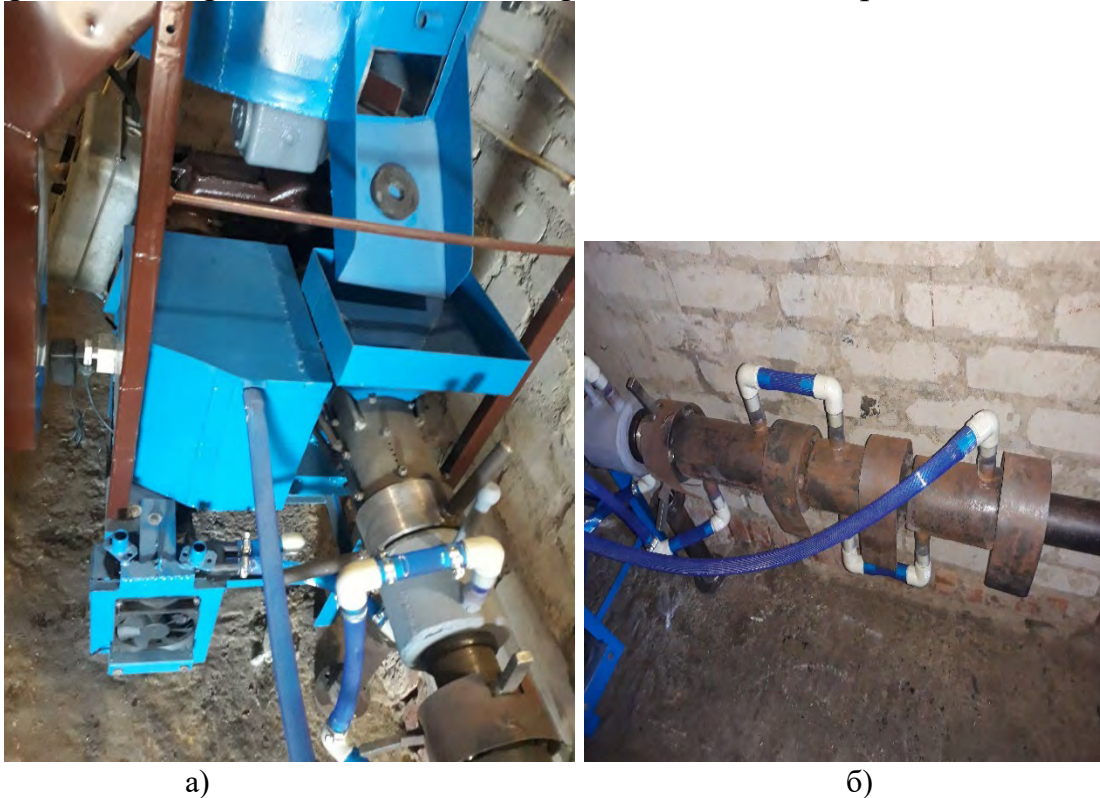
Показник	Величина
Продуктивність (по насінню соняшника необрушеного), кг/год	120-150
Встановлена потужність, кВт	11
Споживана потужність, кВт	до 7,5
Потужність електродвигуна, кВт	11
Температура нагріву корпусів (залежно від сировини), °С	до 80
Частота обертання валів, об/хв	70-85

З метою дослідження, виготовлення паливних брикетів з оліємісткої сировини з одночасним віджимом технічних олій, було розроблено прес-екструдер здатний працювати з різними видами оліємісткої сировини, та було впроваджено в виробництво де в виробничих умовах були проведені наступні експериментальні дослідження, які склалися з декількох етапів. Перший етап розроблено та проведено досліди та налаштування органу остаточного формування брикету, другий етап досліджень був зосередженим на знаходженні найбільш оптимального рівня температури під час формування брикету при якій був би максимальний відбір технічних олій. В даній роботі досліджували розроблений пристрій остаточного формування брикету який відразу вирішував декілька основних проблем, які виникають при виготовленні паливних брикетів з оліємісткого матеріалу.

Пристрій остаточного формування представляє собою трубу що складається із секцій труб та має систему охолодження кожної із труб, які в свою чергу мають фаски на внутрішній поверхні в місцях з'єднання секцій труб між собою для кращого відбору технічних олій.

Така система органу остаточного формування за допомогою постійної зміни тиску на шляху формування брикету дає змогу добитися щоб відтискання олії відбувалося виключно на оптимальному етапі формування брикету а також контролювати робочу температуру пресу. Випробування показали що при більш маслянистій сировині потрібно збільшувати відбір олії з перших секцій а менш маслянистій по всій ділянці але в малих кількостях. У деяких

конструкціях промислових шнекових пресів для виготовлення паливних брикетів, в набір робочих органів додають спеціальне кільце, яке в свою чергу розпушує сировину та робить більш пластичною. При проходженні сировини через кільце воно сповільнює потік і збільшує проміжні зсувні зусилля в зоні перед ним. Якщо цього не зробити, то брикет з оліємісткої сировини виходить крихким.



а) вигляд експериментального прес-екструдера з системою охолодження; б) фрагмент робочих органів, до складу яких увійшли розроблений орган остаточного формування брикету з системою контролю температури та відбору технічних олій

Рисунок 1. Фрагменти робочих органів двогвинтового прес-екструдера

В конструкції даного прес-екструдера заклали здатність регулювати тиск зміною зазору між торцевою поверхнею передуючого шнека і входною частиною дожимної камери, для чого остання виконана з можливістю осьового зсуву за допомогою різьбового з'єднання та фіксується від переміщення в процесі роботи преса фіксатором. Проходячи через зазор між торцевою поверхнею пресуючого шнека і входною частиною дожимної камери оліємістка сировина проходить додаткове стискання. При цьому щільність сировини значно зростає, тиск і температура – збільшується. Щоб сировина та сам пес не перегрівались для охолодження застосовується охолоджувальний пристрій, який дає можливість контролювати



температуру в зоні стискання та формування брикету для унеможливлення пароутворення в середині брикету, що призводить до додаткового підвищення щільності готового виробу

Вимірювання частоти обертання валів проводили цифровим тахометром UNI-T UT-372. Температуру брикету та робочих органів вимірювали інфрачервоним пірометром GM320. Управління приводом та системою охолодження здійснювали з пульту управління, який виконаний окремим блоком. При експерименті замірювали робочу температуру на камері дожиму та на органі остаточного формування, продуктивність та віджим олії, струм споживаний електродвигуном, та показник напруги кожної із трьох фаз живлення.

Для експерименту використовували відходи соняшнику з вмістом насіння в розмірі 20% та вологістю сировини 9%. Сировина подавалась рівномірним потоком за допомогою дозатору в заздалегідь розігрітій прес.

Щоб процес був найбільш наближений до виробничих умов всі заміри робилися після виходу обладнання на робочий режим і не переривалося до кінця експерименту. Усі заміри робили за контрольну одиницю часу 30 хв. За цей період часу брикети та олія, що виходили з прес-екструдера збиралася у ємкості, які потім проходили зважування на електронних вагах. Вихід олії вираховували на основі рівняння (1):

$$V_o = \frac{m_m}{m_o} \cdot 100, \quad (1)$$

де V_o – вихід олії, %;

m_o – маса віджатої олії, кг;

m_m – маса паливних брикетів, кг.

Кожен замір повторювали по п'ять разів а потім визначали середнє значення.

З проведеного аналізу відомої літератури та патентів по напрямку – виготовлення паливних брикетів з оліємісткої сировини було поставлено задачу - розробити прес-екструдер здатний працювати з більшістю оліємістких сировин та поєднати в собі такі функції як, виготовлення паливних брикетів, з контролем температури формування та віджим технічних олій, за рахунок введення нових робочих органів, які створюють проміжний відбір олії з сировини по всій довжині формування брикету.

Фізична суть любого прес-екструдера полягає в загально прийнятих твердженнях які закріплені практикою, та показує що для виготовлення паливних брикетів гарної якості та одночасного віджиму технічних олій потрібен високий тиск. Для досягнення високого тиску потрібно створити умови, коли сировина чинитиме контрольований



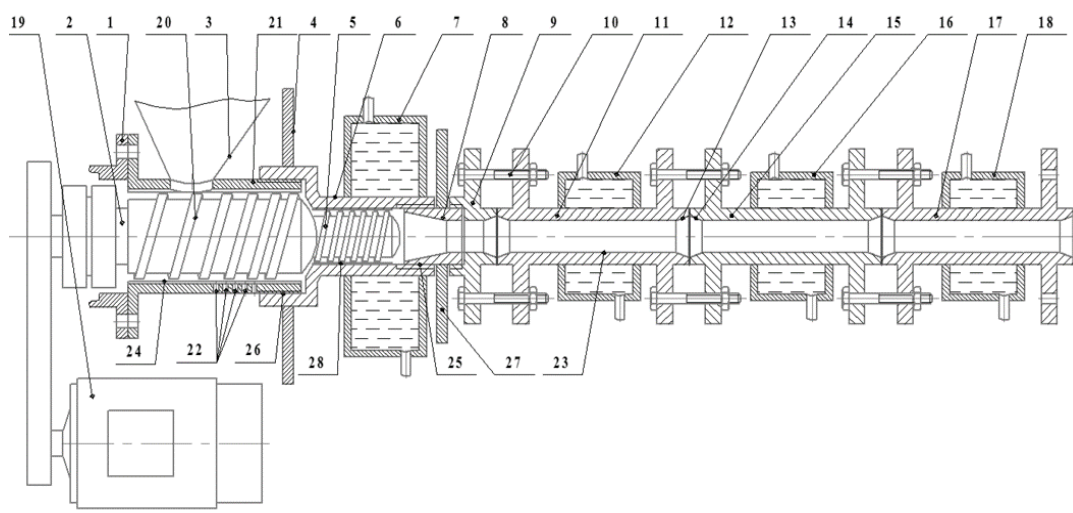
опір шнекам, який не буде перевищувати граничний, при якому прес не здатний протиснути сировину, що може привести до заклинювання пресу. При формуванні брикету [10]. важливу роль також відіграє час перебування сировини в формуючому пристрої де матеріал піддається стисканню, чим більше тиск і чим більше час перебування сировини тим краще якість брикету та більша кількість віджатої технічної олії. Але збільшуючи час, протягом якого матеріал піддається ущільненню, ми створюємо умови для додаткового нагрівання, що теж слід враховувати.

При розробці обладнання ми обладнали частини пресу які піддаються найбільшому нагріву пристроями охолодження, за допомогою яких можливо тримати потрібну нам температуру, також врахували те що різні види сировини мають різну пластичність та різний вміст олії місткої частки. Щоб відрегулювати прес під певну пластичність сировини та мати оптимальне стискання сировини врахували регулювання зазору між торцевою поверхнею пресуючого шнека та вхідною частиною дожимної камери, для чого остання виконана з можливістю осьового зсуву за допомогою різьбового з'єднання та фіксується від переміщення в процесі роботи преса фіксатором. Сировина проходячи через зазор між торцевою поверхнею пресуючого шнека і вхідною частиною дожимної камери має контрольоване стискання. При цьому щільність сировини значно зростає, тиск и температура – збільшується.

Одним із важливих моментів інтенсифікації відтискання олії при виготовленні паливних брикетів з оліємісткої сировини є пристрій остаточного формування брикету здатний одночасно відбирати олії. конструкція робочих органів зображено на (рис. 2) [11].

Процес інтенсифікації відтискання олії у зоні дії кожної з насадок насадок здійснюється наступним чином. Шнеками олієвісна сировина примусово переміщається вздовж валу у зону дії першої ступені стискання де частина сировини отримує опір між торцевою частиною присуючого шнека та вхідною стінкою камери дожиму, та протискується у камеру дожиму яка в свою чергу має конічну форму, далі сировина втискується в матрицю де проходить перша стадія формування форми брикету [11].

У цьому просторі олієвісний матеріал зазнає дії інтенсивного стиснення. На цій стадії частина олії виділяється з зжатої сировини та виходить через конічні отвори камери, далі частково сформована сировина потрапляє в пристрій остаточного формування брикету та відбору олії.



1 – підшипниковий вузол; 2 – вал приводу; 3 – бункер; 4 – фіксатор; 5, 20 – шнек; 6 – камера дожиму; 7, 12, 16, 18 – сорочка охолодження; 8 – матриця; 9 – пристрій остаточного формування; 10 – болт; 11, 15, 17 – секції труб; 13, 14 – масло згінні фаски; 19 – електродвигун; 21 – пресуюча камера; 22 – отвори для відводу масла; 23 – труба; 24, 28 внутрішні ребра; 25, 26 – різьбове з'єднання; 27 – рукоятка

Рисунок 2. Схема шнекового прес-екструдера для отримання паливних брикетів з пристроєм остаточного формування.

Який складається з набору насадок кожна з яких обладнана масло згінними канавками та частина з яких обладнана сорочками охолодження. Дослідження показали оптимальною температурою при виготовленні паливних брикетів з оліємісткого матеріалу є температура від 65С до 80С. При даному інтервалі температур виділяється найбільша кількість технічної олії а сам брикет має найкращу якість. При зміні кількості насадок в пристрої остаточного формування міняється і тиск як на поверхні шнеків так зонах формування, при цьому збільшується кількість віджатої олії. В залежності від роду сировини та її структури підбирається кількість насадок, та регулюється розмір відкриття каналів для відбору олій на тій чи іншій секції.

Важливими технологічними та конструктивними параметрами що мають вплив на ефективну роботу прес-екструдера для виготовлення паливних брикетів з олієвмісної сировини, є розміри: температури нагріву робочої зони та зони формування, швидкість обертання шнеків, вид матриці та зазор в ній, кількість насадок остаточного формування. З метою отримати найкращу якість брикету та збільшити кількість виходу олії проведені поетапні дослідження при різних цих величинах. Дані занесені в таблицю 2.



Таблиця 2

Кількісні показники пресів.

Кількість насадок	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Довжина пристрою остаточного формування, мм	245	445	690	935	1180	1425	1670	1915	2160
Кількість технічної олії при виготовленні 100кг. брикету	0,8	1,8	2,8	3,6	4,1	4,8	5,2	5,6	5,2
Температура формуючого органу °С	44	48	54	65	72	76	78	82	95

При порівнянні якості брикету та кількості віджатої олії, бачимо, що при застосуванні пристрою остаточного формування, який складається з набору окремих насадок величина ступеню стискання збільшується з наростанням при добавлянні кожної наступної насадки та зменшується в місцях відбору олії, постійна контрольована зміна тиску дає змогу відібрати максимальну [12] кількість технічної олії з брикету. Для більш інтенсивного відбору олії другу по черзі насадку робимо коротше ніж інших так як на даному етапі формування брикету відбувається найбільше виділення олії. З досліджень бачимо що оптимальні оберти шнеків складають від 70 до 85 об/хв.

Спираючись на отримані результати дослідів ми бачимо ефективність застосування розробленого пристрою остаточного формування. Адже з застосуванням його вихід технічної олії при різних температурах значно збільшився. Досліди показали що найбільший вихід олії та найкращу якість брикету ми отримали після встановлення 8 насадок, а після встановлення 9 насадки тиск став критичним при цьому почало зменшуватися відділення олії, почав відбуватися перегрів пресу, та значно зросло навантаження на електродвигун.

В роботах по дослідженню прес-екструдерів для виготовлення паливних брикетів з олієвмісної сировини зазначається, що покращення виходу олії відбувалося завдяки примусовому збільшенню ступеня заповнення всередині шнекового преса, при чому збільшується тиск, та одночасного збільшення перебування сировини в пресі. В пресах де відбір олії відбувається тальки через відвідні отвори в зеєрній камері при занадто великій подачі маслянистих відходів часто відбувається блокування модулю фільтрації зеєрної камери та матриці твердими частинками сировини, що сприяє до закупорювання



олієвідвідних отворів, чого нема при використанні пристрою остаточного формування з функцією відбору олії.

Оскільки шнековий прес є закритою системою, для повного розуміння процесів під час формування брикету, застосовують комп'ютерне моделювання всіх процесів що відбуваються в пресі, що значно облегшує та пришвидшує виготовлення експериментальних одиниць обладнання.

Висновки. З аналізу процесів при виготовленні паливних брикетів з оліємісткої сировини з одночасним відділенням технічних олій, принципів дії та конструкцій зарубіжного та вітчизняного пресового обладнання та оцінки їх взаємодії з різними видами сировини, отримали результати, які розширюють пізнання процесів та технічних особливостей використання шнекових пресів для виготовлення паливних брикетів з відходів оліє містких сировин. Розробили обладнання та провели експериментальні дослідження, якими підтвердили що вихід олії з оліє містких відходів залежить від таких факторів, ступеня стискання, який обумовлений геометричними параметрами конструкції шнеків та камер, часу перебування сировини в пресі, кількості секцій пристрою остаточного формування та температури. Експериментальним шляхом підтверджено що при поетапному відборі олії в пристрої остаточного формування через масло збірні канавки, вихід олії значно збільшився. Дані дослідження та розроблене обладнання найбільш актуальним є для власників аграрних підприємств які вирощують такі культури як соняшник, льон, сою, коріандр та інші оліє місткі культури, відходи яких гарно підходять для виготовлення паливних брикетів та одночасного виробництва технічної олії. Після встановлення даного обладнання, можна отримати додатково до 45кг технічної олії з кожної переробленої тони сировини. А з перерахунку на виробничу потужність підприємства в сотнях тон, буде значний приріст прибутку так як середня вартість технічної олії на сьогоднішній день сягає 27000гр/т, а тобто з кожних перероблених 100т сировини дохід на технічній олії складатиме 121700гр. На основі отриманих результатів бачимо що у розробленого обладнання гарні перспективи, так як з постійним ростом цін на енергоносії, направлення виготовлення паливних брикетів швидко розвивається, а так як в нашому регіоні переважає сільське господарство де вирощують велику частку оліє містких рослин то і оліє містких відходів дуже багато, при роботі з якими дане обладнання показало гарні результати.

Список використаних джерел.

1. Адаменко О, Височанський В., Лютко В., Михайлов М. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії. Підручник



для енергетичних і екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Івано-Франківськ, “Полум’я”, 2000. 225 с.

2. Єременко О. І., Василенков В. Є., Руденко Д. Т. Дослідження процесу брикетування біомаси шнековим механізмом, Науковий журнал «Інженерія природокористування», 2020. 3(17), С. 15–22.

3. Choton S., Gupta N., Bandal J. D., Anjum N., Choudary A. Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 9(2), 2020. Pp. 162–168. DOI: 10.22271/tpi.2020.v9.i2d.4367.

4. Полянський О. С., Д'яконов В. І., Д'яконов О. В. Комплексна оцінка і аналіз енергетичних показників існуючих технологій переробки рослинних відходів у паливні брикети. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 190 «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2018. С. 192–202.

5. Vogaert, L., Mhemdi, H., & Vorobiev, E. Residence time distribution and flow pattern modeling of oilseeds in a pilot screw press. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 27, article number 65. 2020. DOI: 10.1051/ocf/2020060.

6. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ*: гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 21, т. 1. С. 152–159.

7. Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О., Михайлов Є. В., Червоткіна О. О. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.

8. Indartono Y. S., Heriawan H., Kartika I.A. (Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds. *Research in Agricultural Engineering*, 65, 2019. Pp. 91-97.

9. Mushtruk, M., Gudzenko, M., Palamarchuk, I., Vasylyiv, V., Slobodyanyuk, N., Kuts, A., Nychyk, O., Salavor, O., & Bober, A. (2020). Mathematical modeling of the oil extrusion process with pre-grinding of raw materials in a twin-screw extruder. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, Pp. 937–944. doi: 10.5219/1436.

10. Кіндзера Д. П., Атаманюк В. М., Госовський Р. Р., Мотіль І. М. Дослідження процесу формування паливних брикетів із рослинної сировини та визначення їх характеристик. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2013. С. 138–146.

11. Патент. 127064, Україна, МПК (2022.05) Шнековий прес-екструдер для отримання брикетів. Самохвал В.А.: заявник і патентовласник Самохвал Віталій Анатолійович – а 202007249: заявл.



13.11.2020: опубл. 30.03.2023, Бюл. № 13.

12. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Характеристики використання брикетування в переробній промисловості. *Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв*: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 182–184.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

V. Samokhval, K. Samoichuk
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF EQUIPMENT FOR
INTENSIFICATION OF SQUEEZING OF INDUSTRIAL OILS IN SCREW
PRESS EXTRUDERS FOR THE MANUFACTURE OF FUEL BRIQUETTES**

Summary

The article is formulated relevance of the study is due to the problem of excessive content of industrial oils in fuel briquettes made from oil-containing raw materials, which significantly affects both the quality of the briquette and environmental performance. This problem is typical for different types of screw press designs for the production of fuel briquettes. In this regard, this study aims to find the most optimal methods for manufacturing fuel briquettes on presses of this type and to develop and improve their design in order to improve the quality of finished products. One of the main types for finding the optimal solution to this problem is empirical research methods, which analyze the methods and ways to improve and develop more innovative equipment for the manufacture of fuel briquettes from oil-containing plant material. In order to solve this problem, the features of the known designs of screw-type equipment for the manufacture of fuel briquettes from oil-containing raw materials were analyzed, and the need to develop new forming and pressing working bodies was substantiated. Experiments with the developed new working bodies were carried out. These bodies make it possible to create a controlled process of compression and separation of oils from oil-containing raw materials at each stage of briquette formation. Depending on the number of pressing nozzles, the cycles of compression and oil separation can be repeated many times. The use of the developed nozzles significantly increased the degree of pressure build-up over the entire area from the grinding of the curd to the final formation of the briquette. Due to this, the quality of finished products has improved and the range of raw materials has expanded, as well as the yield of technical oils used for the manufacture of paints, the price of which is several times higher than the briquettes themselves, which means that the companies that will improve their extruders with these working bodies will also increase their profits rameters, molding nozzles, oil yield

Key words: briquette production, press, geometric parameters, molding nozzles, oil yield.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-17

УДК 641.1:[637.54'65 + 634.1.076]

В. О. Сукманов, д.т.н.

ORCID: 0000-0003-1248-4068

І. С. Мулько

ORCID: 0000-0002-5309-7702

Полтавський державний аграрний університет

e-mail: sukmanovvaleri@gmail.com, тел.: 050-368-03-06

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КУРЯЧИХ НАГЕТСІВ З НИЗЬКИМ ВМІСТОМ ХЛОРИДУ НАТРІЮ ТА ДОДАВАННЯМ ЯБЛУКА

Анотація. В статті представлені результати досліджень реологічних та органолептичних властивостей курячих нагетсів, виготовлених з частковою заміною солі на суміш її замінників, суміш спецій та додаванням перетертого яблука. Дослідження реологічних властивостей на аналізаторі текстури TA-XT plus констатували позитивні зміни зразків у порівнянні з контролем. Додавання м'якоті яблука призводить до збільшення світлості зразків та посилення їх жовтого кольору. Загальна зміна кольору зразків нагетсів поступово зростає в залежності від кількості доданої м'якоті яблука. Оцінювання загального вигляду, смаку, текстури, солоності, соковитості, загального прийняття та за середнім балом показало деякі відмінності зразків у порівнянні з контролем, але в цілому розроблений продукт відповідає вимогам споживачів та може бути віднесеним до продукту, що забезпечують здорове харчування.

Ключові слова: курячі нагетси, хлорид натрію, замінники солі, м'якоть яблука, реологія, органолептика.

Постановка проблеми. Споживання надлишку солі корелює з частотою ішемічних хвороб серця, гіпертонусу, раку, високого рівня холестерину в крові та ожиріння. Всесвітня асамблея охорони здоров'я офіційно прийняла «зниження споживання солі на 30% до 2025 року» як одне з дев'яти глобальних завдань із профілактики неінфекційних захворювань та боротьби з ними. В даний час майже половина країн світу ввели в дію національні керівні принципи або дії зі скорочення солі, а також розробили власні керівні принципи щодо скорочення кількості використаної солі в харчовій промисловості. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) запропонувала норму споживання солі для дорослих у кількості до 5 г/день. На сьогодні середнедобове споживання солі перевищує дану норму вдвічі. Слід



зазначити, що 20-30% від загального споживання солі споживачі отримують з м'ясом та м'ясними продуктами [1]. На сьогодні, у споживачів, що піклуються про своє здоров'я, зростає попит на м'ясні продукти з низьким вмістом солі [2].

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження, спрямовані на розробку інноваційних технологій м'ясних продуктів зі зменшеним вмістом хлориду натрію розвиваються як в напрямку використання нових фізичних методів обробки продуктів, так і шляхом створення нових рецептурних композицій, в яких хлорид натрію замінюють іншими інгредієнтами.

Хлорид натрію відіграє важливу роль у формуванні якості м'ясних гелевих продуктах. По-перше, іони натрію та іони хлору можуть стимулювати смак. По-друге, міофібрилярний білок може бути вилучений для полегшення розчинення та набухання, що підвищує водо- та маслоутримуючі властивості гелю та покращує вихід готових продуктів, їх текстуру та підвищує термін зберігання [3–8]. Функція розчинення та вилучення міофібрил була названа технологічним ефектом хлориду натрію, який був ключем до формування якості гелевих м'ясних продуктів.

На жаль, просте зниження кількості солі, що використовується в технологіях м'ясопродуктів призводить до зниження деяких показників їх якості. В першу чергу, це показники технологічні, реологічні показники фаршу напівфабрикатів та готових виробів, органолептичні показники.

На сьогодні для вирішення проблеми зниження вмісту солі в м'ясопродуктах використовуються різноманітні підходи, такі як використання замінників солі, додавання ізолята соєвого білку, обробка напівфабрикатів високим тиском та ін. [9-11].

Доведено [31], що іони натрію можуть утворювати електронні хмари навколо міофібрилярних молекул та сприяти розчиненню міофібрилярного білка. Фактично, хлорид натрію від 1% до 1,5% може задовольнити потребу більшості споживачів у солоному смаку, проте для задоволення вимог обробки м'ясні гелеві продукти зазвичай додають від 2% до 4% хлориду натрію [12].

На сьогодні вже досліджено технології свинячих котлет з низьким вмістом жиру та солі [13] та котлет з інших видів сировини [14, 15]. М'ясо має відносно низьку концентрацію натрію, що становить лише 50–90 мг натрію на 100 г продукту [16]. Просте зменшення повареної солі негативно впливає на кислоту [17], вміст води, а також здатність до зв'язування жиру, остаточну текстуру гелю при варінні [18] та термін зберігання продукту [19]. Значна частка досліджень спрямована на зменшення вмісту солі в м'ясних продуктах, таких як ковбаси типу Болонья [20]; котлети з м'ясного фаршу [21] та свинячі ковбаси [22].



Основним способом зниження вмісту натрію в гелевих м'ясних продуктах є зменшення кількості хлориду натрію, що додається, і заміна його іншою сіллю, але лише деякі з них можуть бути використані для успішної часткової або повної заміни хлориду натрію у технологіях м'ясних продуктів [23, 24]. Знаходить поширення використання глутамін трансамінази [25, 26]. У більшості досліджень натрію хлорид заміняли іншими хлоридними солями, оскільки технологічний ефект хлориду натрію в основному досягається за рахунок зв'язування іонів хлориду з білками. В даний час найбільш успішною альтернативною сіллю в дослідженні є хлорид калію, який може замінити близько 35-40% хлориду натрію у формулі гелевих м'ясних продуктів, але надлишок хлориду калію викликає гіркий та інші неприємні запахи [27]. Поліфосфат може підвищувати рН м'ясних продуктів, викликати набухання м'язових волокон, сприяти дисоціації актоміозину, при цьому може частково замінювати хлорид натрію. Зменшення розміру кристалів хлориду натрію і зміна їх форми може зменшити кількість хлориду натрію, що додається, не впливаючи на харчову солоність. Однак гелеві м'ясні продукти містять багато води, а хлорид натрію розчиняється у воді, тому ефект зниження вмісту хлориду натрію в гелевих м'ясних продуктах, таким чином, був обмежений [28].

Інший спосіб – використовувати підсилювачі смаку. Підсилювачі смаку збільшили солоність та смак м'ясних продуктів зі зниженим вмістом солі, вони зменшили використання хлориду натрію без зменшення солоності та смаку м'ясних продуктів: дріжджовий екстракт, лактат, глутамат натрію та нуклеотид. Підсилювачі смаку можуть стимулювати смак і знижувати стимуляцію впливу натрію хлориду на смаковий нерв, допомагаючи зменшити кількість використовуюваного хлориду натрію. Атори роботи [29] використовували суміш хлориду калію і нуклеотидів для зниження вмісту натрію хлориду в свинячих ковбасах на 75%. Будь-яка кількість глутамату в цих свинячих ковбасах у поєднанні з хлоридом калію може бути замінено 50%-ною сіллю [29]. Автори роботи [30] виявили, що додавання глутамату натрію або суміші нуклеотидів до сосисок бонієвого типу може покращити їх смак, були відсутні значні змін після 17 днів зберігання, і ковбаса з додаванням глутамату натрію або суміші нуклеотидів мала кращу загальну прийнятність, в той час як ковбаса додаванням підсилювача смаку мала гарні їстівні якості [30]. Іншим підсилювачем смаку є суміш лізину та янтарної кислоти. Цей вид комплексу має смак солі, а також має антибактеріальні та антиоксидантні властивості, може замінювати 75% солі та має гарні перспективи впровадження [31].

Включення дієтичних волокон з різних джерел у м'ясні продукти



також допоможе підвищити їхній поживний склад та бажаність. Традиційні фрукти, особлива яблука, мають багато корисних для здоров'я джерел дієтичних волокон [32], але про використання м'якоти яблука, як джерела дієтичних волокон, у м'ясних продуктах поки що не повідомлялося.

Введення у склад м'ясних посічених продуктів фруктів та овочів підвищує їх харчову цінність, збагачує харчовими волокнами і біологічно активними речовинами, такими, як поліфеноли, вітаміни та мінерали [33, 34]. Доведено, що яблучні поліфеноли мають антиоксидантну та протизапальну дію, пригнічують проліферацію ракових клітин і знижують ліпіди окислення та рівень холестерину. Яблуко є одним з найпоширеніших фруктів в усьому світі та має потужний вплив на здоров'я споживачів, і, враховуючи його фізико-хімічний склад, органолептичні властивості та структуру м'якоти мають певні переваги у порівнянні з іншими рослинними плодами.

Проведені дослідження підтвердили перспективність використання яблука та яблучних вичавок як функціонального інгредієнта у різних продуктах харчування з метою підвищення водоутримуючої здатності, як замітник жиру та наповнювач тощо [35, 36]. Враховуючи функціональні властивості яблука та яблучних вичавок, їх використовували в технологіях різних м'ясних продуктів, таких, як ковбаси з курятини [37, 38], свинина [39] і баранини [40].

Таким чином, зменшення вмісту солі у складі м'ясних продуктів є одним з перспективних напрямів підвищення їх функціональності та спрямованості до використання у здоровому харчуванні. Іншим перспективним напрямом вдосконалення м'ясопродуктів є їх збагачення харчовими волокнами рослинного походження, що також буде сприяти їх споживанню при здоровому харчуванні.

Включення дієтичних волокон у м'ясні продукти допоможе підвищити їхній поживний склад та збільшити попит на ринку продуктів здорового харчування.

Формулювання мети статті. Мета роботи – дослідження реологічних та органолептичних властивостей курячих нагетсів з заміною частки натрію хлориду та додаванням м'якоти яблука. *Об'єкт досліджень* – технологія нагетсів із заміною частки натрію хлориду та додаванням м'якоти яблука. *Предмет дослідження*: реологічні та органолептичні властивості курячих нагетсів.

Основна частина. Априорі відомо, що зменшення вмісту солі та додавання яблука призведе до змін всіх властивостей даного продукту, тому на першому етапі досліджень було оцінено органолептичні властивості та текстуру нового продукту.

Дослідження текстури (реологічних властивостей) та органолептичних властивостей було проведено як з використанням

інструментальних методів та і методами експертного оцінювання.

Аналіз реологічних властивостей зразків оцінювали на аналізаторі профілю текстури згідно з інструкцією на даний прилад [41-42], використовуючи аналізатор текстури TA-XТ plus (Stable Micro Systems Ltd., Великобританія) з алюмінієвим циліндричним зондом Р/36R (циліндричної форми з діаметром 20 мм і висотою 20 мм) за температури навколишнього середовища (20 – 25 °С).

Циліндричні зразки були аксіально стиснуті до 40 % від їх початкової висоти за допомогою випробування циклу подвійного стиснення. Сила спуску, використана для випробування, становила 5 г, швидкість перед випробуванням 2 мм/с, швидкість випробування 2 мм/с, швидкість після випробування 2 мм/с. Між двома циклами стиснення дозволений інтервал 5с. Дані були згенеровані за допомогою програмного забезпечення Exponent (стабільна мікросистема Exponent, версія 5.1.2.0, Stable Microsystems Ltd., Великобританія), що постачається разом із приладом (рис. 1). Кожне вимірювання було повторено 5 разів.

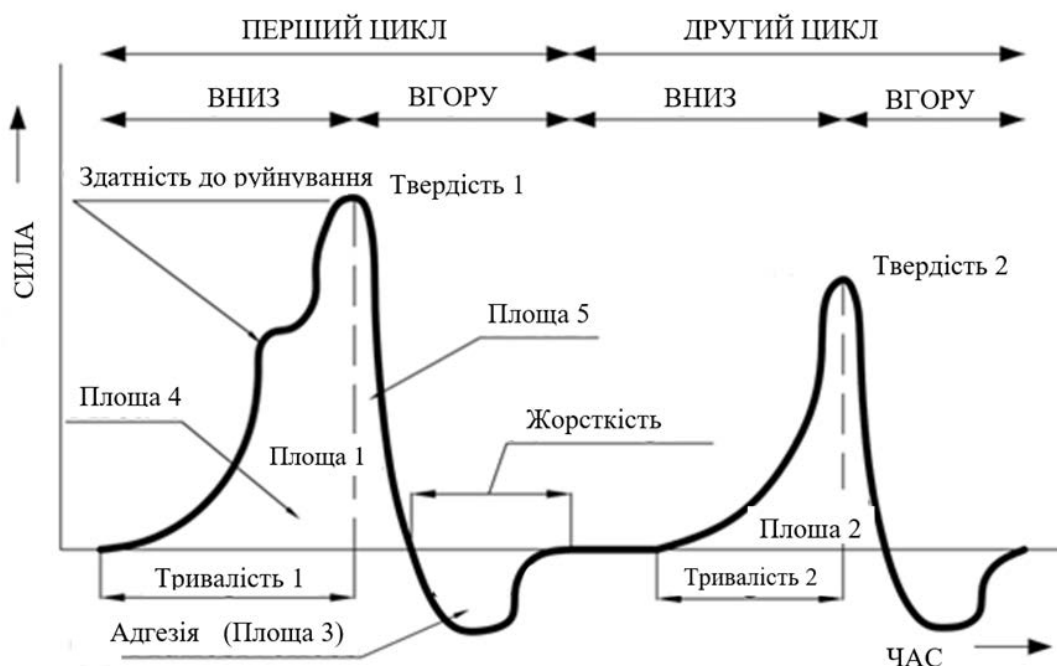


Рисунок 1. Інтерпретація визначення реологічних параметрів аналітичним методом аналізу реологічної кривої [16]

Визначали такі властивості (рис. 1):

- 1). Твердість - найбільший пік при першому стисненні.
- 2). Здатність до руйнування. Коли руйнування відбувається в процесі першого стиснення, на кривій з'являється очевидний пік, який визначається як крихкість, або здатність до руйнування. Якщо в спектрі при першому стисненні є два піки, перший пік визначається як



крихкість, а другий пік визначається як твердість. Якщо є лише одне пікове значення, воно визначається як значення твердості без крихкості.

3). Жорсткість - тривалість знаходження зразка між декомпресією та початком наступного циклу навантаження.

4). Адгезія - негативна площа кривої (площа 3 на графіку) між другою та першою кривими стиснення; виражається як загальна робота, необхідна для подолання поверхневого притягання в контакті між зондом і зразком.

5). Еластичність - частка або відношення об'єму стиснутого деформованого зразка до попередньо деформованого стану після усунення деформуючої сили: . Еластичність виражається відношенням (тривалість 2/ тривалість 1).

6). Когезія - відносний опір досліджуваного зразка другому стисненню після першої деформації стиснення; показано на кривій як відношення позитивної роботи (площа 2/площа 1) двох стиснень; це значення представляє загальну роботу, необхідну для подолання тяжіння між двома поверхнями, коли зонд вступає в контакт із зразком.

7). Пружність - стійкість зразка в першому циклі стиснення; це відношення пружної енергії, вивільненої зразком у першому циклі стиснення, до енергії, розсіяної зондом у процесі стиснення (площа 5/площа 4); використовується для представлення стійкості на кривій та вимірює ступінь відновлення деформованого зразка за тієї ж швидкості та тиску, що й деформування зразка.

8). Липкість - енергія, необхідну для пережовування напівтвердої їжі, поки вона не буде готова до ковтання, виражено чисельно через добуток твердості та когезії (твердість \times когезію).

9). Жувальна здатність - використовується лише для опису зразка в твердому стані, вказуючи на енергію, необхідну для пережовування твердого зразка до стабільного стану під час ковтання. Числове значення виражається добутком липкості та еластичності (липкість \times еластичність).

Колір зразків визначали спектроколориметром MiniScan XE Plus відкаліброваним за білим та чорним стандартами у трьох різних місцях на поверхні зразків. Спектральну криву визначали в діапазоні 400-700 нм та значеннях згідно [43].

Відповідно до стандарту, колір виміряли у системі тримірних прямокутних координат X, Y, Z, де: L^* - це значення світлості, a^* - протиположність червоного та зеленого кольорів, b^* - протиположність синього та жовтого кольорів.

Значення за осі L (світло) ідуть від чорного до білого або за шкалою значень від 0 до 100, де 0 (чорний), а 100 (білий) - зверху. Позитивні значення параметра a визначають червоні кольори, відмовні



- зелені. Так, 50 позначає червоний, а - 50 - зелений. Позитивні значення b це жовті кольори, негативні - сині. Значення по осі b від -50 (синій) до 50 (жовтий).

Параметри були відкалібровані в стандартному білому фарфорі з площею вимірювання діаметром 8 мм, кутом спостереження 10° і джерелом світла D65 з включеним дзеркальним компонентом. Для аналізу зразки відтавали 12 годин при $6 \pm 2^\circ\text{C}$. Для визначення кольору з обох сторін продукту був знятий поверхневий шар. Аналіз проводився на п'яти зразках.

Повна зміна кольору (ΔE) було розраховано за наведеною нижче формулою (ISO 11664-2:2007):

$$\Delta E^* = [(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}] \quad (1)$$

Органолептичне оцінювання проводили з використанням 8-бальної описової шкали [44], де 8 - відмінно; 1 - погано. Сенсорна панель складалася з викладачів кафедри та здобувачів вищої освіти магістр за освітньою програмою Харчові технології. Тризначні закодовані зразки були подані учасникам дискусії в довільному порядку.

Для сенсорної оцінки була навчена група з 12 учасників. Було проведено навчання (2 години) з метою формування однозначного тлумачення характеристик, обраних для оцінювання, тренування та вдосконалення таких атрибут, як сенсорна чутливість, поріг чутливості, поріг розпізнавання, поріг різниці та сенсорна пам'ять [44]. Перед оцінюванням зразки нагрівали за допомогою мікрохвильової печі протягом 1 хв.

Рецептурний склад контрольного та дослідних зразків нагетсів наведено у табл. 1.

Суміш заміників солі складалася з хлориду калію (0,2 г/100 г), лимонної кислоти (0,03 г/100 г), винної кислоти (0,03 г/100 г) та сахарози (1,0 г/100 г).

У дослідженні були використані яблука помологічного сорту Антонівка звичайна: вода - 85,9%; загальний цукор - 12,10%; кислотність 1,37%; пектинових речовини - 0,87%; дубильні речовини - 0,104%; вітамін С - 10,7 мг%; залізо - 6,94 мг/ 100 г.

М'якоть свіжого яблука (рН-4,65, волога-85,9 г/100 г, жир-0,003 г/100 г, білок-0,25 г/100 г), використана в дослідженні, промивали охолодженою дистильованою водою протягом 10 хв, щоб видалити її солодкість, а потім перетирали до консистенції пасти.

Технологія досліджуваних зразків нагетсів передбачає зменшення вмісту солі з 2,0 до 1,2 г/100 гр (40%), що було компенсовано додаванням суміші заміників солі, що складалася з хлориду калію (0,2



г/100 г), лимонної кислоти (0,03 г/100 г), винної кислоти (0,03 г/100 г) та сахарози (1,0 г/100 г) та суміші спецій (кмин (*Zeera*), коріандр (*Dhania*), анісове насіння (*Soanf*), чорний перець (*Kalimirch*), тмин (*Ajwain*), перець стручковий (*Mirch powder*), кардамон (*badi Elaichi*), Імбир сушений (*Saundh*), кориця (*Dalchini*), гвоздика (*Laung*), лавровий лист (*Tej pat*), мускатний горіх (*Jaifal*), мейс (*Javitri*)) (1,5 г/100г), склад якої було запропоновано фахівцями ТМ «Торчин» (ПРАТ «Волиньхолдинг»).

Таблиця 1

Рецептурний склад контрольного та дослідних зразків нагетсів

Інгредієнти	Контроль	Зразок I	Зразок II	Зразок III
Нежирне м'ясо (г/100 г)	75.14	66.68	64.68	62.68
Хлорид натрію (г/100 г)	2.00	1.20	1.20	1.20
Гексаметафосфат натрія (г/100 г)	0.50	0.50	0.50	0.50
Нітрит натрію (мг/кг)	150	150	150	150
Суміш замітника солі (г/100 г)	–	1.26	1.26	1.26
Пластівці льоду (г/100 г)	6.50	6.50	6.50	6.50
Яєчний білок (г/100 г)	1.50	1.50	1.50	1.50
Олія соняшникова рафінована (г/100 г)	7.00	7.00	7.00	7.00
Суміш приправ (г/100 г)	3.00	3.00	3.00	3.00
Каррагінан (г/100 г)	0.75	0.75	0.75	0.75
Альгінат натрію (г/100 г)	0.10	0.10	0.10	0.10
М'якоть яблука (г/100 г)	–	8.00	10.00	12.00
Суміш спецій (г/100 г)	1.50	1.50	1.50	1.50
Борошно пшеничне рафіноване (г/100 г)	2.00	2.00	2.00	2.00

Перетерте яблуко (м'якоть яблука) було додано у кількості 8 г/100 г. (зразок I); 10 г/100 г. (зразок II) та 12 г/100 г. (зразок III).

Зразки нагетсів готували за загальноприйнятою технологією при жарінні протягом 5-6 хв при 18°C.

За результатами аналізу експериментальних даних доведено, що досліджувані зразки за такими показниками, як РН емульсії, РН продукту, стабільність емульсії, не гірші, ніж контрольний зразок. Збільшилася водоутримуюча здатність, незначно підвищився вихід при варінні та зменшився вміст білку на 9,6 – 16,7%. Суттєво підвищився вміст харчових волокон з 0,87 г/100 г до 1.79 (зразок I), 2.11г/100 г



(зразок II) та 2, 45г/100 г (зразок III). Активність води збільшилася з 0,81 до 0,84 (зразок I), 0,89 (зразок II) та 0,93 (зразок III).

Аналіз текстурного профілю (табл. 2 та рис. 2) виявив суттєві відмінності між контрольним та розробленими зразками за такими показниками як стабільність форми, крихкість, твердість, липкість та зусилля жування. За показниками адгезія, еластичність та когезія зміни були менш суттєвими.

Таблиця 2

Реологічні показники досліджуваних зразків нагетсів

Показники	Контроль	I	II	III
Стабільність форми	13,01 ± 0,64	16,36 ± 0,54	19,45 ± 1,1	24,28 ± 0,65
Здатність до руйнування, жорсткість	142,6 ± 0,82	175,48 ± 0,97	209,85 ± 1,02	256,76 ± 1,45
Твердість, Н/см ²	63,04 ± 2,61	43,73 ± 1,79	38,36 ± 1,75	33,34 ± 0,61
Адгезія, Нс	- 0,06 ± 0,02	- 0,07 ± 0,02	- 0,02 ± 0,03	- 0,04 ± 0,03
Еластичність	0,80 ± 0,02	0,82 ± 0,01	0,82 ± 0,01	0,84 ± 0,01
Когезія	0,42 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,004	0,38 ± 0,01
Липкість, Н/см ²	26,39 ± 1,16	15,81 ± 0,92	13,13 ± 0,93	12,78 ± 0,42
Зусилля жування, Н/см	20,93 ± 0,54	12,92 ± 0,78	11,14 ± 0,82	10,71 ± 0,26

Аналіз текстурних властивостей свідчить про їх позитивні зміни у дослідних зразків у порівнянні з контролем: покращилася стабільність форми та збільшилася майже у двічі (з 13,01 у контрольного зразка) до 24,28 (у зразку III); зменшилася твердість зразків, з 63,04 Н/см² (контроль) до 43, 73 Н/см² (зразок I), 38,36 Н/см² (зразок II) та 33,34 Н/см² (зразок III); зменшення частки солі та додавання яблука збільшило значення показника крихкості з 142,6 (контроль) до 175,48 (зразок I), 209,85 (зразок II) та 256, 76 (зразок III), підвищилася еластичність зразків на 4,3 – 4,7%; не суттєво зменшилася когезія та суттєво (на 41 – 51%) зменшилася липкість зразків та зусилля жування (на 38,3 – 48,8%).

Наведені зміни можуть бути пояснені зниженим вмістом загальної солі в рецептурі дослідних зразків, а також присутність м'якої текстура м'якоті яблука. Слід зазначити, що зміни описаних властивостей корелюють з кількістю доданої м'якоті яблука.

Отримані результати узгоджуються з результатами інших аналогічних досліджень, автори яких повідомляли про збільшення твердості продукту із збільшенням вміст солі та жиру [45, 46]. Так, зниження величина твердості сосисок з низьким вмістом жиру та харчових волокон спостерігалась із збільшенням концентрації

харчових волокон персика суспензія [47]. Подібні результати також були отримані авторами роботи [48] при дослідженні сухих ферментованих ковбас та котлет по-китайськи з низьким вмістом жиру.

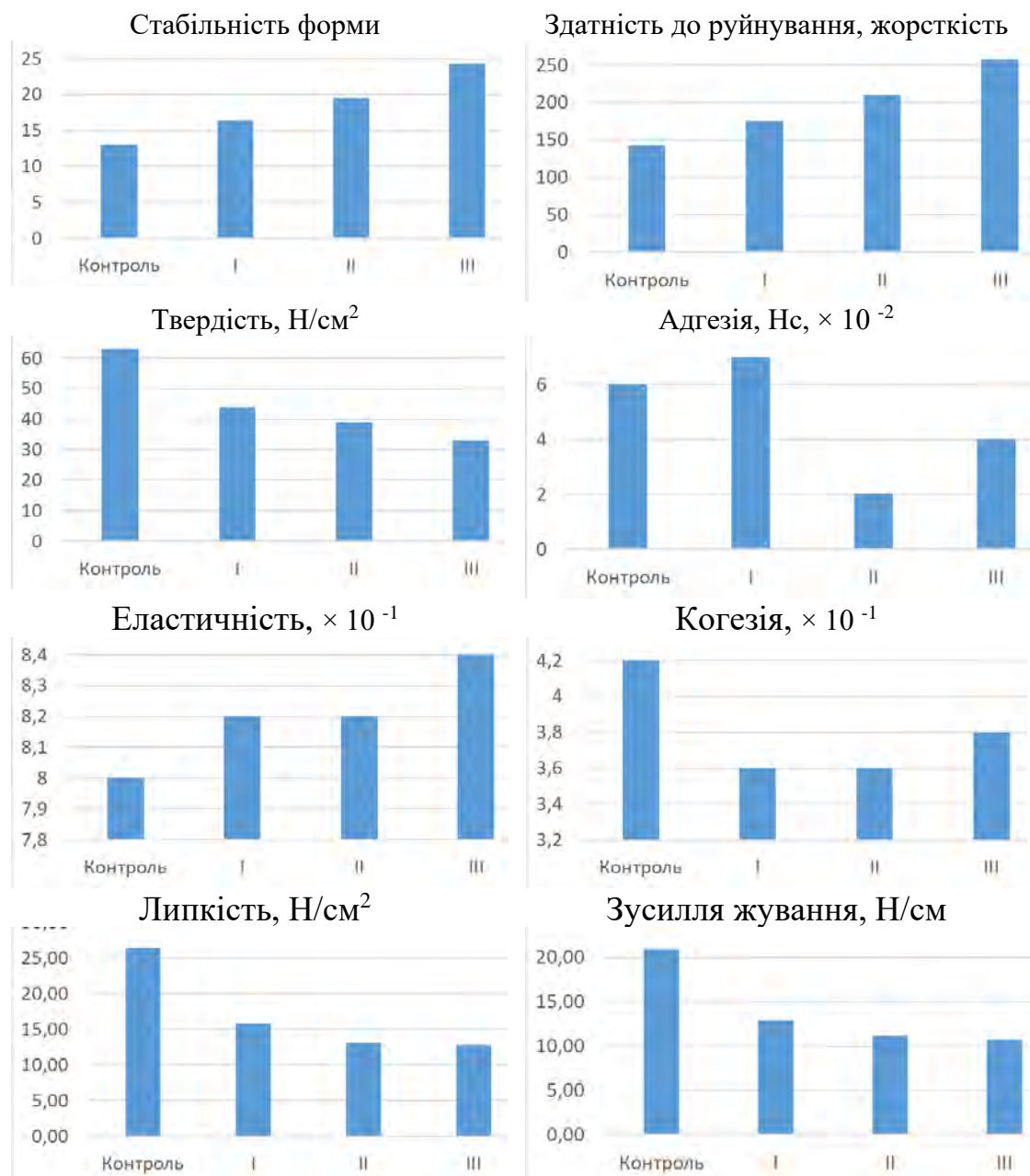


Рисунок 2. Реологічні показники досліджуваних зразків нагетсів

Аналіз результатів дослідження адгезії у контрольному та дослідних зразках нагетсів не дозволив встановити статистично значимі залежності між досліджуваними факторами. Це відповідає висновкам, зробленим у роботі [49] при дослідженні властивостей емульгованих свинячих котлет з рисовими висівками. Значення еластичності у зразку III було вищим, ніж контрольному зразку. Однак відмінності в значення еластичності у контролі та зразках I, II та III



були незначний. Про вищі значення величини пружності у сухих ферментованих ковбасах з низьким вмістом жиру, що містять волокна фруктів викладено у дослідженні [50]. Досліджувані зразки зразках I, II та III мали значно нижче значення когезії порівняно з контролем. Аналогічно, як повідомлялося у дослідженні [49], значення когезії котлет по-китайськи зменшувалося при включенні у рецептурний склад бактеріальної целюлози. Значення липкості та зусилля жування для контролю були значно вищими порівняно з досліджуваними зразками. Серед зразків найвищі значення липкості і зусилля жування спостерігали у зразку I. Отримані результати співпадають з результатами, описаними у роботі [49] про зниження жувальності у котлетах по-китайськи, що містять бактеріальну целюлозу (Ната). У дослідженні [51] також спостерігалася тенденція до зменшення показників липкості та зусилля жування нежирних сухих ферментованих ковбас, що містять інулін як замітник жиру та джерело розчинних дістичних волокон.

Результати досліджень кольору зразків курячих нагетсів наведені у табл. 3. Аналіз наведених результатів дозволяє констатувати, що введення м'якоті яблука призводить до зменшення значення показника L^* (світло-темрява) на 8,0 - 8,4% тобто до збільшення світлості зразків.

Таблиця 3

Результати приборного вимірювання кольору курячих нагетсів з низьким вмістом солі та додаванням м'якоті яблука; (n = 6)

Зразки	L^*	a^*	b^*
Контроль	33.64±0.91	13.61±0.07	14.24±0.25
I	28.77±0.69	14.52±0.62	13.70±0.20
II	28.17±0.83	16.02±0.25	13.21±0.16
III	27.19±0.78	16.39±1.08	12.43±0.23
Повна зміна кольору (ΔE)			
Зразок I у порівнянні з Контролем	5.24±1.51		
Зразок II у порівнянні з Контролем	6.22±1.70		
Зразок III у порівнянні з Контролем	7.30±1.05		

Збільшення коефіцієнту a^* (зелено-червоний) в 1,3 рази свідчить про посилення червоного кольору, що може бути пояснене присутністю шкірки червоного кольору у перетертому яблуці. Зменшення значення коефіцієнту b^* (жовто-синій) на 8,7% свідчить про посилення жовтого кольору у зразках нагетсів, що теж може бути пояснене присутністю м'якоті яблука, яка мала біло-жовтий колір.

Слід зазначити, що описані зміни мають постійну тенденцію змін



показників, яка залежить від кількості доданої м'якоті яблука.

Загальні зміни кольору (ΔE) була розраховані за рівнянням (1) та отримані шляхом порівняння контрольного зразку з усіма досліджуваними зразками (табл. 3). Загальна зміна кольору досліджуваних зразків нагетсів поступово зростала (5,24 – 6,22 – 7,30) в залежності від кількості доданої м'якоті яблука, що демонструє позитивний вплив даного інгредієнта на колір нагетсів. Отримані результати узгоджуються з результатами інших аналогічних досліджень, які зафіксували значне збільшення почервоніння ковбасних виробів (болонської ковбаси) при додаванні вареного лимону при нормі внесення 10 г/100 г вареного лимона альбеда [52].

Враховуючи, що рецептурний склад нагетсів було змінено (зменшена норма солі та введена м'якоть яблука, які можуть суттєво вплинути на всі органолептичні властивості), було проведено органолептичні дослідження за баловою системою з включенням додаткових показників органолептичних властивостей (табл. 4).

Таблиця 4

Результати органолептичного оцінювання властивостей курячих нагетсів з низьким вмістом солі та додаванням м'якоті яблука

Параметри	Контроль	Зразок I	Зразок II	Зразок III
Загальний вигляд	7.35 ± 0.07	7.36 ± 0.07	7.35 ± 0.08	7.37 ± 0.07
Смак	7.38 ± 0.07	7.22 ± 0.07	7.16 ± 0.08	7.03 ± 0.06
Текстура	7.38 ± 0.04	7.28 ± 0.06	7.07 ± 0.05	7.07 ± 0.06
Солоність	7.10 ± 0.07	7.10 ± 0.06	7.05 ± 0.05	6.99 ± 0.07
Соковитість	7.12 ± 0.04	7.06 ± 0.04	7.08 ± 0.05	7.12 ± 0.05
Загальна прийнятність	7.43 ± 0.07	7.25 ± 0.07	7.21 ± 0.05	7.37 ± 0.07
Середній бал	7,29	7,21	7,15	7,15

Середні оцінюваних властивостей (табл. 4) виявили незначні відмінності в показниках смаку, текстури та загальної прийнятності між контрольним та розробленими зразками нагетсів. Результати порівняння показників зовнішності та соковитості між контролем та розробленими зразками можна пояснити привабливим рожевим кольором та підвищеною вологістю вміст у м'якоті яблука відповідно.

Заміна звичайної солі сумішшю замінника солі давала оцінку солоності, подібну до контрольної. Оцінка смаку у контролі була вищою, оскільки порівняно зі зразками II та III. Однак, загальна оцінка органолептичних показників за середнім балом свідчить про незначну різницю контрольного та досліджуваних зразків. Зафіксована різниця: 0,08 бали для зразка I та 0,14 бали для зразків II та III знаходиться на



межі похибки визначення даних показників.

Серед розроблених зразків нагетсів показники смаку зменшилися зі збільшенням вмісту яблучної м'якоті. Нижчі показники смаку у зразків, які спостерігалися в цьому дослідженні, могли бути пов'язані із заміною звичайної солі та м'яким солодким фруктовим смаком, присутнім у яблучній м'якоті. Інтенсивність характерного смаку зменшується при зменшенні вмісту солі, що співпадає з результатами досліджень, наведених у роботі [53].

Оцінки текстури та загальна прийнятність у контрольному зразку є вищою у порівнянні з розробленими зразками нагетсів. Однак у розроблених зразках I, II і III відмінності в цих показниках були незначними. М'яка текстура м'якоті яблука могла сприяти зниженню показника текстури для цих зразків.

Порівняння наведених результатів досліджень свідчить, про незначне зниження сенсорних властивостей розроблених нагетсів, але, з урахуванням рецептурного складу можна стверджувати, що розроблена продукція є джерелом життєво важливих нутрієнтів, таких як: білки, збалансовані за амінокислотним складом (основним джерелом є м'ясо птиці); харчові волокна (клітковина яблука); вітаміни та мінеральні речовини. Розроблені зразки нагетсів відповідають вимогам, встановленим відповідними НТД.

Висновки. Доведено, що зменшення вмісту солі у курячих нагетсах з 2,0 до 1,2 г/100 гр (40%) шляхом додавання суміші заміників солі, що складалася з хлориду калію (0,2 г/100 г), лимонної кислоти (0,03 г/100 г), винної кислоти (0,03 г/100 г) та сахарози (1,0 г/100 г), суміші спецій та перетертого яблука у кількості 8 г/100 г. (зразок I); 10 г/100 г. (зразок II) та 12 г/100 г. (зразок III) та подальший аналіз їх текстурних а органолептичних властивостей свідчить про їх позитивні зміни дослідних зразків у порівнянні з контролем: покращилася стабільність форми; зменшилася твердість зразків, з 63,04 Н/см² (контроль) до 43,73 Н/см² (зразок I), 38,36 Н/см² (зразок II) та 33,34 Н/см² (зразок III); підвищилася еластичність зразків на 4,3 – 4,7%; несуттєво зменшилася когезія та суттєво (на 41 – 51%) зменшилася липкість зразків та зусилля жування (на 38,3 – 48,8%).

Аналіз результатів досліджень кольору зразків дозволяє констатувати, що введення м'якоті яблука призводить до збільшення світлості зразків та посилення жовтого кольору у зразках нагетсів. Описані зміни мають постійну тенденцію змін показників, яка залежить від кількості доданої м'якоті яблука.

Загальна зміна кольору досліджуваних зразків нагетсів поступово зростає в залежності від кількості доданої м'якоті яблука, що демонструє позитивний вплив даного інгредієнта на колір нагетсів.

Органолептичне оцінювання розроблених зразків курячих нагетів



за такими показниками, як загальний вигляд, смак, текстура, солоність, соковитість та загальна прийнятність показало деякі відмінності досліджуваних зразків у порівнянні з контролем. Деякі показники хоча і були наближеними до контролю, були нижчими.

Слід зазначити, що заміна частки солі сумішшю її замінників практично не вплинула на оцінку експертів за показником «солоність»: зменшення даного показника склало не більше 0,4% що відповідає розміру похибки визначення органолептичних показників.

Розроблені курячі нагетси з низьким вмістом солі та високим вмістом клітковини мали хорошим загальний сенсорним рейтингом: загальний середній бал склав 7,21 та 7,15 у порівнянні з 7,29 (контроль).

В цілому розроблений продукт – курячі нагетси з низьким вмістом солі та додаванням яблука – відповідає сучасним вимогам споживачів та може бути віднесеним до продукту що забезпечують здорове харчування.

Список використаних джерел

1. Wirth, F. Reducing the fat and sodium content of meat products. What possibilities are here? *Fleischwirtschaft*. 1991. 71, P. 294–297.
2. World Health Organization, “Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases,” Report of WHO Study Group, Technical Report Series No. 797, Geneva, 2002.
3. Kang Z. L., Zou Y. F., Xu X. L., Zhu C. Z., Wang P., Zhou G. H. Effect of a beating process, as a means of reducing salt content in chinese-style meatballs (kung-wan): a physico-chemical and textural study. *Meat Science*. 2014. 96(2), P. 669–674.
4. Alvarez, D., Castillo, M., Payne, F.A., Garrido, M.D., Banón, S., & Xiong, Y.L. Prediction of meat emulsion stability using reflection photometry. *Journal of Food Engineering*. 2007. 82, P. 310–315.
5. Yao, J., Zhou, Y., Chen, X., Ma, F., Li, P., & Chen, C. Effect of sodium alginate with three molecular weight forms on the water holding capacity of chicken breast myosin gel. *Food Chemistry*. 2017. 239, P. 1134–1142.
6. Inguglia, E. S., Zhang, Z., Tiwari, B. K., Kerry, J. P., & Burgess, C. M. Salt reduction strategies in processed meat products - A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. 59, P. 70–78.
7. Kang, Z. L., Hu, S. J., Zhu, D. Y., & Ma, H. J. Effect of sodium chloride and processing methods on protein aggregation, physical-chemical and rheological properties of pork batters. *International Journal of Food Engineer*. 2018. 14, P. 5–6.
8. Lu, F., Kang, Z. L., Wei, L. P., & Li, Y. P. Effect of sodium bicarbonate on gel properties and protein conformation of phosphorus-free chicken meat batters. *Arabian Journal of Chemistry*. 2021. 14(2), 102969.



9. Wang, S., Lin, R., Cheng, S., Wang, Z., & Tan, M. Assessment of water mobility in surf clam and soy protein system during gelation using lf-nmr technique. *Foods*. 2020. 9(2), 213.
10. Li, Y., Kang, Z., Sukmanov, V., & Ma, H. Effects of soy protein isolate on gel properties and water holding capacity of reduced-salt pork myofibrillar protein under high pressure processing. *Meat science* 2021. 176, 108471.
11. Jimenez-Colmenero, F., Carballo, J., & Cofrades, S. (2001). Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Science*. 2001. 59, P. 5–13.
12. Hand, L. W., Terrell, R. N., Zhou, G, H., & Smith, G. C. Effects of chloride salts on physical, chemical and sensory properties of frankfurters. *Journal of Food Science*. 1982. 47 (6), P. 1800–1802.
13. Kumar, M., & Sharma, B. D. Quality and storage stability of low fat pork patties containing barley flour as fat substitute. *Journal of Food Science and Technology*. 2004. 41, P. 496–502.
14. Serdaroglu, M., Yildiz-Turp, G., & Abrodimov, K. Quality of low fat meatballs containing legume flours as extenders. *Meat Science*. 2005. 70, P. 99–105.
15. Yilmaz, I. Effects of rye bran addition on fatty acid composition and quality characteristics of low-fat meatballs. *Meat Science*. 2004. 67, P. 245–249.
16. Romans, J. R., Costello, W. J., Carlson, C. W., Greaser, M. L., & Jones, K. W. The meat we eat. Danville, IL: Interstate Publisher, Inc. 1994.
17. Gillette, M. Flavour effect of sodium chloride. *Food Technology*. 1985. 39, 47–52, 57.
18. Terrell, R. N. Reducing the sodium content of processed meat. *Food Technology*. 1983. 37, P. 66–71.
19. Sofos, J. N., & Busta, F. F. Alternatives to the use of nitrite as an antitibotulinal agent. *Food Technology*. 1980. 34, 244.
20. Ruusunen, M., Sarkka-Tirkkonen, M., & Puolanne, E. The effect of salt reduction on taste pleasantness in cooked bologna type sausages. *Journal of Sensory Studies*. 1999. 14, P. 263–270.
21. Ruusunen, M., Vainionppa, J., Lyly, M., Lahteenmaki, L., Niemisto, M., Ahvenainen, R., et al. Reducing the sodium content in meat products: the effect of the formulation in low-sodium ground meat patties. *Meat Science*. 2005. 69, P. 53–60.
22. Khate, K. Development of designer pork sausages with low salt and fat. Ph.D. thesis, submitted to Deemed University. IVRI, Izatnagar, UP, India. 2007.
23. Inguglia, E. S., Zhang, Z., Tiwari, B. K., Kerry, J. P., & Burgess, C. M. Salt reduction strategies in processed meat products - A review. *Trends*



in *Food Science & Technology*. 2017. 59, P. 70–78.

24. Mariutti, L. R., & Bragagnolo, N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: a review. *Food Research International*. 2017. 94, P. 90–100.

25. Colmenero, F. J., Ayo, M. J., & Carballo, J. Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, kcl and dietary fibre as salt replacers. *Meat science*. 2005. 69(4), P. 781–788.

26. Kang, Z., Li, B., Ma, H., & Chen, F. Effect of different processing methods and salt content on the physicochemical and rheological properties of meat batters. *International Journal of Food Properties*. 2016. 19(7), P. 1604–1615.

27. Zhang, Y., Wu, J., Jamali, M. A., Guo, X., & Peng, Z. Heat-induced gel properties of porcine myosin in a sodium chloride solution containing L-lysine and L-histidine. *LWT - Food Science and Technology*. 2017. 85, P. 16–21.

28. Angus, F., Phelps, T., Clegg, S., Narain, C., Den Ridder, C., and Kilcast, D. Salt in Processed Foods: Collaborative Research Project. Leatherhead Food International. 2006.

29. Pasin, G., O'Mahony, G., York, B., Weitzel, B., Gabriel, L., & Zeidler, G. Replacement of sodium chloride by modified potassium chloride (co-crystallised disodium-50-inosinate and disodium-50-guanylate with potassium chloride) in fresh pork sausages. *Journal of Food Science*. 1989 54(3), P. 553–555.

30. Rospolski, V., Koutchma, T., Xue, J., Defelice, C., & Balamurugan, S. Effects of high hydrostatic pressure processing parameters and NaCl concentration on the physical properties, texture and quality of white chicken meat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015. 30, P. 31–42.

31. Triki, M., Khemakhem, I., Trigui, I., Ben Salah, R., Jaballi, S., Ruiz-Capillas, C., Ayadi, M. A., Attia, H., & Besbes, S. Free-sodium salts mixture and AlgySalt® use as NaCl substitutes in fresh and cooked meat products intended for the hypertensive population. *Meat Science*. 2017. 133, P. 194–203.

32. Gonçales, I., Torre, M., & Saura-Calixto, F. Determination of dietary fibre in cider wastes. Comparison of methods. *Food Chemistry*. 1989. 33, P. 151–159.

33. Gorinstein, S., Z. Zachwieja, M. Folta, H. Barton, J. Piotrowicz, M. Zemser, M. Weisz, S. Trakhtenberg and O. Martín-Belloso. Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *J. Agr. Food Chem*. 2001. 49: P. 952–957.

34. Wijngaard, H.H., C. Rößle and N. Brunton. A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic



antioxidants. *Food Chem.* 2009. 116: P. 202–207.

35. O'Shea, N., E.K. Arendt and E. Gallagher. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable byproducts and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 2012. 16: P. 1–10.

36. Rosell, C.M., E. Santos and C. Collar. 2009. Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Res. Int.* 2009. 42: P. 176–184.

37. Verma, A.K., B.D. Sharma and R. Banerjee. Effect of sodium chloride replacement and apple pulp inclusion on the physicochemical, textural and sensory properties of low fat chicken nuggets. *LWT-Food Sci. Technol.* 2010. 43: P. 715–719.

38. Yadav, S., A. Malik, A. Pathera, R.U. Islam and D. Sharma. Development of dietary fibre enriched chicken sausages by incorporating corn bran, dried apple pomace and dried tomato pomace. *Nutr. Food Sci.* 2016. 46(1): P. 16–29.

39. Lantto, R., P. Plathin, M. Niemistö, J. Buchert and K. Autio. Effects of transglutaminase, tyrosinase and freeze-dried apple pomace powder on gel forming and structure of pork meat. *LWT-Food Sci. Technol.* 2006. 39: P. 1117–1124.

40. Huda, A.B., S. Parveen, S.A. Rather, R. Akhter and M. Hassan. Effect of incorporation of apple pomace on the physico-chemical, sensory and textural properties of mutton nuggets. *International Journal of Advanced Research.* 2014. 2: P. 974–983.

41. Operating instructions texture analyzer TA-XT plus (Stable Micro Systems Ltd., UK). 82.

42. Trespalacios, P., & Pla, R. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chemistry.* 2007. 100(1), P. 264–272.

43. Froehlich, D. A., Gullet, E. A., & Usborne, W. R. Effect of nitrite and salt on the colour, flavour and overall acceptability of ham. *Journal of Food Science.* 1983. 48, P. 152–154.

44. Chai, S.C., S. Hooshmand, R.L. Saadat, M.E. Payton, K. Brummel-Smith and B.H. Arjmandi. Daily apple versus dried plum: Impact on cardiovascular disease risk factors in postmenopausal women. *J. Acad. Nutr. Diet.* 2012. 112: P. 1158–1168.

45. Carballo, J., Fernandez, P., Barreto, G., Solas, M. T., & Jimenez-Colmenero, F. Morphology and texture of bologna sausages as related to content of fat, starch and egg white. *Journal of Food Science.* 1996. 61, P. 652–655.

46. Matulis, R. J., Mckeith, F. K., Sutherland, J. W., & Brewer, M. S. Sensory characteristics of frankfurters as affected by fat, salt and pH. *Journal of Food Science.* 1995. 60, P. 42–47.



47. Nuria Grigelmo-Miguel, Shela Gorinstein, Olga MartõAn-Belloso. Characterisation of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. *Food Chemistry*. 1999. 65 P. 175–181.
48. Ruusunen, M., & Puolanne, E. Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*. 2005. 70, P. 531–541.
49. Lin, K. W., & Lin, H. Y. Quality characteristics of Chinese-style meatball containing bacterial cellulose (Nata). *Journal of Food Science*. 2004. 69, P. 107–111.
50. Garcia, M. L., Dominguez, R., Galvez, M. D., Casas, C., & Selgas, M. D. Utilization of cereal and fruit fibres in low fat dry fermented sausages. *Meat Science*. 2022. 60, P. 227–236.
51. O'Shea, N., E.K. Arendt and E. Gallagher. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable byproducts and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2012. 16: P. 1–10.
52. Fernandez-Gine, J. M., Fernandez-Lopez, J., Sayas-Barbera, E., Sendra, E., & Perez-Alvarez, J. A. Lemon albedo as a new source of dietary fiber: application to bologna sausages. *Meat Science*. 2004. 67, P. 7–13.
53. Ruusunen, M. and Puolanne, E. Reducing Sodium Intake from Meat Products. *Meat Science*. 2005. 70, P. 531–541.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2023 р.

V. O. Sukmanov, I. S. Mulko.
Poltava State Agrarian University

STUDY OF THE RHEOLOGICAL AND ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF CHICKEN NUGGETS WITH LOW SODIUM CHLORIDE CONTENT AND THE ADDITION OF APPLE

Summary

The article presents the results of research on the rheological and organoleptic properties of chicken nuggets made with a partial replacement of salt with a mixture of its substitutes, a mixture of spices and the addition of grated apple. It has been proven that reducing the salt content in chicken nuggets from 2.0 to 1.2 g/100 g (40%) by adding a mixture of salt substitutes consisting of potassium chloride (0.2 g/100 g), citric acid (0.03 g/100 g), tartaric acid (0.03 g/100 g) and sucrose (1.0 g/100 g), a mixture of spices and grated apple in the amount of 8 g/100 g (sample I); 10 g/100 g (sample II) and 12 g/100 g (sample III) and further analysis of their textural and organoleptic properties shows their positive changes in the test samples compared to the control: shape stability improved; the hardness of the samples decreased, from 63.04 N/cm² (control) to 43.73 N/cm² (sample I), 38.36 N/cm² (sample II) and 33.34 N/cm² (sample III); the elasticity of the samples increased by 4.3 - 4.7%; the cohesion decreased significantly and the stickiness of the samples decreased significantly (by 41 – 51%) and the chewing effort (by 38.3 – 48.8%).

The analysis of the results of studies on the color of the samples allows us to state



that the introduction of apple pulp leads to an increase in the lightness of the samples and an increase in the yellow color in the nuggets samples. The described changes have a constant trend of changes in indicators, which depends on the amount of added apple pulp. The general change in the color of the studied samples of nuggets gradually increases depending on the amount of added apple pulp, which demonstrates the positive effect of this ingredient on the color of the nuggets.

Organoleptic evaluation of the developed samples of chicken nuggets according to indicators such as general appearance, taste, texture, saltiness, juiciness and general acceptability showed some differences of the studied samples compared to the control. Although some indicators were close to the control, they were lower.

It should be noted that the replacement of a portion of salt with a mixture of its substitutes practically did not affect the assessment of experts according to the "saltiness" indicator: the decrease in this indicator was no more than 0.4%, which corresponds to the size of the error in the determination of organoleptic indicators.

The developed low-salt, high-fiber chicken nuggets had a good overall sensory rating, with an overall mean score of 7.21 and 7.15 compared to 7.29 (control). Evaluation of overall appearance, taste, texture, saltiness, juiciness, overall acceptance and mean score showed some differences of the samples compared to the control, but overall the developed product meets consumer requirements and can be classified as a healthy food product.

Key words: chicken nuggets, sodium chloride, salt substitutes, apple pulp, rheology, organoleptics.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-18

УДК 664.858:006.3/8

Т. О. Кузьміна, д.т.н., проф

ORCID: 0000-0002-6113-1923

К. В. Зубкова, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-8672-0855

О. В. Стоянова, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-6479-5936

О. І. Мамай, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-2591-8059

Т. О. Яковенко

ORCID: 0000-0002-1616-8997

Херсонський національний технічний університет

e-mail: ekaterina_zubkova@ukr.net тел.: 050-512-21-66

РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ФРУКТОВИХ ДЖЕМІВ ДЛЯ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ХАРЧУВАННЯ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

Анотація. У роботі розглянуто можливість використання натурального цукрозамінника, а саме стевіозиду у виробництві джемів. Для розробки рецептури джему профілактичної дії за основу взяли джем сливовий, основними компонентами якого є сливи і цукор. У статті розроблено рецептуру джему профілактичної дії, цукор частково замінено натуральним цукрозамінником. Проведені органолептичні дослідження експериментальних зразків джему, свідчать про приємний, насичений і оригінальний смак. За отриманими від дегустаційної комісії результатами органолептичної оцінки зразків джему та результати фізико-хімічних досліджень, обрано зразок, що має найкращі показники.

Ключові слова: джем, цукрозамінник, стевіозид, сертифікація, рецептурний склад, технологічна схема, органолептична оцінка, фізико-хімічні показники.

Постановка проблеми. Сучасне виробництво концентрованих фруктових консервів (повидло, джеми, варення) спрямовано на вдосконалення існуючих технологій або на розширення асортименту продуктів харчування, поліпшення їх якості та надання профілактичної дії. На сьогоднішній день основною тенденцією є орієнтація на здорове харчування, що пов'язано зі зростаючою популярністю органічної та екологічно чистої продукції. Органічний світовий ринок є найбільш стабільно зростаючим ринком протягом останніх 10 років. Імідж України як країни-експортера органічної продукції поступово покращується, а в умовах пандемії Україна показала себе надійним постачальником. Більшість українських виробників орієнтуються на



експорт та сертифікуються відповідно до міжнародних органічних стандартів. Найчастіше це органічні стандарти Європейського Союзу (Регламент Ради ЄС №834/2007 та Регламент Комісії ЄС №889/2008) та стандарти США (NOP) [1]. Варто зазначити, що стандарти Європейського Союзу використовуються операторами ринку як для експорту, так і для позиціонування своєї органічної продукції на внутрішньому ринку України. Така законодавча можливість також закріплена в останніх змінах до Закону України «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції», що набули чинності 5 серпня 2021 року. Залежно від цільового ринку, виробники керуються й іншими стандартами, серед яких COR (Канада), Bio Suisse (Швейцарія), Bioland та Naturland (Німеччина), Soil Association (Велика Британія), KRAV (Швеція) [1].

Основна органічна продукція, що експортується з України, – це зернові, олійні та бобові культури, дикорослі ягоди, гриби, горіхи та лікарські трави. За оціночними даними органу сертифікації «Органік Стандарт», збільшується експорт органічної соняшникової олії, меду, замороженої ягоди, яблучного соку та інших продуктів. Експорт фруктових та ягідних джемів дуже низький. Останнім часом, з урахуванням сучасних вимог науки про харчування, розширюється виробництво профілактичних низькокалорійних продуктів в різних галузях харчової промисловості з використанням цукрозамінників, призначених для людей, хворих на цукровий діабет, ожиріння, серцево-судинні порушення.

На українському ринку працює група компаній з випуску фруктових і ягідних джемів: ТМ «Верес», ТМ «Гайсин», ТМ «Дари ланів», ТМ «Holiday», ТМ «Еммі», ТМ «Шафран Еліт», ТМ «Корисна Кондитерська». Мережі супермаркетів випускають свої власні лінійки джемів. Ця продукція відрізняється низькою ціною і неширокою лінійкою смаків (вишня, полуниця, абрикос), 50 % полиць з плодових консервів в супермаркетах і магазинах займають імпортні джеми. Багато імпортних джемів не містять цукру. Наприклад, французькі джеми фірми St. Dalfour, італійські джеми фірми Bioitalia, німецькі джеми фірми SCHNEEKORPE, грецькі – фірми Helios, британські – фірми JimJams і Wilkin & Sons.

Підсумовуючи, можна сказати, що внутрішній ринок органічних фруктових та ягідних джемів розвивається та має тенденцію до зростання. Після підписання Угоди про вільну торгівлю з ЄС українські виробники джемів будуть поступово виходити на європейський ринок. Головне – отримати європейські сертифікати якості. Для підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції необхідно впроваджувати сучасні технології фруктових джемів на основі органічної сировини з використанням цукрозамінників відповідно до



міжнародних стандартів. Тому виробництво фруктових джемів профілактичного харчування є перспективним напрямом для плодоовочевих переробних підприємств.

Аналіз останніх досліджень. Сучасна технологія фруктових джемів базується на результатах багаторічних праць вітчизняних вчених. Паралельно з традиційними продуктами останніми роками в нашій країні та за кордоном все більше розповсюдження отримують комбіновані фруктові та овочеві продукти. Асортимент цукрозамінників у світі досить різноманітний і продовжує удосконалюватись. До них відносяться цукрозамінники, отримані як із натуральної, так і з синтетичної сировини. Але використання останніх потребує особливого контролю.

Теоретичні та практичні основи створення продуктів профілактичного призначення з регульованим складом наведені в працях А. К. Д'яконова, Н. Н. Ліпатова, І. А. Рогова, А. Г. Храмцова, В. Г. Висоцького, Н. А. Тихомирової, Н. Б. Гаврилової, Р. Ю. Павлюк, а також інших вітчизняних і зарубіжних вчених [3-6, 11-14].

Популярність застосування інтенсивних синтетичних підсолоджувачів у харчовій промисловості пов'язана з їх високим цукровим еквівалентом та низькими цінами, що досить вигідно з економічного погляду. Використання підсолоджувачів замість цукру в харчових продуктах і напоях суттєво здешевлює кінцевий продукт. Проте, керуючись лише очевидною вигодою в отриманні прибутків, можна вагомо нашкодити здоров'ю людини, особливо дітям, оскільки синтетичні підсолоджувачі в організмі перетворюються на токсичні речовини. Сучасні умови цукрового ринку, вимоги науки про збалансоване харчування, потреба відновлення та захисту здоров'я населення вимагають розширити асортимент харчових продуктів профілактичної дії за рахунок використання натуральних цукрозамінників. До натуральних цукрозамінників належать цукри, отримані промисловим шляхом із природної сировини, наприклад, із стевії. Науковцями виявлена не лише гіполікемічна дія стевіозиду, а й антивірусна, антибактеріальна та антигрибкова [2].

У роботі [3] науковці Бачинська Я. О та Степанова О. А досліджували склад вишневого джему з додаванням стевії. Для регулювання реологічних властивостей джему в рецептуру додавали пюре з яблук та смородини. Результати досліджень підтверджують доцільність використання природного підсолоджувача із листя стевії при виробництві фруктових джемів. Але, даний спосіб потребує додаткової сировини, яка містить пектин, що значно впливає на собівартість вишневого джему.

У дослідженні [4] автори пропонують спосіб виготовлення варення низькокалорійного з манго шляхом заміни сахарози



альтернативними підсолоджувачами стевіозидом і сукралозою (25 %). Науковці досліджували вплив заміни стевіозиду та сукралози на реологічні, спектральні та мікроструктурні характеристики варення з манго. У роботі [5] автори запропонували рецептуру низькокалорійного варення з ожини та досліджували в'язкість, активність води та біоактивні сполуки (антоціани, загальний поліфенол і вітамін С). Результати цих досліджень обґрунтовують доцільність використання натуральних підсолоджувачів.

У роботі [6] виконано сенсорний аналіз та визначено фізико-хімічні властивості яблучних консервів з низьким вмістом цукру, в якому цукор замінювали різною кількістю стевіолових глікозидів (СГ). У той же час, незважаючи на інтенсивні дослідження в області створення функціональних харчових продуктів, актуальність проблеми розроблення фруктових джемів з використанням натуральних цукрозамінників є очевидною.

Аналіз міжнародних стандартів [7, 8, 9] показав, що рівень адаптації національного законодавства, яке регулює вимоги до фруктових джемів (варення), желе, мармеладу до вимог правових актів ЄС є недостатнім, а питання безпечності цукрів та цукрозамінників не врегульоване. Виробництво концентрованих фруктових консервів на консервних підприємствах потребує використання сучасних технологій з метою підвищення їх якості відповідно до міжнародних стандартів.

Проведений аналіз наукової літератури свідчить про те, що інноваційні підходи при розробці продуктів профілактичної дії (імуномодельюючої та радіозахисної) полягають у впровадженні в виробництво технологій концентрованих фруктових джемів з використанням цукрозамінників. Тому розробка технологічних схем і рецептур фруктових джемів для профілактичного харчування потребує удосконалення.

Формулювання мети статті. Метою роботи є підвищення якості фруктових джемів профілактичного харчування відповідно до вимог міжнародних стандартів. Основні завдання дослідження:

- аналіз останніх досліджень і публікацій відповідності вітчизняних стандартів на профілактичні продукти харчування міжнародним;
- розробити технологічну схему виробництва сливового джему з частковою заміною цукру на стевіозид;
- провести технологічний і мікробіологічний контроль нових видів консервів відповідно до вимог НАССР.

Основна частина. До концентрованих фруктових консервів належать продукти, консервовані цукром, які отримують уварюванням плодів і ягід або їх напівфабрикатів з цукром до концентрації 57–70 %



сухих речовин. Висока концентрація цукру надає продуктам певних смакових і структурних властивостей, підвищує їх харчову цінність і має консервуючу дію. Джем – це продукт із плодів і ягід (свіжих, заморожених або сульфатованих), які уварені в цукровому сиропі, що має желеподібну консистенцію. Желейні властивості забезпечуються наявністю в плодах і ягодах пектинових речовин (не менше 1 %) і харчових кислот (близько 1 %) з прянощами або без них. Іноді, до основної сировини, для підвищення желуючої дії, вносять харчовий пектиновий порошок або сік плодів (аґрус, сливи, яблука деяких сортів), які містять велику кількість пектинових речовин. У директиві ЄС [8], що стосується фруктових джемів, желе і мармеладу, призначених для вживання в їжу людиною, описані особливості цих продуктів. Відповідно, наприклад, мармелад дозволений тільки з варених цитрусових, а фруктові джеми повинні складатися мінімум з 35 % фруктів. Желе також має містити 35 % фруктів, але може бути вироблено з соку або рідкої фруктової есенції, тому не повинно містити шматочків фруктів. Однак, незалежно від того, який саме асортимент виробляють – мармеладу, джему або желе, всі вони повинні мати вміст цукру мінімум 55 %. Фруктові пасти, які виробляються з використанням альтернативних підсолоджувачів, наприклад, з сиропом аґави або Stevia, не підпадають під дію цієї директиви ЄС. Це означає, що, якщо цукор не використовується, ці фруктові продукти не можна називати мармеладом, джемом або желе, і тому вони називаються фруктовими пастами. Згідно з міжнародним законодавством у сфері використання харчових добавок – Загальний стандарт на харчові добавки «CODEX GENERAL STANDARD FOR FOOD ADDITIVES» Codex Stan 192–1995 та європейського законодавства – Регламент ЄС № 1131/2011 від 11 листопада 2011 року (Commission Regulation (EU) No 1131/2011 of 11 November 2011 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council with regard to steviol glycosides), харчова добавка E 960 стевіол глікозиди включена до загального списку харчових добавок і дозволена до використання у виробництві різноманітних харчових продуктів, а саме безалкогольних та алкогольних напоїв, пива, кондитерських та хлібобулочних виробів, десертів, соусів, джемів, желе, мармеладу, ароматизованих молочних продуктів, жувальної гумки, під-солоджувачів до столу, дієтичних добавок та інших [9]. Вміст цукрозамінників і фруктів в фруктових пастах не регулюється, тому деякі фруктові пасти містять до 80 % фруктів без додавання цукру. Якщо не використовувати цукор і замість цього використовувати стевіозид, то отримати стабільну консистенцію продукту складно (можливо розшарування). Тому необхідно використовувати стабілізатори або додавати сировину, що містить

пектин.

Враховуючи необхідність розробки продуктів профілактичної дії та впровадження у виробництво технологій концентрованих фруктових джемів з використанням цукрозамінників, авторами запропоновано виробництво сливового джему з використанням стевіозиду. Смак стевіозиду дуже схожий до смакових властивостей цукру, але коефіцієнт солодкості стевіозиду, по відношенню до цукру, складає 1:200. На відміну від цукру, стевіозид не вступає в реакції меланоїдиноутворення і не викликає потемніння продукту в процесі виробництва та зберігання. Він не зброджується мікроорганізмами, підкреслює ароматичні властивості сировини, створює насиченість смаку у продукті. При визначенні масової частки цукрозамінника, керувалися коефіцієнтом солодкості, який дорівнює 1:200 (по відношенню до цукрози). Склад рецептури дозволяє знизити калорійність джему, при цьому органолептичні і фізико-хімічні властивості повністю відповідають вимогам якості.

В результаті проведених досліджень розроблена технологічна схема консервів «Джем сливовий» профілактичної дії (рис. 1).

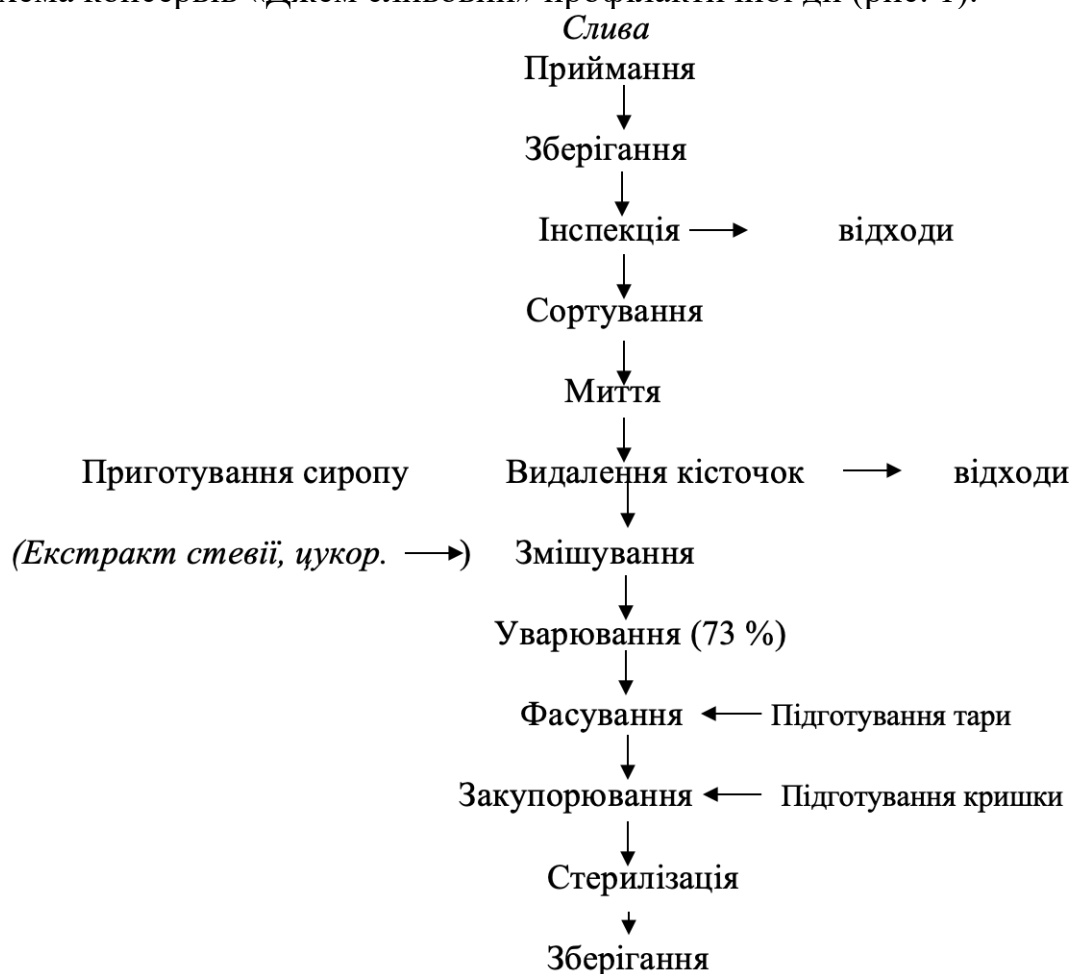


Рисунок 1. Технологічна схема виробництва консервів «Джем сливовий» профілактичної дії

У дослідженнях використовувалися сливи сортів: Персикова і Монфор. Якість сировини оцінювали згідно ДСТУ 8320-2015 «Слива свіжа. Загальні технічні умови».

Технологічна схема включає такі операції: транспортування, приймання, зберігання, інспекцію, сортування, миття, видалення кісточок, змішування (згідно рецептури), уварювання (до 73 % с. р.), фасування, закупорювання, стерилізація, зберігання.

Вміст сухих речовин у джемі контролюється електронним рефрактометром і має бути не менше 73 %. Екстракт стевії за завод доставляється у вигляді порошку з індексом солодкості 2,5. Кількість екстракту стевії, яку додають до джему, встановлюють дослідними варіннями в лабораторії. Доза внесення екстракту стевії обумовлюється рецептурами на виробництво фруктового джему, але вона не повинна перевищувати 1000 г на 1 т джему.

У виробництві джему використовується нова технологія – boule. Цей метод передбачає розміщення фруктів в спеціальних закритих варильних ємностях при зниженому тиску 10 – 15 хв, що дозволяє проводити процес кипіння при низьких температурах (45 °С) і отримати готовий джем високої якості.

Діаграма органолептичної оцінки консервів за розробленою рецептурою показана на рисунку 2.

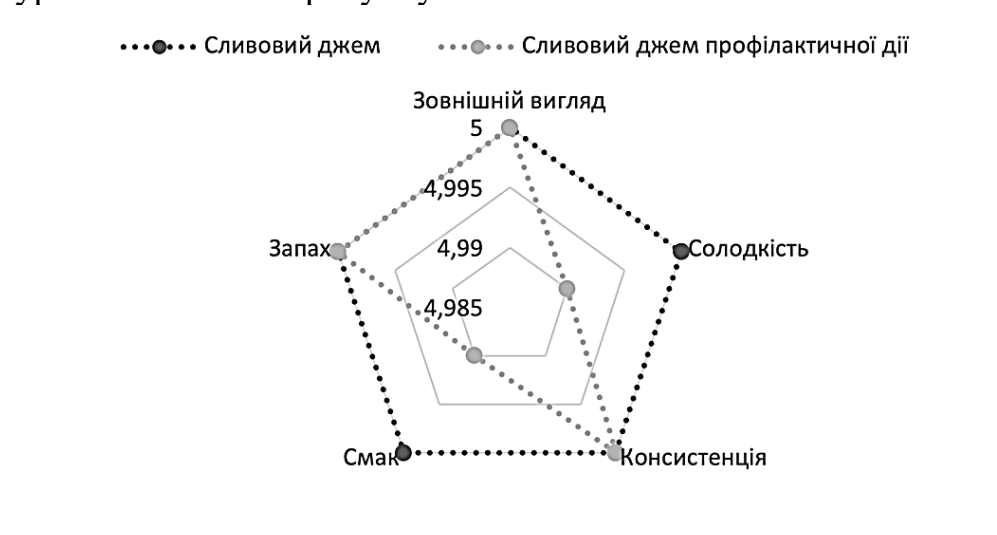


Рисунок 2. Діаграма органолептичної оцінки консервів за розробленою рецептурою

Схема хімічно-технологічного і мікробіологічного контролю виробництва консервів наведено у таблиці 1.

За результатами дегустаційної комісії було отримано позитивні дані щодо органолептичних показників якості, що не суперечать вимогам відповідної нормативної документації [10].



Таблиця 1

Схема хімічно-технологічного і мікробіологічного контролю виробництва консервів

№ п/п	Операція, що контролюється	Показник, що контролюється	Метод контролю	Тривалість контролю
1	Сировина на сировинному майданчику	Відповідність до ДСТУ 8320:2015 «Слива свіжа. Загальні технічні умови»	Органолептичний, технічний	Кожна партія
2	Інспекція і сортування	Якість сортування за ступенем зрілості та розміром	Органолептичний, технічний	4-5 разів у зміну для кожного виду сировини
3	Миття	Якість миття, тиск води	Органолептичний, технічний, мікробіологічний	Постійно
4	Змішування компонентів	Масова частка сухих речовин, маса	Показання рефрактометра, ваговий контроль	Кожна партія
5	Уварювання	Температура, масова частка сухих речовин	Показання рефрактометра, термометра	Постійно
6	Фасування	Тара (якість, чистота), маса нетто	Органолептичний, показання термометра, ваговий контроль	Постійно
7	Закупорювання	Якість укупорювання, міцність закупорювання	Технічний, показання манометра	Кожна партія кожну годину
8	Стерилізація	Температура, час	Показання термометра, таймеру	Кожна партія
9	Готова продукція	Відповідність ДСТУ 4900:2007. Джеми. Загальні технічні умови. Правильність маркування, якість етикетування, кількість браку	технічний, мікробіологічний Візуально Візуально	Кожна партія



Зовнішній вигляд і консистенція – маса не протертих плодів і ягід, яка мажеться і не розтікається на горизонтальній поверхні. Допускається повільне розтікання на горизонтальній поверхні.

Смак і запах – властиві плодам, із яких виготовлений джем.

Колір – однорідний, відповідає кольору плодів, з яких виготовлений джем.

Для джемів першого сорту допускається коричневий відтінок, якщо вони виготовлені із світлозabarвлених плодів; буруватий відтінок – якщо з плодів з темною м'якоттю.

Масова частка розчинних сухих речовин не менше 68 %.

Масова частка сорбінової кислоти, не більше 0,05 %.

Масова частка мінеральних домішок не більше 0,01 %.

Масова частка домішок органічного походження для вищого сорту не більше 0,02 %, першого – 0,03 %.

Існують дві основні вимоги до рецептури джемів, у яких відбувається заміна цукру на натуральні підсоложувачі: ця заміна повинна бути економічно вигідною і споживачі не повинні відчутися жодних змін смаку після такої заміни. Заміна цукру може відбуватися частково або з 100 %-вою заміною. Враховуючи ці вимоги, було проведено визначення оптимальної кількості заміни цукру на стевіозид.

Авторами було проведено математичне моделювання, під час якого було встановлено оптимальне співвідношення, за якого можна вводити підсоложувач. За основу побудови математичної моделі було взято лінійну однофакторну регресійну модель (1)

$$y_i = ax + b, \quad (1)$$

де y_i – фізико-хімічні показники;

x – кількість стевії;

a, b – коефіцієнт регресійної моделі.

За формулою 1 було розраховано коефіцієнти залежності основних фізико-хімічних показників від кількості стевії, доданої до джему.

Завдяки математичному моделюванню встановлено взаємодію різних факторів, які впливають на якісний склад продукту. Обрано оптимальну концентрацію цукрозамінника, яку можна вводити під час виробництва.

Висновки. На підставі проведених досліджень, встановлено, що: 1) вітчизняні виробники вже починають сертифікувати свою продукцію, у більшості випадків призначену для експорту, за стандартами ISO, GMP, IFS, BRC, Global GAP, Codex Alimentarius. Слід зазначити, що наявність сертифікату на систему менеджменту безпеки харчової



продукції, заснованої на принципах НАССР, не відкриє виробнику дорогу в ЄС. Необхідно ще відповідати показникам безпеки продукції, викладеним у Регламентах і Директивах ЄС. Таким чином, однією з проблем функціонування системи НАССР є відсутність достатньої кількості технічних регламентів. У Європейському Союзі питання безпеки та якості харчових продуктів у ланцюгу «від лану до столу» (методика НАССР) регулюється близько 400 європейськими директивами. Для створення аналогічної системи їх необхідно запровадити в законодавство України, а також пов'язаних з ними стандартів Кодексу Аліментаріус;

2) за результатами дослідження розроблена рецептура сливового джему з використанням стевіозиду, яка дозволяє значно знизити калорійність продуктів, при цьому органолептичні і фізико-хімічні властивості повністю відповідають вимогам, які висуваються до продуктів профілактичного харчування;

3) впровадження нового асортименту дозволяє підвищити експорт фруктових джемів в країни ЄС.

Список використаних джерел

1. Дослідження органічного ринку України (2019-2020) р./ Галашевський С. та ін. Київ, 2021. 66 с. URL: https://organic.info.ua/Market_study_2019-2020_web.pdf (дата звернення: 10.02.2023)
2. Адамчук Т. В. Стевія та підсолоджувачі на її основі. *Проблеми харчування*. 2012. №1-2. С.57–60.
3. Бачинська Я. О., Степанова О. А. Вдосконалення технології виробництва джемів функціонального призначення на основі екстракту стевії. *Обладнання та технології харчових виробництв*. Збір наукових праць. 2013. № 30. С.9–15. URL: <http://journals.uran.ua/index.php/2079-4827/article/view/22080> (дата звернення: 16.02.2023)
4. Basu S., Shivhare U.S., Singh T.V. Effect of substitution of stevioside and sucralose on rheological, spectral, color and microstructural characteristics of mango jam. *Food Engineering*. 2013. V. 114, № 4. Pp. 465–476. URL: <https://daneshyari.com/article/preview/223615.pdf> (дата звернення: 20.02.2023)
5. Nguyen Minh Thuy, Huynh Manh Tan, Ngo Van Tai. Optimizing the ingredient level of low-calorie blackberry jam using response surface methodology. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 2022. Vol. 10, № 1. Pp. 68–75. DOI: 10.7324/JABB.2021.100109. URL: https://jabonline.in/admin/php/uploads/690_pdf.pdf (дата звернення: 16.02.2023)
6. M. Pielak, E. Czarniecka-Skubina, A. Głuchowski. Effect of Sugar Substitution with Steviol Glycosides on Sensory Quality and Physicochemical Composition of Low-Sugar Apple Preserves. *Foods*.



2020. Vol. 9, № 3. DOI.org/10.3390/foods9030293 URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/3/293>

7. Регулювання продовольчої безпеки у законодавстві європейського союзу та України. URL: <https://just.odessa.gov.ua/%20files/upload/%20files/10.pdf> (дата звернення: 15.02.2023)

8. Council Directive 2001/113/EC of 20 December 2001 relating to fruit jams, jellies and marmalades and sweetened chestnut purée intended for human consumption. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32001L0113> (дата звернення: 20.02.2023)

9. Шор К., Руда М., Рогінська-Грін Я. Адаптація до законодавства ЄС: практика впровадження. базове дослідження. Київ, 2019. С. 52.

10. ДСТУ 4900:2007. Джеми. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Київ, 2001. 24 с. (Інформація та документація).

11. Nkechi Juliet Tamuno Emelike Akusu O.M. Quality Attributes of Jams and Marmalades Produced from Some Selected Tropical Fruits/ *Journal of Food J Processing & Technology*. 2019. DOI: 10.4172/2157-7110.1000790 URL: <https://www.researchgate.net/publication/333455085> (дата звернення: 22.02.2023)

12. Cervera-Chiner L., Barrera C., Betoret N., Seguí L. Impact of sugar replacement by non-centrifugal sugar on physicochemical, antioxidant and sensory properties of strawberry and kiwifruit functional jams. *Heliyon*. Vol.7, № 1. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05963> (дата звернення: 25.02.2023).

13. X. Gao, T. Yu, Z. H. Zhang, J. C. Xu, X. T. Fu. Rheological and sensory properties of four kinds of jams. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*. 2011. Vol. 2, P. 227–234

14. C. Fitch, K. S. Keim. Position of the academy of nutrition and dietetics: use of nutritive and nonnutritive sweeteners. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2012. Vol. 112, № 5. P. 739–758.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2023 р.

T. Kuzmina, K. Zubkova, O. Stoianova, O. Mamai, T. Yakovenko
Kherson National Technical University

DEVELOPMENT OF THE RECIPE OF FRUIT JAM FOR PREVENTIVE NUTRITION IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF INTERNATIONAL STANDARDS

Summary

The paper considers the possibility of using a natural sugar substitute, namely stevioside, in the production of jams. Jams belong to a fairly wide range of food products, which differ in recipe composition, method of processing and consumer properties.



Despite the fact that jams are not essential products, they are in great consumer demand and play a major role in restoring a person's energy balance. Today, stores offer a wide range of domestic and imported products. To ensure competitiveness, this product must meet customer requirements and consumer requests. The population of many developed countries of the world actively replaces sugar with sugary products in their daily diet, the share of which, according to various estimates, is from 30 to 50%, depending on the food traditions of the country. The range of sugar substitutes in the world is quite diverse and continues to improve. These include sugar substitutes obtained from both natural and synthetic raw materials. But the use of the latter requires special control. For the development of the preventive jam recipe, plum jam was used as a basis, the main components of which are plums and sugar. In the article, a preventive jam recipe is developed, sugar is partially replaced with a natural sweetener. In the production of jam, stevioside is used, which is of great scientific and practical interest in the production of low-calorie food products and which, in addition to the formation of a sweet taste, gives a preventive focus to products using it. The conducted organoleptic studies of experimental samples of jam testify to a pleasant, rich and original taste. According to the results of the organoleptic evaluation of jam samples received from the tasting committee and the results of physical and chemical studies, the sample with the best indicators was selected.

Key words: jam, sugar substitute, stevioside, certification, recipe composition, technological scheme, organoleptic assessment, physicochemical indicators.



УДК 615.331:637.5

Л. М. Крижак, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4882-897X

Т. В. Семко, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1951-5384

О. А. Іваніщева, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-0500-3652

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: l.kryzhak@vtei.edu.ua

e-mail: t.semko@vtei.edu.ua

e-mail: o.ivanishcheva@vtei.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ШТАМІВ ПРОБІОТИКІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ФЕРМЕНТОВАНИХ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ

Анотація. Ферментація є важливою стратегією збереження якості харчових продуктів. Використання заквасок з пробіотичною активністю привертає увагу багатьох дослідників у виробництві функціональних ферментованих м'ясних продуктів. Дане дослідження спрямоване на огляд переваг і недоліків, властивостей та безпеки ферментованих м'ясних продуктів з пробіотиками. Ферментовані м'ясні продукти можна розглядати як відповідну матрицю постачання пробіотиків з потенційною користю для здоров'я людини. Крім того, ферментовані м'ясні продукти, вироблені традиційними методами вже є джерелом вмісту пробіотиків, які можна досліджувати у подальших технологіях виробництва функціональних м'ясних продуктів. Однак, деякі бар'єри обмежують просування таких продуктів, адже складним є процес відбору для отримання нових і адаптованих пробіотичних штамів, обмежене застосування пробіотиків у технології виробництва ферментованих ковбас внаслідок недостатньо вивченого впливу їх на стан здоров'я людини.

Ключові слова: штами культур, мікробна ферментація, функціональні ферментовані м'ясні продукти, пробіотики, фізико-хімічні показники, реологічні показники, органолептичні показники.

Постановка проблеми. Поліпшення якості та збереження харчових продуктів шляхом мікробної ферментації є давньою стратегією, яка еволюціонувала у виробництві сучасних функціональних ферментованих харчових продуктів. Традиційно ферментовані продукти вироблялися з використанням загальних методів, які ґрунтуються на впливі та подальшому зростанні



автохтонних/ендогенних мікроорганізмів, які змінюють склад харчових продуктів. У випадку з м'ясними продуктами ріст мікроорганізмів поступово впливає на фізико-хімічні, реологічні, сенсорні та функціональні властивості м'ясної маси, що призводить до отримання продуктів із відповідним кольором, смаком і ароматом, які можна зберігати протягом тривалого часу.

Завдяки модернізації харчової промисловості та досвіду отриманих знань про ферментовані м'ясні продукти, використання заквасок стало актуальною стратегією для покращення контролю обробки та якості. Серед багатьох сучасних варіантів культур для ферментованих м'ясних продуктів вибір мікроорганізмів з додатковими перевагами для здоров'я привертає все більше увагу дослідників через потенційні корисні властивості для здоров'я. Особлива увага приділяється споживанню пробіотиків – живих мікроорганізмів, які приносять не лише користь здоров'ю при споживанні, а й здатні змінювати мікробіоз кишківника.

Використання пробіотиків у м'ясних продуктах (особливо у виробництві ферментованих м'ясних продуктів) вважається одним з основних чинників підвищення харчової цінності. Тому літературний огляд має на меті здійснити науково-пошуковий аналіз функціональних ферментованих м'ясних продуктів, визначити їх переваги та недоліки.

Аналіз останніх досліджень. Використання м'ясних продуктів як носіїв пробіотиків є цікавим варіантом виробництва функціональних ферментованих продуктів [1]. Наукові дані, які підтверджують використання ферментованих ковбас як носіїв пробіотиків, є дослідженнями, що проведені на людях. Наприклад, споживання ферментованої ковбаси, що містить *Lactobacillus paracasei* LTH 2579, призвело до успішної колонізації кишкового середовища після 3 днів споживання здоровими суб'єктами [2].

Подібним чином, експеримент стосовно споживання 25 г/день ферментованої ковбаси з *Lactobacillus rhamnosus* CTC1679 протягом 21 дня успішно змінив склад фекальної флори у людей дослідної групи [3]. Крім того, дослідження також показало, що пробіотичний штамп був виявлений до 3 днів після переривання споживання ферментованої ковбаси.

Завдяки науковим свідченням, що підтверджують успішну колонізацію кишкової флори людини та користь для здоров'я, були проведені інші дослідження пошуку відповідних штамів пробіотиків для виробництва ферментованих м'ясних продуктів, таких, як: *Bifidobacterium longum* KACC 91563 [4]; *Enterococcus faecium* CECT 410 [5]; та CRL 183 [6]; *Lactobacillus casei* ATCC 393 і SJRP 66 [7]; *L. paracasei* DTA83 [8]; *L. rhamnosus* LOCK900 [9]; *L. plantarum* 299v [10] і CD101 [11], L125 [12]; *Lactobacillus acidophilus* CRL1014 [6];



Lactobacillus sakei 23K [13]; *Lactobacillus fermentum* R6 [14]; і *Staphylococcus simulans* NJ201 [11]. Ці штами культур відповідають вимогам для виробництва ферментованих м'ясних продуктів із застосуванням пробіотиків завдяки успішній колонізації м'ясної маси, високій кількості під час обробки (стійкість до хлориду натрію та солей нітратів/нітритів) та незначному впливу на якість (колір, рН, технологічні та органолептичні властивості).

Доведено, що *Enterococcus faecium* CRL 183, інокульований у ковбасу типу салямі, знижував окислення ліпідів та не впливав на рН у порівнянні з іншим видом контрольної ковбаси [6]. Крім того, було підтверджено кількість приблизно 7 log КУО/г у кінцевому продукті, інокульованому пробіотичним штамом. Аналогічно констатована велика кількість пробіотика *L. rhamnosus* LOCK900 і відсутність *Salmonella* spp. та *Listeria monocytogenes* у ферментованій свинячій ковбасі [9]. Ковбаси, вироблені з цим пробіотичним штамом, також мали дещо низькі показники рН і окислення ліпідів наприкінці періоду обробки порівняно з неінокульованими ковбасами. Подібним чином салямі, вироблена з *L. plantarum* 299v мала високу кількість культур у кінцевому продукті та протягом 60 днів терміну зберігання [10]. Авторське підтвердження стало підсумком того, що не відбулося суттєвого впливу на сенсорні властивості між контрольними та пробіотичними зразками ковбасної продукції.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є вивчення використання штамів пробіотиків з дослідженими властивостями у технології виробництва ферментованих м'ясних продуктів.

Основна частина. М'ясні продукти традиційно вважалися важливими джерелами таких поживних речовин, як білок, жир, мінерали та вітаміни. Проте, останні наукові дані свідчать про те, що регулярне споживання м'ясних продуктів пов'язане з розвитком таких захворювань, як серцево-судинні та онкологічні. Оскільки м'ясні продукти виробляються з м'яса і тваринних жирів з додаванням різних інгредієнтів та добавок, то доцільно вважати, що деякі з цих компонентів можуть бути пов'язані з підвищеним ризиком для здоров'я (особливо хлорид натрію, жир і солі нітратів/нітритів).

Найпоширенішим інгредієнтом, який використовується у виробництві ферментованих м'ясних продуктів, є хлорид натрію, який відіграє важливу роль у якості (розчинність міофібрилярних білків і солоність) і безпеці (зменшення активності води з наступним пригніченням росту мікробів). Регулярне споживання хлориду натрію понад щоденних рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я (3 г натрію або 5 г хлориду натрію) пов'язане з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань. Ковбаси можуть містити від 230 до 3300 мг натрію/100 г, що вказує на те, що ці м'ясні продукти є



важливими дієтичними джерелами натрію.

Тваринний жир відіграє важливу роль у якості та терміні зберігання м'ясних продуктів, особливо ферментованих і в'ялених. Покращення текстури, сприяння розвитку характерного смаку, аромату та вплив на стійкість до окиснення під час обробки та зберігання м'ясних продуктів є одними з основних аспектів, які приписують жиру в м'ясних продуктах [26]. Занепокоєння щодо стану здоров'я внаслідок споживання тваринного жиру пов'язане з вмістом і складом жиру, який не повинен перевищувати 10% від загального споживання енергії та мати якомога нижчий вміст насичених жирів.

Іншими важливими добавками, які використовуються при переробці ферментованих м'ясних продуктів, є нітрати та нітритні солі. Ці компоненти (у формі залишкового нітриту) відіграють важливу роль у розвитку сенсорних властивостей (характерний темно-червоний колір і витриманий смак), окислювальної стабільності (пригнічення окислення ліпідів) і безпеки (пригнічення патогенних мікроорганізмів, особливо спор *Clostridium botulinum*) ферментованих ковбас [27]. Хоча використання солей нітратів/нітритів є необхідним для виробництва ковбас, все більше існує доказів, накопичених протягом останніх десятиліть, які свідчать про суперечливий зв'язок між залишковим споживанням нітритів і розвитком раку [28]. Більше того, Всесвітня організація охорони здоров'я включила оброблені м'ясні продукти до тієї ж категорії, що й тютюн та азбест, з точки зору канцерогенного потенціалу [29].

М'ясо та м'ясні продукти є природними потенційними джерелами пробіотиків. Оскільки мікроорганізми відіграють найважливішу роль у виробництві функціональних ферментованих м'ясних продуктів, пошук потенційних пробіотиків є стратегічним заходом для покращення кількості варіантів стартових культур і знань про пробіотики у функціональних м'ясних продуктах. З огляду на це, було проведено багато досліджень з метою охарактеризувати автохтонні пробіотики, виділені з м'яса та традиційно/натурально ферментованих м'ясних продуктів [15]. Вибір автохтонних мікроорганізмів відповідає рекомендаціям, описаним у науковій літературі щодо вибору пробіотиків, шляхом визначення їх безпечності та потенційного використання в якості заквасок у ферментованих м'ясних продуктах для нормалізації процесу травлення та колонізації кишкового середовища.

Деякі потенційні пробіотики (охарактеризовані *in vitro*) для застосування у ферментованих м'ясних продуктах – це штами *Lactobacillus lactis* СТС 204 і *L. plantarum* СТС 368, виділені зі свіжого м'яса, варених і ферментованих м'ясних продуктів [16]; *L. plantarum* СВ9 і СВ10 штами, отримані з в'яленої яловичини [17]; *E. faecium*



MZF1, MZF2, MZF3, MZF4 і MZF5, природним чином присутні в сушеному осбані, традиційному туниському ферментованому м'ясному продукті [18].

Користь для здоров'я при споживанні функціональних ферментованих м'ясних продуктів із пробіотиками в основному підтверджується дослідженнями, які оцінювали біологічні ефекти на рівні людини [1-12].

Дослідження впливу пробіотичних м'ясних продуктів на біологічному рівні невідомий, але користь для здоров'я, отримана від впливу/споживання пробіотиків, детально оцінюється шляхом їх перорального введення, додавання до їжі або споживання у вигляді капсул. Прикладом є дослідження результатів введення *B. longum* КАСС 91563 у ферментовану ковбасу [4]. Додатковий експеримент на спленоцитах і макрофагах мишей показав, що *B. longum* КАСС 91563 індукував імунологічну відповідь [19]. Щодо клінічних випробувань, то у результаті регулярного споживання *L. plantarum* 299v виявлено покращення стану здоров'я пацієнтів із депресією [20], з діагнозом рак та під час ентерального харчування [21], а також при лікуванні імунодепресантами та антибіотиками для запобігання *C. difficile* інфекції [22].

Результати дослідження. Вибір нової пробіотичної закваски для виробництва функціональних м'ясних продуктів є складним, багатоетапним, дороговартісним і міждисциплінарним завданням, яке залучає мікробіологію, харчову науку і медицину.

Процес відбору потенційного пробіотика складається з кількох *in vitro* та *in vivo* тестів, які спрямовані на ідентифікацію кандидатів на рівні штаму, характеризують стійкість до низького рН і ферментів шлунку та стійкість до високого рН і жовчних солей), здатність колонізувати кишкове середовище (дотримання ентероцитів, ауто- та коагрегації, антимікробної активності), безпечність (відсутність факторів вірулентності, низька резистентність до антибіотиків та відсутність продукції ентеротоксинів), а також технологічні параметри, пов'язані з якістю та стабільністю зберігання ферментованого м'ясного продукту (фізико-хімічних, реологічних і сенсорних змін). Саме такі штами, які відповідають усім критеріям, є найкращими кандидатами для вивчення та впровадження у виробництві пробіотичних м'ясних продуктів.

Наприклад, серед досліджених 169 *Lactobacillus* spp. штамів, виділених з ферментованих свинячих ковбас, тільки *L. штам* *fermentum* 3007 і 3010 продемонстрували потенціал для використання в подальших експериментах в якості пробіотика. Аналогічний експеримент з ізолятами з *E.* штамом *faecium*, знайдені в ковбасі Сокобан (традиційна сербська ковбаса), вказав, що лише штами sk7-5,



sk7-8 і sk9-15 можуть розглядатися як пробіотичні кандидати [23].

Дослідження 42 ізолятів, виявлених у салямі Чаусколо (традиційна італійська ферментована ковбаса), продемонстрували, що потенційним пробіотиком є *P. pentosaceus* 62781-3, 46035-1 і 46035-4, а також штами *Leuconostoc mesenteroides* 14324-8. Важливо зазначити, що занепокоєння щодо вибору пробіотиків не обмежується м'ясними продуктами, і їх слід враховувати для інших джерел (таких, як молочні продукти або продукти на основі злаків).

Характеристика мікробних видів на рівні штаму є ще одним фактором, який вважається дуже важливим при виборі заквасок для виробництва ферментованих функціональних харчових продуктів. Важливим є дослідження потенційних кандидатів генів, залучених до експресії факторів вірулентності, стійкості до антибіотиків і виробництва токсичних сполук, таких як біогенний амін і ентеротоксини [24]. Занепокоєння можна спостерігати у відборі пробіотиків-кандидатів із зразків верблюжого молока, де два штами виявляли β -гемолітичну активність [25].

Оцінка якості терміну зберігання ферментованих м'ясних продуктів – це процес, який триває протягом тривалого часу (від кількох тижнів до кількох місяців дозрівання). Ферментовані м'ясні продукти отримують після тривалих періодів дозрівання та оцінюються багатьма дослідженнями, які враховують фізико-хімічні характеристики (колір, рН, швидкість підкислення та активність води), стійкість до окислення та сенсорні властивості під час обробки і в кінцевому продукті.

Таким чином, можна досягти якісних показників м'ясних продуктів відповідно до рекомендацій органів охорони здоров'я та чинних нормативних документів щодо зменшення солі та жиру в м'ясних продуктах. Проте, все ще необхідно докладати багато зусиль, щоб зібрати більше наукових досліджень та розробити стратегії для вирішення існуючих проблем.

Висновки. Ферментовані м'ясні продукти з пробіотиками (переважно ферментовані ковбаси) можна розглядати як відповідні варіанти для розробки функціональних харчових продуктів, оскільки ендогенні пробіотики можуть генерувати мінімальний вплив на якість і певною мірою сприяти здоров'ю. Залишається вирішити деякі проблеми, оскільки наукові докази, що підтверджують функціональні переваги пробіотичних м'ясних продуктів, обмежені та зростають повільніше, ніж інших харчових продуктів, а їх вплив на здоров'я ставиться під сумнів. Подальші дослідження мають розширити знання про розробку ферментованих м'ясних продуктів із пробіотиками в рецептурах і покращити розуміння змін у споживанні м'яса та м'ясних продуктів.



Список використаних джерел

1. Bis-Souza, C.V., Barba, F.J., Lorenzo, J.M., Penna, A.L.B. & Barretto, A.C.S. (2019) New strategies for the development of innovative fermented meat products: a review regarding the incorporation of probiotics and dietary fibers. *Food Reviews International*, 35, Pp. 467–484.
2. Bunte, C., Hertel, C. & Hammes, W.P. (2000) Monitoring and survival of *Lactobacillus paracasei* LTH 2579 in food and the human intestinal tract. *Systematic and Applied Microbiology*, 23, Pp. 260–266.
3. Rubio, R., Martín, B., Aymerich, T. & Garriga, M. (2018) The potential probiotic *Lactobacillus rhamnosus* CTC1679 survives the passage through the gastrointestinal tract and its use as starter culture results in safe nutritionally enhanced fermented sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 186, Pp. 55–60.
4. Song, M.Y., Van-Ba, H., Park, W.S., Yoo, J.Y., Kang, H.B., Kim, J.H. et al. (2018) Quality characteristics of functional fermented sausages added with encapsulated probiotic *Bifidobacterium longum* KACC 91563. *Korean Journal of Food Science and Animal Resources*, 38, Pp. 981–994.
5. Cavaleiro, C.P., Ruiz-Capillas, C., Herrero, A.M. & Pintado, T. (2021) Dry-fermented sausages inoculated with *Enterococcus faecium* CECT 410 as free cells or in alginate beads. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 139, 110561.
6. Roselino, M.N., de Almeida, J.F., Canaan, J.M.M., Pinto, R.A., Ract, J.N.R., de Paula, A.V. et al. (2017) Safety of a low-fat fermented sausage produced with *Enterococcus faecium* CRL 183 and *Lactobacillus acidophilus* C RL1014 probiotic strain. *International Food Research Journal*, 24, Pp. 2694–2704.
7. Bis-Souza, C.V., Penna, A.L.B. & da Silva Barretto, A.C. (2020) Applicability of potentially probiotic *Lactobacillus casei* in low-fat Italian type salami with added fructooligosaccharides: in vitro screening and technological evaluation. *Meat Science*, 168.
8. Oliveira, W.A., Rodrigues, A.R.P., Oliveira, F.A., Oliveira, V.S., Laureano-Melo, R., Stutz, E.T.G. et al. (2021) Potentially probiotic or postbiotic pre-converted nitrite from celery produced by an axenic culture system with probiotic lacticaseibacilli strain. *Meat Science*, 174.
9. Neffe-Skocińska, K., Okoń, A., Zielińska, D., Szymański, P., Sionek, B. & Kolozyn-Krajewska, D. (2020) The possibility of using the probiotic starter culture *Lactobacillus rhamnosus* LOCK900 in dry fermented pork loins and sausages produced under industrial conditions. *Applied Sciences*, 10.
10. Blaiotta, G., Murru, N., Di Cerbo, A., Romano, R. & Aponte, M. (2018) Production of probiotic bovine salami using *Lactobacillus plantarum* 299v as adjunct. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, Pp.



2285–2294.

11. Kong, Y.-W., Feng, M.-Q. & Sun, J. (2020) Effects of *Lactobacillus plantarum* CD101 and *Staphylococcus simulans* NJ201 on proteolytic changes and bioactivities (antioxidant and antihypertensive activities) in fermented pork sausage. *LWT*, 133, 109985.

12. Pavli, F.G., Argyri, A.A., Chorianopoulos, N.G., Nychas, G.J.E. & Tassou, C.C. (2020) Effect of *Lactobacillus plantarum* L125 strain with probiotic potential on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of dry-fermented sausages. *LWT*, 118, 108810.

13. Najjari, A., Boumaiza, M., Jaballah, S., Boudabous, A. & Ouzari, H.I. (2020) Application of isolated *Lactobacillus sakei* and *Staphylococcus xylosum* strains as a probiotic starter culture during the industrial manufacture of Tunisian dry-fermented sausages. *Food Sciences and Nutrition*, 8, 4172–4184.

14. Sun, F., Hu, Y., Yin, X., Kong, B. & Qin, L. (2020) Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages. *Process Biochemistry*, 89, Pp. 37–45.

15. Munekata, P.E.S., Pateiro, M., Zhang, W., Domínguez, R., Xing, L., Fierro, E.M. et al. (2020) Autochthonous probiotics in meat products: selection, identification, and their use as starter culture. *Microorganisms*, 8, Pp. 1–20.

16. Moreno, I., Marasca, E.T.G., De Sá, P.B.Z.R., De Souza Moitinho, J., Marquezini, M.G., Alves, M.R.C. et al. (2018) Evaluation of probiotic potential of bacteriocinogenic lactic acid bacteria strains isolated from meat products. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10, Pp. 762–774.

17. Wang, J., Wang, J., Yang, K., Liu, M., Zhang, J., Wei, X. et al. (2018) Screening for potential probiotic from spontaneously fermented non-dairy foods based on in vitro probiotic and safety properties. *Annals of Microbiology*, 68, Pp. 803–813.

18. Zommiti, M., Cambronel, M., Maillot, O., Barreau, M., Sebei, K., Feuilloley, M. et al. (2018) Evaluation of probiotic properties and safety of *Enterococcus faecium* isolated from artisanal Tunisian meat ‘Dried Ossban’. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1685.

19. Park, M.J., Park, M.S. & Ji, G.E. (2019) Cloning and heterologous expression of the β -galactosidase gene from *Bifidobacterium longum* RD47 in *B. Bifidum* BGN4. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, Pp. 1717–1728.

20. Rudzki, L., Ostrowska, L., Pawlak, D., Małus, A., Pawlak, K., Waszkiewicz, N. et al. (2019) Probiotic *Lactobacillus plantarum* 299v decreases kynurenine concentration and improves cognitive functions in patients with major depression: a double-blind, randomized, placebo controlled study. *Psychoneuroendocrinology*, 100, Pp. 213–222.



21. Kaźmierczak-Siedlecka, K., Folwarski, M., Skonieczna-Żydecka, K., Ruszkowski, J. & Makarewicz, W. (2020) The use of *Lactobacillus plantarum* 299v (DSM 9843) in cancer patients receiving home enteral nutrition—study protocol for a randomized, double-blind, and placebo-controlled trial. *Nutrition Journal*, 19, Pp. 1–8.
22. Dudzicz, S., Kujawa-Szewieczek, A., Kwiecień, K., Więcek, A. & Adamczak, M. (2018) *Lactobacillus plantarum* 299v reduces the incidence of *Clostridium difficile* infection in nephrology and transplantation ward—results of one year extended study. *Nutrients*, 10, 1574.
23. Petrović, T.D.Ž., Ilić, P.D., Grujović, M., Mladenović, K.G., Kocić-Tanackov, S.D. & Čomić, L.R. (2020) Assessment of safety aspect and probiotic potential of autochthonous *Enterococcus faecium* strains isolated from spontaneous fermented sausage. *Biotechnology Letters*, 42, Pp. 1513–1525.
24. Ben Braïek, O. & Smaoui, S. (2019) Enterococci: between emerging pathogens and potential probiotics. *BioMed Research International*, 2019, 5938210.
25. Abushelaibi, A., Al-Mahadin, S., El-Tarabily, K., Shah, N.P. & Ayyash, M. (2017) Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk. *Lwt—food Science and Technology*, 79, Pp. 316–325.
26. Domínguez, R., Munekata, P.E., Pateiro, M., López-Fernández, O. & Lorenzo, J.M. (2021) Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. *Current Opinion in Food Science*, 37, Pp. 135–144.
27. Munekata, P.E.S., Pateiro, M., Zhang, W., Domínguez, R., Xing, L., Fierro, E.M. et al. (2020) Autochthonous probiotics in meat products: selection, identification, and their use as starter culture. *Microorganisms*, 8, Pp. 1–20.
28. Crowe, W., Elliott, C.T. & Green, B.D. (2019) A review of the in vivo evidence investigating the role of nitrite exposure from processed meat consumption in the development of colorectal cancer. *Nutrients*, 11, 2673.
29. WHO. (2020c) Cancer: carcinogenicity of the consumption of red meat and processed meat. Geneva: WHO.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2023 р.



L. Kryzhak, T. Semko, O. Ivanishcheva
Vinnytsia Trade and Economic Institute of DTEU

STUDY OF THE FEATURES OF THE USE OF PROBIOTIC STRAINS IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF FERMENTED MEAT PRODUCTS

Summary

Fermentation is an important strategy for preserving the quality of food products. The use of starter cultures with probiotic activity has attracted the attention of many researchers in the production of functional fermented meat products. This study aims are to review the advantages and disadvantages, properties and safety of fermented meat products with probiotics. Fermented meat products can be considered as a suitable supply matrix for probiotics with potential benefits for human health. In addition, fermented meat products produced by traditional methods are already a source of probiotic content, which can be investigated in further technologies for the production of functional meat products. However, some barriers limit the promotion of such products, because the selection process for obtaining new and adapted probiotic strains is difficult, the limited use of probiotics in the production technology of fermented sausages due to their insufficiently studied impact on human health.

Due to the modernization of the food industry and the experience gained in the knowledge of fermented meat products, the use of starter cultures has become a relevant strategy to improve processing and quality control. Among the many current culture options for fermented meat products, the selection of microorganisms with additional health benefits is attracting increasing attention from researchers due to potential health benefits.

Special attention is paid to the consumption of probiotics - live microorganisms that not only benefit health when consumed, but are also able to change the intestinal microbiota. The use of probiotics in meat products (especially in the production of fermented meat products) is considered one of the main factors of increasing nutritional value. Therefore, the literature review aims to carry out a scientific research analysis of functional fermented meat products, to determine their advantages and disadvantages.

Key words: culture strains, microbial fermentation, functional fermented meat products, probiotics, physicochemical indicators, rheological indicators, organoleptic indicators.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-20

УДК 637.3.05

Н. В. Болгова, к.с.-г.н.

ORCID: 0000-0002-0201-0769

Н. О. Ільченко, здоб. вищ. осв.

ORCID: 0009-0005-4415-1788

С. О. Губа, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-0546-7940

В. В. Соколенко, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-2049-7013

Сумський національний аграрний університет

e-mail: natalia.bolhova@snau.edu.ua, тел.: 097-291-88-71

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО СИРУ З РОСЛИННИМИ ДОБАВКАМИ

Анотація. В статті розглянуто удосконалення твердого сиру типу Гауда шляхом внесення до його рецептурного складу компонентів рослинного походження. В якості добавок було використано сушені подрібнені томати та сушений базилік. Для дозрівання сиру було вирішено використовувати мелену суміш перців та сушені квіти лаванди, які володіють антиоксидантними властивостями. Виготовлені зразки сиру були оцінені за органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками. За органолептичними та фізико-хімічними дослідженнями кращі показники має зразок №3 — твердий сир з томатами та базиліком, що дозрівав у квітках лаванди. За фізико-хімічними та мікробіологічними показниками усі три зразки відповідають чинному ДСТУ 6003:2008. Зразки №2 та №3 мали не суттєве збільшення масової частки вологи та більший показник твердості ніж у зразку №1.

Ключові слова: твердий сир, томати, базилік, суміш перців, лаванда, добавка, безпечність, технологія, молочний.

Постановка проблеми. Сири виробляють з молока різних видів тварин, використовують різні технології обробки, а також терміни та способи дозрівання. В результаті чого споживачу пропонується численний асортимент з великою різноманітністю текстур, смаків і форм. Тверді, напівтверді сири є універсальними молочними продуктами, багатими на поживні речовини (насичені та трансжирні кислоти, лінолева кислота, фосфоліпіди). Вони високо цінуються споживачами з точки зору здоров'я [1-5]. У зв'язку з цим ферментовані молочні продукти були запропоновані як функціональні харчові продукти зі знижуючим холестерин ефектом і, отже, з захисним ефектом проти серцево-судинних захворювань порівняно з



неферментованими молочними продуктами [4, 6, 7]. Крім того, під час бродіння сиру утворюються біоактивні компоненти, такі як гамма-аміномасляна кислота, яка сприяє виживанню пробіотичних мікроорганізмів [8].

Сир також містить перетравні білки високої біологічної цінності [9]. Під час дозрівання сиру та перетравлення їжі казеїни гідролізуються та утворюються пептиди з антиоксидантною здатністю. Додавання додаткової культури і тривалий час дозрівання збільшує утворення пептидів і підвищує антиоксидантну здатність. Деякі з цих пептидів також є визначним джерелом нутрицевтичних функціональних харчових продуктів [2]. Зважаючи на тенденції сучасного ринку сирів, питання розробки рецептури та аналіз їх дозрівання актуальне питання сьогодення.

Аналіз останніх досліджень. Вітчизняними та закордонними вченими проведено ряд досліджень щодо рецептурного складу та якісних показників сирів [10-15]. У виробництві існує багато інноваційних рішень, завдяки використанню рослинної сировини, яка не тільки покращує органолептичні властивості сиру та впливає на процес дозрівання, а і підвищує його харчову цінність: екстракт листя волоського горіха, яблучна клітковина, порошок кореня хрину, борошно з червоного і білого вина, виноградні вичавки, шкірки томатів, броколі, артишоки, червоний перець Халапеньо та ін. [9-15].

У роботі [16] проводилися дослідження, де вивчалися фізичні, хімічні, мікробіологічні та сенсорні характеристики сиру Queso Blanco, доповненого порошкоподібними мікрокапсулами, що містять томатні екстракти (0,5-2,0%), під час зберігання при 7°C протягом 60 днів. Кількість молочнокислих бактерій, концентрація лікопіну, показники клейкості, жувальної здатності та твердості сиру Queso Blanco, доповненому порошкоподібними мікрокапсулами, були значно вищими, ніж у контролі. Показники текстури підвищувалися зі збільшенням концентрації порошкоподібних мікрокапсул, що містять томатні екстракти.

Базилік (*Ocimum basilicum*) є однією з найважливіших культур, що містить ефірні олії (до 1,5%), поліфеноли, фенольні сполуки, флавоноїди та фенольні кислоти, а також вітаміни С, РР, В2, А, глікозиди та інші біоактивні компоненти. Калорійність базилику в сушеному вигляді складає 251 ккал / 100 г [17].

Група вчених вивчала вплив базилика на сири, виготовлені з буйволячого молока. В зразки додавали 2,5, 5,0 і 7,5 г сушеного базилика. Сири зберігалися при $4 \pm 1^\circ\text{C}$ протягом 21 дня. Додавання базилика не змінило вміст жиру, білка, вологи та мінеральних речовин у сирах. Загальний вміст поліфенолів і антиоксидантна активність сирів збільшилися з додаванням базилика в перший день, зі значним



зниженням у сирах після 21 дня зберігання. Сири з базиліком показали вищу антиоксидантну активність і нижчий рН. Споживачі надавали перевагу сиру з 2,5 та 5,0 г сушеного базиліку. Науковці дійшли висновку, що базилік покращує функціональні та модифікує технологічні характеристики свіжих сирів і демонструє добру прийнятність [18].

Рекомендації дієтологів вказують на корисність трав, як чудового джерела антиоксидантів та замітника солі [19-22]. Молочні продукти вважаються унікальним носієм для доставки фіто-хімічних речовин та інших поживних речовин для користі здоров'ю в системі харчування [23]. Крім того, додавання трав, спецій або їх екстрактів до молочних продуктів робить їх носіями нутрицевтиків. Трави та спеції, що використовуються у виробництві сирів надають їм неповторного смаку, можуть впливати на мікробіологічну якість, безпечність та вважаються спеціальними сирами [24].

Слід зазначити, що рослинні добавки у виробництві твердих сирів дозволяють знайти інноваційні способи покращення функціональності традиційних молочних продуктів, та зможуть забезпечити важливу цінність і потенційний ефект для споживачів.

Формулювання мети статті. Зважаючи на аналіз літературних джерел, представлені дослідження, в більшій мірі, стосуються м'яких та перероблених сирів. Мало вивчено використання томатів і базиліку у технології твердих сирів. Відсутня інформація щодо дозрівання таких сирів в суміші перців та квітах лаванди. Нашою метою було розробити рецептуру твердих сирів типу Гауда з додаванням томатів та базиліку, дослідити вплив рослинних компонентів на процес дозрівання, провести їх органолептичну оцінку та визначити фізико-хімічні показники. Об'єкт дослідження – технологія виробництва твердого сиру з додаванням томатів та базиліку. Предметом дослідження є – твердий сир з додаванням томатів та базиліку.

Основна частина. Для вирішення поставлених завдань було виготовлено три зразки твердого сиру:

- твердий сир типу Гауда з томатами та базиліком (зразок №1);
- твердий сир типу Гауда з томатами та базиліком, що дозрівав у суміші перців (зразок №2);
- твердий сир типу Гауда з томатами та базиліком, що дозрівав у квітах лаванди (зразок №3).

Дані зразки сиру було виготовлено за технологією виробництва твердих сирів з низькою температурою другого нагрівання та згідно ДСТУ 6003:2008. Тривалість дозрівання — 30 діб. Кількість добавок, а саме сушених томатів та базиліку, у відсотковому співвідношенні до молока-сировини становить 3,5 і 1%, відповідно (рис. 1).

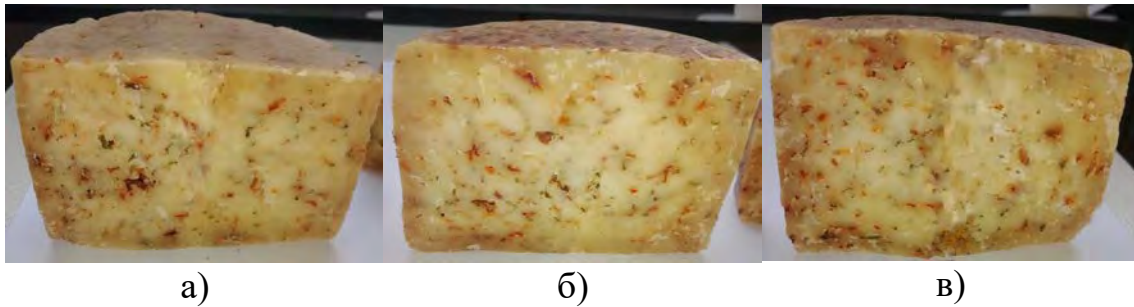


Рисунок 1. Зразки вироблених продуктів: а) зразок №1, б) зразок №2, в) зразок №3

Для проведення сенсорної оцінки залучено дегустаційну комісію з 5 осіб. Органолептична оцінка досліджуваних зразків, а саме їх зовнішній вигляд, колір, запах, смак, консистенція оцінювалися за п'ятибальною шкалою. Результати представлено на рисунку 2.

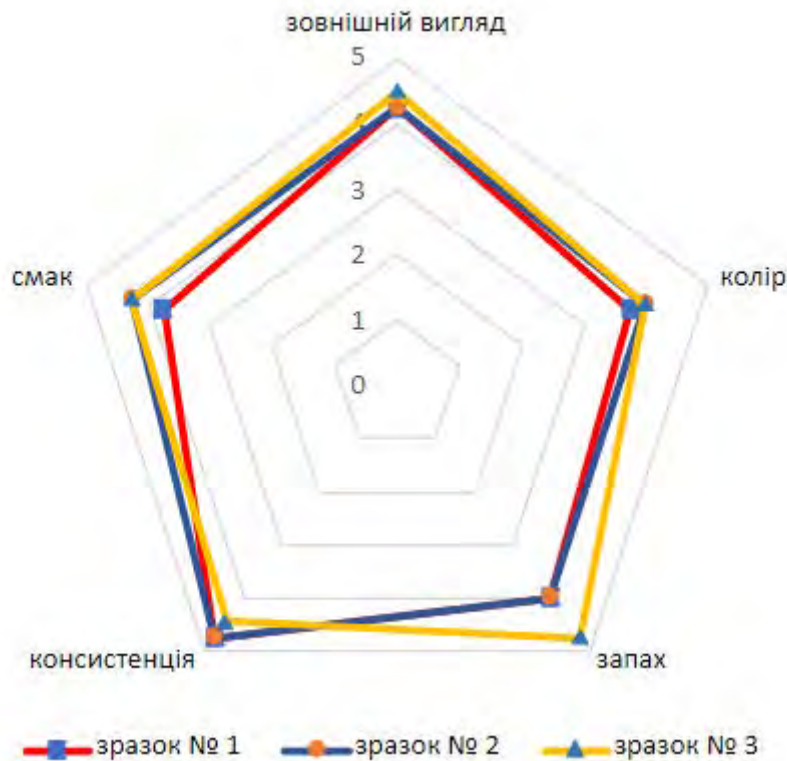


Рисунок 2. Профілограма органолептичної оцінки зразків, балів

Загалом, варіювання сенсорного профілю є незначними для представлених зразків. Слід зазначити, що зразок № 3, який дозрівав у квітках лаванди має найвищі органолептичні показники. Дегустаційна комісія високо оцінила приємний запах лаванди, яким характеризувався даний зразок (4,4 бали). Оцінюючи смак, дегустатори відмітили приємний післясмак суміші перців зразка №2 та лаванди зразка №3. Зразок №1 мав за цим показником найнижчу оцінку, порівняно з іншими (4,1 бали).



Дослідження фізико-хімічних показників зразків також були досліджені в лабораторії Сумського НАУ. Результати представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники досліджуваних зразків

Назва показника	Норма	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3	Метод контролювання
Масова частка жиру в сухій речовині, %, не менше ніж	40	53,7	53,7	53,4	ДСТУ ISO 11870:2007
Масова частка вологи, %, не більше ніж	47	22,1	22,8	23,1	ДСТУ 8552:2015
Масова частка кухонної солі, %, не більше ніж	3	1,5	1,5	1,5	Згідно з ГОСТ 3627
Показник твердості, %	51- 60	55	56	56	п.11.7 ДСТУ 6003:2008
Титрована кислотність, °Т	210-220	215	210	211	Згідно з ГОСТ 3624
Активна кислотність, рН	5,4-5,5	5,4	5,3	5,4	Згідно з ГОСТ 3624

За фізико-хімічною оцінкою можна дійти висновку, що показники усіх зразків знаходяться у межах допустимих норм діючого ДСТУ. Слід зазначити, що зразки, які дозрівали у суміші перців та квітах лаванди, мали, не суттєво, але вище на 0,7 та 1,0%, відповідно, значення масової частки вологи. Зауважимо, що при вищих значеннях значення масової частки вологи, показник твердості був на 1% вищий, порівняно зі зразком №1. Відтак можна говорити, що дозрівання сирів за таких умов покращує структурно-механічні та органолептичні показники твердих сирів типу Гауда. Аналізуючи показники титрованої кислотності спостерігаємо їх зниження у зразку №2 та №3 на 5 та 4 °Т, відповідно першого зразка. Це обумовлено вмістом у меленій суміші перців та сушених квітках лаванди ефірного масла та антиоксидантними властивостями рослинних компонентів.

Аналізуючи технологію виробництва твердого сиру з томатами та базиліком та умови його дозрівання, важливим показником є безпечність з точки зору мікробіологічних показників. Проведені дослідження підтвердили відсутність в досліджуваних сирах бактерій групи кишкових паличок, патогенних мікроорганізмів, а також бактерії роду *Salmonella* та *Listeria monocytogenes*. Таким чином, розроблені



продукти є безпечними для вживання та можуть бути рекомендовані у виробництво.

Висновки. Таким чином, введення сушених томатів та базиліку у рецептуру твердого сиру типу Гауда надали йому нових смакоароматичних характеристик. За органолептичними та фізико-хімічними дослідженнями кращі показники має зразок №3 — твердий сир з томатами та базиліком, що дозрівав у квітках лаванди. З огляду на вищезазначене вважаю за доцільне проводити подальші дослідження та шукати нові шляхи удосконалення вже існуючих технологій та рецептур.

Список використаних джерел

1. Nájera A.I., Nieto S., Barron L.J.R., Albisu M. A Review of the Preservation of Hard and Semi-Hard Cheeses: Quality and Safety. *Int J Environ Res Public Health*. 2021. Vol.18. №18. P. 9789. <https://doi:10.3390/ijerph18189789>
2. López-Expósito I., Amigo L., Recio I. A Mini-Review on Health and Nutritional Aspects of Cheese with a Focus on Bioactive Peptides. *Dairy Sci. Technol*. 2012. Vol.92. P. 419–438. <https://doi:10.1007/s13594-012-0066-5>
3. Kratz M., Baars T., Guyenet S. The Relationship between High-Fat Dairy Consumption and Obesity, Cardiovascular, and Metabolic Disease. *Eur. J. Nutr*. 2013. Vol.52. P. 1–24. <https://doi:10.1007/s00394-012-0418-1>
4. Chen G., Wang Y., Tong X., Szeto I.M.Y., Smit G., Li Z., Qin L. Cheese Consumption and Risk of Cardiovascular Disease: A Meta-Analysis of Prospective Studies. *Eur. J. Nutr*. 2017. Vol.56. P. 2565–2575. <https://doi:10.1007/s00394-016-1292-z>
5. Valdivielso I., Bustamante M.A., Buccioni A., Franci O., de Gordo J.C.R., de Renobales M., Barron L.J.R. Commercial Sheep Flocks-Fatty Acid and Fat-Soluble Antioxidant Composition of Milk and Cheese Related to Changes in Feeding Management Throughout Lactation. *J. Dairy Res*. 2015. Vol.82. P. 334–343. <https://doi:10.1017/S0022029915000369>
6. Zheng H., Yde C.C., Clausen M.R., Kristensen M., Lorenzen J., Astrup A., Bertram H.C. Metabolomics Investigation to Shed Light on Cheese as a Possible Piece in the French Paradox Puzzle. *J. Agric. Food Chem*. 2015. Vol. 63. P. 2830–2839. <https://doi:10.1021/jf505878a>
7. Alba B. K., Stanhewicz A. E., Dey P., Bruno R. S., Kenney W.L., Alexander L.M. Controlled Feeding of an 8-D, High-Dairy Cheese Diet Prevents Sodium-Induced Endothelial Dysfunction in the Cutaneous Microcirculation of Healthy Older Adults through Reductions in Superoxide. *J. Nutr*. 2020. Vol.150. P. 55–63. <https://doi:10.1093/jn/nxz205>
8. Gomes da Cruz A., Buriti F.C.A., de Souza C.H.B., Faria J.A.F., Saad S.M.I. Probiotic Cheese: Health Benefits, Technological and Stability Aspects. *Trends Food Sci. Technol*. 2009. Vol.20. P. 344–354.



<https://doi:10.1016/j.tifs.2009.05.001>.

9. El-Loly M. M., Mohamed A. G., Farahat E. S. A. Innovative vegetables-processed cheese: II. High nutritional and functional attributes. *Bioactive Compounds in Health and Disease*. 2022. Vol.5. №1. P. 13–32. <https://doi:10.31989/bchd.v5i1.889>

10. Mohamed M. El-Loly, Ashraf G. Mohamed, Eman S.A. Farahat. Innovative vegetables-processed cheese: II. high nutritional and functional attributes. *Bioactive Compounds In Health And Disease*. 2022. Vol.5, № 1. P. 13–32. <https://doi:10.31989/bchd.v5i1.889>

11. Болгова Н. В., Кревсун К. В. Використання екстракту листя волоського горіха в технології плавлених сирів. *Технічні науки та технології*. 2020. № 3(17). С. 219–225. [https://doi:10.25140/2411-5363-2019-3\(17\)-219-225](https://doi:10.25140/2411-5363-2019-3(17)-219-225)

12. Болгова Н.В., Байдак М.О., Приходько В.П. Збагачення м'якого сиру йодом за рахунок додавання ламінарії. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. 2018. Том 29(68). № 5. Ч. 3. С. 1–5. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/15>

13. Пелих В. Г., Шишман В. В., Ушакова, С. В. Особливості виробництва м'яких сирів з використанням рослинної клітковини. *Таврійський науковий вісник*. 2021. №122. С. 258–262. <https://doi:10.32851/2226-0099.2021.122.38>

14. Губа С. О., Марченко М. М. Удосконалення технології виробництва розсільних сирів нетрадиційною сировиною. The 2 nd International scientific and practical conference “*Dynamics of the development of world science*” (October 23-25, 2019) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2019. С. 202–213.

15. Cristina Costa, Annalisa Lucera, Valeria Marinelli, Matteo Alessandro Del Nobile, Amalia Conte. Influence of different by-products addition on sensory and physicochemical aspects of Primosale cheese. *J Food Sci Technol*. 2018. Vol.55(10). № 5. P. 4174–4183. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-018-3347-z>

16. Hyeon-Ju Jeong, Yun-Kyung Lee, Palanivel Ganesan, Hae-Soo Kwak, Yoon Hyuk Chang. Physicochemical, microbial, and sensory properties of Queso Blanco Cheese supplemented with powdered microcapsules of tomato extracts. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 2017. Vol.37, №3. P. 342–350. <https://doi:10.5851%2Fkosfa.2017.37.3.342>

17. Mohamad Hesam Shahrajabian, Wenli Sun, Qi Cheng. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): A review. *International Journal of Food Properties*. 2020. Vol.3. №1. P. 1961–1970. <https://doi:10.1080/10942912.2020.1828456>

18. Ribas J. C. R., Matumoto-Pintro P. T., Vital A. C. P., Saraiva B. R., Anjo F. A., Alves R. L. B., Santos N. W., Machado E., Agostinho B. C.,



Zeoula L. M. Influence of basil (*Ocimum basilicum* Lamiaceae) addition on functional, technological and sensorial characteristics of fresh cheeses made with organic buffalo milk. *J Food Sci Technol*. 2019. Vol.56. №12. P. 5214–5224. <https://doi:10.1007/s13197-019-03990-5>.

19. Tapsell L. C., Hemphill I., Cobiac L., Patch C. S., Sullivan D. R., Fenech M., Roodenrys S., Keogh J. B., Clifton P. M., Williams P. G., Fazio V. A., Inge K. E. Health benefits of herbs and spices: the past, the present, the future *Med. J. Aust.* 2006. Vol.185. №4. P. S4–S24.

20 Josipović R., Knežević Z. M., Frece J., Markov K., Kazazić S., Mrvčić J. Improved Properties and Microbiological Safety of Novel Cottage Cheese Containing Spices. *Food Technol Biotechnol*. 2015 Vol.53. №4. P. 454–462. <https://doi:10.17113/ftb.53.04.15.4029>

21. Youssef A. M., El-Sayed S. M. Bionanocomposites materials for food packaging applications: Concepts and future outlook. *Carbohydr Polym*. 2018. Vol.193. P. 19–27. <https://doi:10.1016/j.carbpol.2018.03.088>

22. Mohamed F. A., Salama H. H., El-Sayed S. M., El-Sayed H. S., Zahran H. A. Utilization of natural antimicrobial and antioxidant of *Moringa oleifera* leaves extract in manufacture of cream cheese *J. Biol. Sci.* 2018. Vol.18. №2. P. 92–106. <https://doi:10.3923/jbs.2018.92.106>

23. El-Sayed S. M., Salama H. H., El-Sayed M. M. Preparation and properties of functional milk beverage fortified with kiwi pulp and sesame oil. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2015. Vol.6. №5. P. 609–618.

24. Samah M. El-Sayed, Ahmed M. Youssef. Potential application of herbs and spices and their effects in functional dairy products. *Heliyon*. 2019. Vol.5. №6. P. 1–7. <https://doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01989>

Стаття надійшла до редакції 09.03.2023 р.

N. Bolgova, N. Ilchenko, S. Huba, V. Sokolenko
Sumy National Agrarian University

CHARACTERISTICS OF HARD CHEESE TYPE GOUDA WITH TOMATOES AND BASIL

Summary

The article examines the improvement of Gouda type hard cheese by adding components of plant origin to its recipe. Dried chopped tomatoes and dried basil were used as additives. These additives gave the cheese new flavor and aroma characteristics. For ripening the cheese, it was decided to use a ground mixture of peppers and dried lavender flowers, which have antioxidant properties. Produced cheese samples were evaluated according to organoleptic, physicochemical and microbiological indicators. According to organoleptic and physico-chemical tests, sample No. 3 – hard cheese with tomatoes and basil ripened in lavender flowers – has the best indicators. The tasting committee highly appreciated the pleasant smell of lavender, which characterized the



third sample (4.4 points). According to physical and chemical tests, all three samples have high quality indicators that correspond to the current DSTU 6003:2008. Samples No. 2 and No. 3 had a non-significant increase in the mass fraction of moisture and a higher hardness index than in sample No. 1. Therefore, it can be said that ripening cheeses under such conditions improves the structural-mechanical and organoleptic characteristics of hard Gouda-type cheeses. Analyzing the production technology of hard cheese with tomatoes and basil and its ripening conditions, an important indicator is safety from the point of view of microbiological indicators. The conducted microbiological studies showed the absence of *Escherichia coli* bacteria, pathogenic microorganisms, as well as *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* bacteria in all samples. The conducted studies of cheeses testify to their safety and the possibility of introduction into production.

Key words: hard cheese, tomatoes, basil, mixture of peppers, lavender, additive, safety, technology, dairy.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-21

УДК 664.8.037.1

О. О. Горач, д.т.н.

ORCID: 0000-0003-1248-4068

Херсонський державний аграрно-економічний університет

e-mail: olga_gorach@ukr.net, тел.: 050-537-98-42

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Анотація. В статті наведено аналіз виробництва плодово-ягідної продукції в Україні та інших країнах, показано географічні напрямки експорту заморожених плодів та ягід, а також структура експорту заморожених плодів та ягід з України. Проаналізовано фактори, які впливають на якість експорту продукції та сприяють розвитку ринку замороженої плодово-ягідної продукції, що пов'язано з розвитком аграрного сектору, зростаючим попитом на даний вид продукції закордоном, а також висока рентабельність, що стимулює виробників сільськогосподарської продукції диверсифікувати виробництво. Встановлено недоліки в даному сегменті, що не дозволяють зайняти більшу частину ринку заморожуваних продуктів серед європейських країн і пов'язано з тим, що існує невідповідність нормативно-технічної документації якості продукції офіційним вимогам Європейського Союзу, а також відсутність великих організованих кооперативів з вирощування ягід та недостатні виробничі потужності для заморожування свіжих ягід. В роботі розглянуто інноваційне технологічне обладнання різних європейських та вітчизняних виробників для заморожування плодово-ягідної продукції та його вплив на якість продукції. Наведено особливості використання інноваційного технологічного обладнання для заморожування різної продукції, які наразі використовуються європейськими виробниками [1, 2].

Ключові слова: технологічне обладнання, плодово-ягідна продукція, заморожування, експорт, якість, стандарти.

Постановка проблеми. Ринок заморожених ягід в Європі постійно розвивається, тому в багатьох європейських країнах постійно з'являється нове технологічне обладнання для заморожування продукції, а те що вже існує, постійно нарощує свої потужності та удосконалюється. Відомо, що така тенденція спостерігається в таких країнах як Угорщині, Болгарії, Румунії,

Сербії, Україні та інших. Аналізуючи ситуацію на ринку замороженої продукції в Європі, можна зробити висновок, що характерною особливістю є те, що там переважно заморожують овочі та фрукти, а в Україні – фрукти та ягоди. Україна має всі можливості для розвитку інфраструктури, яка дозволить зайняти значну частину ринку замороженої плодово-ягідною продукції серед європейських країн, але для цього необхідно консультиватися з спеціалістами галузі. Але існує певний бар'єр це те, що європейські компанії, які займаються заморожуванням, повністю автоматизовані, натомість в Україні низку процесів виконують працівники вручну. Український ринок технологічного обладнання для заморожування представлений передусім, тунелями для заморожування з малою та середньою продуктивністю. Тому питання повної автоматизації технологічного процесу заморожування є актуальним питанням галузі харчової промисловості [3-5].

Аналіз останніх досліджень. Незважаючи на те, що внутрішній ринок замороженої продукції стрімко зростає, він все ще знаходиться на стадії формування та зазнає впливу внутрішніх факторів. Сегмент ринку заморожених ягід займає невелику частку та є відносно новим. Причини зростання ринку замороженої плодово-ягідної продукції в Україні пов'язані з розвитком аграрного сектору, зростанням попиту на таку продукцію за кордоном із високою рентабельністю, що стимулює виробників сільського господарства до диверсифікації виробництва. На рис. 1 показано географічне спрямування експорту заморожених плодів та ягід України у 2017 р. [6].

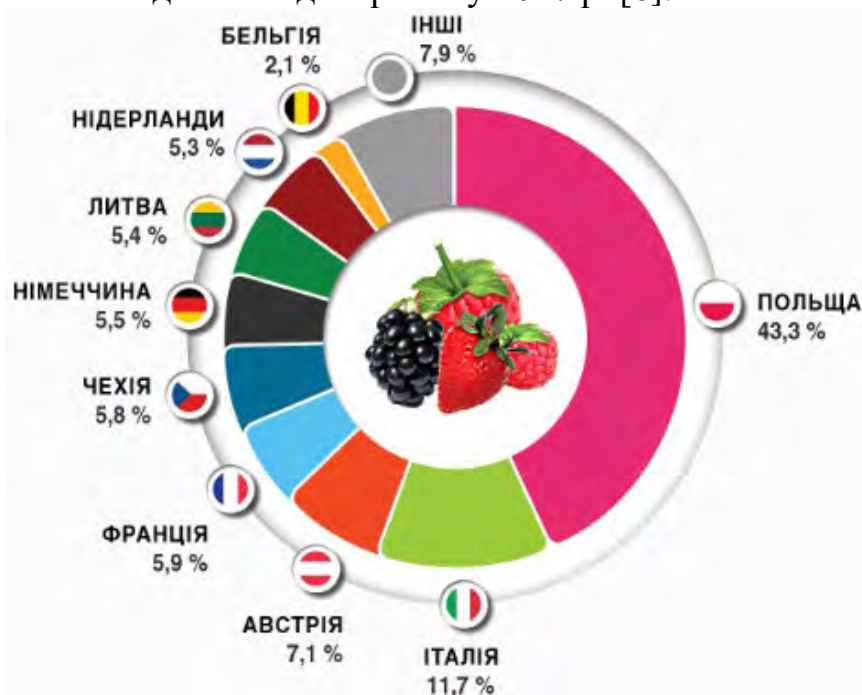


Рисунок 1. Географічні напрямки експорту заморожених плодів та ягід з України у 2017 р.

У 2018 році дохід від експорту заморожених ягід сягнув 117 мільйонів доларів США, збільшившись на 28%, а темп зростання доходу з 2017 по 2018 рік досяг 54% за 57 років. У 2018 році експорт замороженої плодово-ягідної продукції склав 47,8 тис. тонн. Вирощена в Україні ягода характеризується природною солодкістю та низькою собівартістю, порівняно з європейськими виробниками, що підвищує попит на неї та робить її конкурентоспроможною на світовому ринку. Основними виробниками заморожених ягід в Україні за технологією швидкої заморозки є: ТОВ «Роздольне», ПрАТ «Житомирський маслозавод» ТМ «Рудь», ТОВ «Українська Ягода», ТОВ «Сіріус - Агро», ПАТ «Фрутика», ТОВ «Тернопільська фабрика швидкої заморозки», ТМ «Хуторок», ТМ «Сім-сім», ТМ «Шеф-Кухар», Леополіс-Агро та ін. [7].

На рис. 2 наведена структура експорту заморожених плодів та ягід з України у 2017 р.

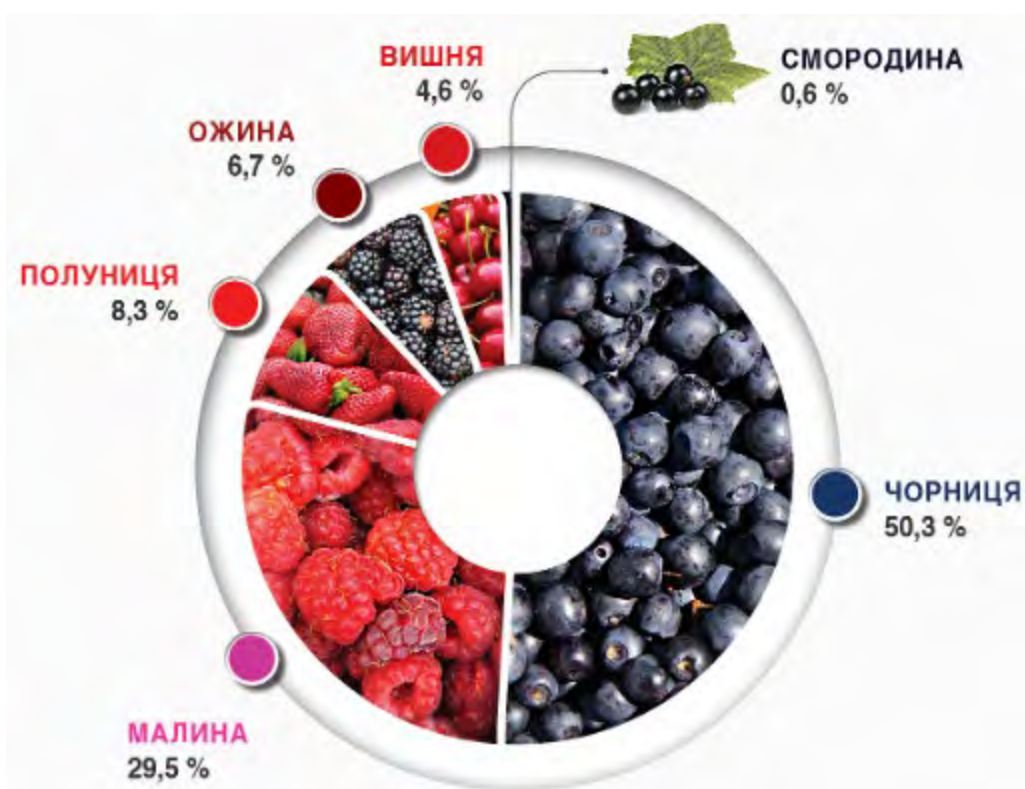


Рисунок 2. Структура експорту заморожених плодів та ягід з України у 2017 р.

Найбільшим попитом у імпортерів на заморожені ягоди вітчизняного виробництва користуються полуниця, малина, лохина та ожина. Зокрема, експорт замороженої полуниці зріс у 6 разів, малини – у 1,5 рази та інших заморожених ягід, переважно лохини та чорниці – на 42%. Найбільший попит на заморожені ягоди



вітчизняного виробництва мають США, Литва, Франція, Польща та Нідерланди, а конкурентами є виробники з Іспанії, Сербії, Білорусі та Чехії [6]. На думку експертів, ринок заморожених ягід за технологією IQF має високий потенціал розвитку, зокрема, до 2026 року очікується його зростання до 14,8 млрд. дол. США, або середньорічний темп зростання близько 6,5%, а лідером серед ягід буде чорниця.

Конкурентними перевагами вітчизняних виробників заморожених ягід є: сприятливі кліматичні умови, що забезпечують високу якість продукції, географічне розташування та логістика, низька вартість ресурсів, що формують собівартість продукції. Перешкодами для подальшого розвитку українського ринку заморожених ягід є: стандарти якості продукції, що не відповідають офіційним вимогам ЄС, відсутність великих організованих кооперативів з вирощування ягід та недостатні виробничі потужності для заморожених свіжих ягід [7].

Формулювання мети статті. Розглянути технологічне обладнання для заморожування плодово-ягідної продукції та його вплив на якість продукції.

Основна частина. Низькі плюсові температури переважно використовують для зберігання сільськогосподарської продукції. Оптимальна температура – це температура, при якій можна максимально гальмуються процеси життєдіяльності в об'єктах зберігання. У той же час, низькі температури мають пригнічувати життєдіяльність будь-яких мікроорганізмів. Режими зберігання розроблено практично для всіх видів продукції рослинництва з використанням штучного холоду, але в сільському господарстві не знаходять широкого застосування через недостатню матеріально-технічну базу.

Різновидом заморожування є заморожування продукції в морозильних камерах. Швидке заморожування при температурі мінус 18-20 °С забезпечує повне збереження продукції, з подальшим зберіганням при температурі не нижче мінус 15 °С протягом багатьох місяців. Однак при розморожуванні великі кристали льоду, можуть прорватись через клітини і витікати з продукту. Тому для зменшення розмірів кристалів почали використовувати температуру нижче мінус 33°С, щоб при розморожуванні клітини залишались неушкодженими й продукція мала товарний вигляд.

Методи охолодження харчових продуктів засновані на передачі тепла продуктом завдяки таким явищам як теплопровідність, конвекції та теплообміну при фазових перетвореннях.

Охолоджуючим середовищем зазвичай є повітря з різною швидкістю руху і температурою мінус 30-40 °С. Продукти



заморожують у морозильниках камерного типу, де повітря рухається із швидкістю 1-2 м/с. Для прискорення процесу заморожування джерело холоду розміщують у таких камерах поряд з об'єктом, що заморожується. Вони найбільш підходять для заморожування фасованих продуктів, чим більше тепла й вологи обмінюється і чим менша упаковка. Найкращі результати досягаються при заморожуванні розсипної продукції, яка перебуває в несправжньо зрідженому стані, цей метод називається – флюїдизації. Деякі морозильні камери заморожують одну сторону за раз, розміщуючи продукцію на металевій пластині, яка інтенсивно охолоджується. Двостороннє заморожування відбувається швидше, а швидкість заморожування як правило обмежується товщиною шару продуктів, що заморожується. Заморожування рідким холодоагентом, що подається через форсунку, можна проводити у вертикальному або горизонтальному положенні.

Заморожування за допомогою киплячих холодоносіїв, таких як рідкий азот та фреон, вважається найшвидшим. У цьому випадку вся поверхня продукту обмінюється теплом і може бути заморожена протягом декількох хвилин при дуже низьких температурах.

Дрібні плоди і ягоди заморожують цілими, а більші розрізають на шматочки. Заморожені продукти зберігають при температурі не вище мінус 17 °С.

Як відомо, дуже часто відходи переробки плодово-ягідної продукції використовують для виготовлення харчових добавок. Цей напрям використання відходів виробництво є надзвичайно актуальним в провідних країнах світу [8, 9].

Під час вибору оптимального технологічного обладнання виробнику потрібно орієнтуватися передусім на те, які саме продукти будуть заморожуватися. Також важливим, щоб обладнання було досить універсальним, щоб заморожувати різні види овочів, фруктів і ягід за умови правильного налаштування. Для вітчизняних виробників важливо мати власні сховища, щоб конкурувати з імпортерами в зимові та весняні періоди. Українська компанія ТзОВ «СВ-Холод Захід Плюс», спеціалізується на постачанні та монтажі холодильного обладнання. Шокова заморозка – найкращий спосіб зберегти продукти харчування якнайдовше. Тому в асортименті «СВ-Холод Захід Плюс» представлені флюїдизаційні тунелі для заморозки продукції невеликого розміру, таких як ягід, грибів, нарізаних фруктів і т.ін., а також плиточні морозильні апарати, які працюють за принципом контактного заморожування і підходять для заморожування фруктового пюре, а також елементи для технологічних ліній.

Компанія Unidex, яка проектує, виробляє та встановлює морозильні тунелі для фруктів, ягід, овочів, м'яса, птиці, морепродуктів представляє технологію, яка забезпечує найкращу



якість заморожених продуктів. Вона також постачає обладнання, яке є частиною технологічної лінії для заморожування фруктів та овочів, наприклад конвеєри та машини для миття продукції. Крім того, компанія Unidex здійснює модернізацію старих тунелів, оснащуючи їх новими рішеннями, що дозволяють досягти кращої якості продукту, більш тривалої роботи між розморожуванням тунелів і більш низьких експлуатаційних витрат.

Польська компанія UNI-MASZ H.M. Juszcuk Sp.j., спеціалізується на проектуванні, конструюванні та виготовленні обладнання для харчової, переробної плодоовочевої промисловості. Підприємство має більше 50 типів обладнання, вибір якого здійснюється в залежності від сировини, що переробляється і від виробничого процесу, необхідних замовнику. Польська компанія пропонує широкий вибір машин і технологій для обробки і заморозки ягід: полуниці, малини, вишні, смородини, чорниці, бузини, а також фруктів – яблук та слив.

Серед виробників ягід популярні маленькі флюїдизаційні тунелі для заморожування з продуктивністю до 5 тонн за годину. Для виробників важливо, щоб обладнання могло довго працювати, тому воно повинне бути оснащене системою UDS, яка подовжує час роботи між розморожуваннями. Також потрібно звернути увагу на підбір відповідної стрічки в тунелі. Система UDS, призначена для видалення інею з випарників при використанні стисненого повітря. Кожен випарник має резервуар стисненого повітря, який його обслуговує, разом з повітряними соплами, розташованими таким чином, щоб видалити іній, сніг і лід між ламелями випарника. Всією системою UDS автоматично керує контролер тунелю. Завдяки UDS та зовнішній системі мийки стрічки тунель для заморожування може працювати до 22 годин між розморожуванням.

Сенсорна панель міститься в шафі управління і забезпечує точний контроль усіх елементів тунелю без необхідності заходити всередину обладнання [10].

Окрім того, тунель додатково може бути оснащений системою CIP (Cleaning-In-Place), секвенційним розморожуванням та віддаленим доступом.

На рис. 3 представлено камеру для шокової заморозки. Призначена для швидкої та глибокої заморозки ягід, активна вентиляція холодного повітря дозволяє охолодити та заморозити ягоди з мінімальними ваговими втратами до 7 %.

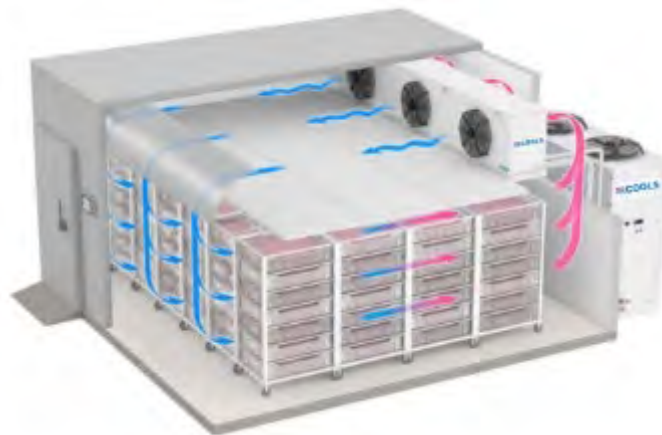


Рисунок 3. Камера для шоквої заморозки

На рис. 4 представлено флюїдизаційний апарат IQF тунелі для шоквої заморозки, дозволяє зберігати високу якість продукції та мінімальну усушку, при чому продукти зберігають свою розсипчасту структуру.



Рисунок 4. Флюїдизаційний апарат IQF тунелі

На рис. 5 наведено спіральні тунелі для шоквої заморозки, призначені для дуже швидкої шоквої заморозки різної продукції, рекомендовано до використання на підприємствах для зберігання напівфабрикатів.



Рисунок 5. Спіральні тунелі для шокової заморозки

Висновки. Таким чином, використання сучасного технологічного обладнання, ліній та інноваційних технологій для зберігання, передпродажної підготовки та переробки на підприємствах України дозволить мінімізувати витрати робочої сили, збільшить продуктивність виробництва, а отже сприятиме рентабельності виробництва. Впровадження інноваційних технологій переробки фруктів і ягід для українських виробників сьогодні – це шанс вийти на нові ринки збуту, зробити свою продукцію конкурентоспроможною та зменшити втрати від утилізації, а отже дозволить реалізовувати продукцію з доданою вартістю.

Список використаних джерел

1. Аналіз світового ринку заморожених продуктів харчування за видом продукції та географічним розташуванням: тенденції та прогнози (2010-2018): звіт. URL: <http://www.ucca.org.ua/ua/information/news/21#> (дата звернення: 21.01.2019).
2. Impact of cryoprotection on minimization of ascorbic acid losses in freezing of berries / G. Simakhina et al. Ukrainian Food Journal. 2019. Vol. 8. № 2. P. 271–283.
3. Karolefski J. What Are the Most Important Food Trends Today? URL: <http://www.cpgmatters.com/International0612.html> (дата звернення: 21.01.2019).
4. Maslikov, M. & Polischuk, G. (2013). Unit for Food's Temperature Control during Their Refrigeration. Ukrainian Journal of Food Science, 1(2), Pp. 194–198.
5. Osuga D., Van Der Schaaf A., Whitaker J. R. (2014). Control of polyphenol oxidase activity using a catalytic mechanism. Protein Structure-Function Relationships in Foods. Scotland, Pp. 62–88.



6. Як заробляти на ягодах цілий рік? Секрети ринку заморожених продуктів. URL: <https://shuvar.com/news/2820/Yak-zaroblyaty-na-yahodakh-tsilyy-rik-Sekrety-rynku-zamorozhenykh-produktiv> (дата звернення: 19.06.2018).

7. Охолодження та заморозка. URL: <https://incools.com/ua/service/frost> (дата звернення: 2023).

8. Горач О. О., Домбровська О. П., Чурсіна Л. А., Домбровський К.А. Регулювання виробництва і застосування харчових добавок з природної сировини. Інновації в управлінні асортиментом, якістю та безпекою товарів і послуг: Матеріали ІХ-ої міжнародної наук.-практ. конф.: (Львів, 09 грудня 2021 року) :тези доповідей / Відп. ред. П. О. Куцик. Львів : Растр-7, 2021. С. 19–23.

9. Dombrovska O., Chursina L., Gorach O., Yevtushenko V. Features of control of food additives from natural raw materials. Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і практичні підходи виробництва та регулювання використання харчових добавок в країнах Європейського Союзу та в Україні», 30 листопада 2021. К.: НУХТ, 2021. С. 10–13.

10. В Україні спостерігається бум на обладнання для заморозки ягід. URL: <https://www.agravery.com> (дата звернення: 25.10.2021).

Стаття надійшла до редакції 20.03.2023 р.

O. Gorach

Kherson state agrarian and economic university

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR FREEZING FRUIT AND BERRY PRODUCTS

Summary

The article provides an analysis of the production of fruit and berry products in Ukraine and the world, and shows its place in the international market for the export of frozen berries. Factors that influence the quality of export products and contribute to the development of the frozen fruit and berry products market, which are associated with the development of the agricultural sector, the growing demand for this type of product abroad, as well as high profitability, which stimulates agricultural producers to diversify production, are analyzed.

Low positive temperatures are mainly used for the storage of plant products. Optimum temperature values have been determined at which life processes in storage facilities are maximally inhibited, but they remain alive. At the same time, low temperature inhibits or has a detrimental effect on the vital activity of any microorganisms. Modes of storage of almost all types of plant products using artificial cold have been developed, but due to the insufficient material and technical base, they are not widely used in agriculture.

Freezing of products in freezers is a type of use of refrigeration equipment. Quick freezing at minus 18-20 °C contributes to complete preservation of products, and further



aging at a temperature not lower than minus 15 °C ensures its storage for many months. However, during defrosting, the products flowed due to the rupture of cells by large ice crystals. To reduce the size of the crystals, temperatures below minus 33°C were used, as a result of which the tissue cells of plant objects remained intact during thawing and the products had a proper marketable appearance.

Methods of freezing products are based on the transfer of heat through the product due to the phenomena of thermal conductivity, convection, radiation and heat exchange during phase transformations

Deficiencies in this segment have also been identified, which do not allow us to occupy a large part of the market of frozen products among European countries and are connected with the fact that there is a discrepancy in product quality standards with the official requirements of the European Union; lack of large organized berry growing cooperatives and insufficient production capacity for freezing fresh berries. The work examines innovative technological equipment of various European and domestic manufacturers for freezing fruit and berry products and its impact on product quality. Features of the use of innovative technological equipment for freezing various products, which are currently used by European manufacturers, are given.

Key words: technological equipment, fruit and berry products, freezing, export, quality, standards.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-22

УДК 664.3.032.1

О. В. Дзюндзя, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1996-7065

О. В. Горач, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-8737-5002

Н. І. Резвих, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4727-512X

Херсонський державний аграрно-економічний університет

e-mail: dzokvaok@gmail.com, тел.: 050-667-38-30

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МАЙОНЕЗУ

Анотація. Майонези – один з найбільш популярних соусів, що виготовляються харчовою промисловістю. Однією з проблем з виробництва даної продукції є шаруватість готового продукту та наявність краплин жиру на поверхні майонезу, що свідчить про несправність гомогенізатора або не правильний його підбір.

Метою даної роботи є дослідження перспективних напрямів гомогенізації емульсій та вивчення технічних характеристик сучасних гомогенізаторів для удосконалення способу отримання майонезних соусів високої якості.

У роботі проведено аналіз основних типів гомогенізаторів, які використовуються для виробництва майонезів. В результаті вивчення технічних характеристик гомогенізаторів різного типу встановлено, що найбільш раціональним є використання ультразвукової обробки для отримання продукції високої якості.

Ключові слова: гомогенізатор, емульсія, майонез, технологічний процес, якість, жирність, гомогенізація, емульгування.

Постановка проблеми. Майонези – один з найбільш популярних соусів, що виготовляються харчовою промисловістю. Однією з проблем з виробництва даної продукції є шаруватість готового продукту та наявність краплин жиру на поверхні майонезу, що свідчить про несправність гомогенізатора або не правильний його підбір. Процес гомогенізації дозволяє отримати однорідну структуру майонезній емульсії. Це один із найважливіших процесів, що відбувається вкінці технологічного процесу, після якого відбувається фасування готового майонезу. Отже, процес гомогенізації дозволяє отримати майонез високої якості з гарними органолептичними показниками і даний етап є обов'язковим при виробництві соусів різної жирності.



Аналіз останніх досліджень. Сьогодні, в епоху індустріалізації і максимального збереження ресурсів, питанням підвищення ефективності виробництва приділяється особлива увага, оскільки вони набувають все більш інформаційного характеру [1, 2]. Виробники харчових продуктів повинні слідкувати за технічним розвитком, новими інформаційними підходами з вирішення виробничих завдань, впроваджувати новітні досягнення на виробництво. Автоматизація виробництва, удосконалене ресурсоощадне обладнання дозволить зменшити витрати на виробництво та збільшити обсяги і якість продукції.

Досліджуючи питання виробництва майонезу виявлено, що більшість наукових досліджень спрямована на виробництво продукції із заданими споживчими властивостями [3-11], однак аналізу устаткування, що застосовується в технологічному процесі майже не приділяється увага.

Вивчаючи вплив ультразвукової обробки встановлено [12], що шляхом регулювання умов ультразвукового емульгування можна регулювати антиоксидантну та антибактеріальну поведінку емульсій «олія у воді» за різних колоїдних умов. Встановлено, що ступінь гомогенізації впливає на окислення ліпідів в емульсії і антибактеріальні властивості та залежить від розміру крапель.

Промисловістю виготовляються майонези різної жирності, однак існують проблеми зі стабільністю емульсій, що пов'язана саме з правильним вибором гомогенізатора та спричиняють необхідність додавання до рецептури додаткових компонентів-структуроутворювачів [13]. Отже, проаналізувавши останні дослідження виявлено необхідність більш детального вивчення процесу гомогенізації та його вплив на якість та безпечність майонезу.

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є дослідження перспективних напрямів гомогенізації емульсій та вивчення технічних характеристик сучасних гомогенізаторів для удосконалення способу отримання майонезних соусів високої якості.

Основна частина. Майонез – це емульсія, комплексним показником якості якої є стійкість. Стійкість характеризується часом, впродовж якого отримана система руйнується і обсягом дисперсної фази, що випала в процесі коалесценції на фоні емульсії. Також, комплексність показника якості емульсії це стійкість, що залежить не тільки від ступеня диспергування фази, вона також визначається складом та структурно- механічними властивостями сорбційного шару на межі розділу фаз, який запобігає подальшій коалесценції фази [5]. Процес гомогенізації дозволяє отримати стійку тонкодисперсну емульсію. При виробництві майонезів важливим є забезпечення не лише показників якості та безпечності, а й застосування принципово

нових ефективних енерго- та ресурсозберігаючих технологій. Для гомогенізації продукції харчовою промисловістю використовують гомогенізатори різних типів: вакуумні, роторні, клапанні, відцентрові, ультразвукові, імпульсні, тощо.

Аналізуючи цехи з виробництва майонезів виявлено, що ними для створення емульсій застосовується обладнання різного типу. Розглянемо найбільш поширені види гомогенізаторів.

Роторно-статорна гомогенізація. В основу такого способу покладено принцип розриву потоку суміші, що прокачується через нього (рис.1). Це пристрій в якому у нерухомому статорі з великою швидкістю обертається ротор, при цьому в зазорі між статором і ротором створюється висока турбулентність, яка і сприяє гомогенізації. Такий тип гомогенізаторів здатен створювати стабільні емульсії лише з підвищеним вмістом жиру (понад 50 %). Для виробництва стійких кремодібних та не осідаючих емульсій дане устаткування не рекомендовано використовувати. Використання роторно-статорних гомогенізаторів дозволяє зменшити витрати на електроенергію та заощадити на виробничій площі, зменшується в тричі порівняно з вимогами до гомогенізаторів високого тиску.



Рисунок 1. Гомогенізатор ротор-статор Herbort (Німеччина)

Гомогенізація під дією високого тиску. Такий вид гомогенізації є відносно новою технологією (рис.2, рис.3). Ця технологія може бути придатною для розробки стабільних емульсій зі зниженим вмістом жиру з різноманітними текстурами. Дія високого тиску також дозволяє зменшити вміст стабілізаторів до рецептури, що може знизити витрати на виробництво.



Рисунок 2. Гомогенізатор FBF-037 (Італія)



Рисунок 3. Гомогенізатор ОДМЕЗ (Україна)

За принципом дії це поршневі насоси високого тиску скомбіновані з гомогенізований клапанами, що стискають майонезну масу під впливом високого тиску, яка протікає через клапан із змінним зазором[14]. Від поршневого насоса майонезна маса прибуває в робочу зону клапана. Із робочої поверхні блоку рідина під тиском подається через нагнітаючий канал в гомогенізуючу головку і з великою швидкістю проходить через кільцевий зазор, що утворився між поверхнями гомогенізуючого клапана та його сидінням. Під час проходження крізь зазор швидкість різко підвищується, а при виході із зазору тиск різко знижується. За рахунок утворених турбулентних завихрень і кавітації відбувається розпад глобул і утворюється гомогенна майонезна емульсія.

Недоліком даної технології є значні витрати енергетичних



ресурсів та процес є досить технічно складним.

Однак, новим удосконаленим поколінням даного типу гомогенізаторів є стабілізація емульсій надвисоким тиском (ГНВТ). Головна відмінність порівняно з традиційними гомогенізаторами полягає в новій вузькій конструкції розривного клапана. Зазор клапана ГНВТ значно менший (2–5 мкм) порівняно з зазором клапана традиційного гомогенізатора (10–30 мкм). Це дозволяє досягти більш високого максимального робочого тиску гомогенізації до 400 МПа порівняно з тиском, досягнутим за допомогою традиційних гомогенізаторів, зазвичай до 80–100 МПа.

За цим принципом рідина тече під тиском дуже короткий час (1–10 с) до вузького розривного клапана, а потім розширюється разом із миттєвим падінням тиску на виході з гомогенізаційного клапана, що призводить до утворення дуже маленьких крапель жиру. Раптове скидання тиску призводить до значного підвищення температури, спричиненого зсувом і частковим перетворенням динамічної енергії в тепло в діапазоні 15–20 С/100 МПа (для водних матриць). Таким чином, технологія ГЕВТ виникає як потенційна технологія для виробництва харчових продуктів із зменшеною кількістю емульгаторів і стабілізаторів.

Ультразвукова гомогенізація. Основний принцип дії ультразвукових гомогенізаторів направлений на використанні прямої ультразвукової сили для створення високочастотних вібраційних хвиль для руйнування нативних шарів рідини і її змішування (рис.4.). Консистенцію та однорідність емульсії, отриманих будь-яким прямим ультразвуковим гомогенізатором, можна досягти шляхом зміни потужності ультразвуку, частоти та тривалості змішування. Дані пристрої є потужними та надійними змішувачами, які використовуються як в лабораторних дослідженнях так і для промислового виробництва. Ультразвукове емульгування є одним із високоенергетичних методів, що використовується в багатьох процесах та забезпечує створення стабільних емульсій і наноемульсій.

За рахунок використання ультразвукових хвиль у процесі емульгування та гомогенізації відбувається інтенсифікація виробництва майонезу, тому що наведені процеси відбуваються одночасно, а за показником дисперсності отримані гомогенізовані продукти не поступається зразкам, які отримані за традиційними технологіями.

Для виробництва майонезу емульгування та гомогенізацію підготовленої емульсії в полі ультразвукових хвиль рекомендовано здійснювати частотою від 22 до 40 кГц.



Рисунок 4. Ультразвуковий гомогенізатор Hielscher Ultrasonics UIP1000hdT (США)

Порівнюючи існуючі типи гомогенізаторів встановлено (табл.1) як переваги так і недоліки:

Таблиця 1

Порівняльна характеристика гомогенізаторів

Тип гомогенізатора	Переваги	Недоліки
Роторно-статорні	Виробництво якісних майонезів високої жирності	Габаритні, знос деталей. Для виробництва низькокалорійної продукції необхідне додаткове використання емульгаторів
Дія високого тиску (клапанні, плунжерні)	Виробництво якісних майонезів низької жирності	Габаритні, частий знос деталей
Ультразвукові	Універсальність жирності майонезів	Енергетично ефективні, займають мало місця, увесь процес автоматизований (виробництво і контроль параметрів)

Проведені дослідження встановили переваги та недоліки найбільш використовуваних типів гомогенізаторів для виробництва майонезних



соусів.

Таким чином, аналізуючи вище викладене, можна зробити висновок, що на сьогоднішній день існує багато різних виробників технологічного обладнання, які займаються його випуском та удосконаленням. Технологічний процес виготовлення майонезу, як було зазначено вище, залежить від технічних характеристик обладнання, тому впровадження сучасного інноваційного обладнання є важливим завданням сьогодення. Міжнародні стандарти якості, наприклад ДСТУ ISO 9001:2015 «Системи управління якістю» містять вимоги до системи управління якістю, які передбачають постійне вдосконалення виробництва і ці питання є стратегічними та може допомогти поліпшити загальну дієвість та забезпечити міцну основу для ініціатив щодо їх сталого розвитку. Тому питання використання сучасних досягнень науки та техніки для успішного розвитку виробництва є важливим завданням для виробництва. Використовуючи інноваційне обладнання та консультуючись з фахівцями галузі, а також застосовуючи сучасні наукові досягнення все це є запорукою сталого розвитку харчових виробництв, а отже конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світовому ринку.

Висновок. В результаті вивчення технічних характеристик гомогенізаторів різного типу встановлено, що найбільш раціональним є використання ультразвукової обробки для отримання емульсій типу майонез. Найбільш ефективно процес отримання емульсії відбувається при частоті до 40 кГц, однак рекомендується обирати значення на рівні від 22 кГц до 40 кГц. Використання нового сучасного устаткування такого як ультразвукові гомогенізатори дозволить зменшити витрати енергоресурсів під час виробництва, та заощадити на виробництві за рахунок зниження собівартості виготовлення майонезних соусів. Перевага ультразвукових хвиль під час емульгування полягає в тому, що відбувається процес одночасного порушення цілісності складових жирових кульок, їх руйнування, що спричиняє рівномірний розподіл часточок за всім об'ємом. Використання ультразвукових хвиль дозволяє інтенсифікувати виробництво майонезу, так як наведені процеси відбуваються одночасно, а за показником дисперсності отримані майонези не поступаються зразкам гомогенізованим за традиційними технологіями.

Список використаних джерел

1. Bai C., Dallasega P., Orzes G., Sarkis J. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 2020. Vol. 229. 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
2. Kazemi Z., Safavi A. A., Pouresmaeli S., Naseri F. A practical



framework for implementing multivariate monitoring techniques into distributed control system. *Control Engineering Practice*, 2019, Vol. 82 p.118-129. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.10.003>

3. Mohammed N. K., Ragavan H., Ahmad N. H., Hussin A. S. M. Egg-free low-fat mayonnaise from virgin coconut oil. *Foods and Raw Materials*. 2022, Vol.10 (1). P. 76–85. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-76-85>

4. Miguel G. A., Jacobsen C., Prieto C., Kempen P. J., Lagaron J. M., Chronakis I. S., *et al.* Oxidative stability and physical properties of mayonnaise fortified with zein electrospayed capsules loaded with fish oil. *Journal of Food Engineering*. 2019, Vol.263, P. 348–358. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.019>

5. Taslikh M., Mollakhalili-Meybodi N., Alizadeh A. M., Mousavi M-M., Nayebzadeh K., Mortazavian A. M. Mayonnaise main ingredients influence on its structure as an emulsion. *Journal of Food Science and Technology*. 2021, Vol. 59(6). P. 2108–2116. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05133-1>

6. Armaforte E., Hopper L., Stevenson G. Preliminary investigation on the effect of proteins of different leguminous species (*Cicer arietinum*, *Vicia faba* and *Lens culinaris*) on the texture and sensory properties of egg-free mayonnaise. *LWT*. 2021, Vol.136. 110341 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110341>

7. Sakai S., Ikeda N. A numerical analysis to evaluate the emulsifying activity of pasteurized egg yolk. *Food Hydrocolloids*. 2022, Vol.123. 107087. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107087>

8. Chen J., Cao C., Yuan D., Xia X., Liu Q., Kong B. Impact of different ionic strengths on protein-lipid co-oxidation in whey protein isolate-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*. 2022, Vol.385. 132700. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132700>

9. Jalali-Jivan M., Abbasi S. Novel approach for lutein extraction: Food grade microemulsion containing soy lecithin & sunflower oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020, Vol.66. 102505. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102505>

10. Patil U., Benjakul S. Physical and textural properties of mayonnaise prepared using virgin coconut oil/fish oil blend. *Food Biophysics*. 2019, Vol.14(3), P. 260–268. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09579-x>

11. Primacella M., Wang T., Acevedo N. C. Characterization of mayonnaise properties prepared using frozen-thawed egg yolk treated with hydrolyzed egg yolk proteins as anti-gelator. *Food Hydrocolloids*. 2019, Vol. 96, p.529–536. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.008>

12. Park J-Y., Choi M-J., Yu H., Choi Y., Park K-M., Chang P-S. Multi-functional behavior of food emulsifier erythorbyl laurate in different colloidal conditions of homogeneous oil-in-water emulsion system. *Colloids*



and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2022, P. 636.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128127>

13. Alvarez-Sabatel S., Martínez de Marañón I., Arboleya J-C. Impact of oil and inulin content on the stability and rheological properties of mayonnaise-like emulsions processed by rotor-stator homogenization or high pressure homogenization (HPH). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018, Vol.48, P. 195–203.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.014>

14. Паска М. З., Жук О. І. Використання інноваційного обладнання Фрума Корума МаххD, у виробництві майонезу. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2015, Vol.2(10 (74)), P. 58–64.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.41578>

Стаття надійшла до редакції 24.03.2023 р.

O. Dzyundzya, O. Gorach, N. Rezvykh
Kherson State Agrarian and Economic University

TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT FOR THE HOMOGENIZATION OF MAYONNAISE

Summary

Mayonnaise is one of the most popular sauces produced by the food industry. One of the problems with the production of this product is the layering of the finished product and the presence of drops of fat on the surface of the mayonnaise, which indicates a malfunction of the homogenizer or its incorrect selection. The technological process of making mayonnaise depends on the technical characteristics of the equipment, so the introduction of modern innovative equipment is an important task today. The question of using modern achievements of science and technology for the successful development of production is an important task for production

The purpose of this work is to research promising directions of homogenization of emulsions and to study the technical characteristics of modern homogenizers to improve the method of obtaining high-quality mayonnaise sauces.

The homogenization process makes it possible to obtain a stable finely dispersed emulsion. In the production of mayonnaise, it is important to ensure not only quality and safety indicators, but also the use of fundamentally new, effective energy- and resource-saving technologies. To homogenize products, the food industry uses homogenizers of various types: vacuum, rotary, valve, centrifugal, ultrasonic, pulse, etc.

Analyzing the shops for the production of mayonnaise, it was found that different types of equipment are used to create emulsions, but the most common are three types of homogenization: rotor-stator, under the action of high pressure, and ultrasonic.

The paper analyzes the main types of homogenizers used for the production of mayonnaise. By comparing the existing types of homogenizers, both the advantages and disadvantages of the most used equipment for the production of mayonnaise sauces were established.

As a result of the study of the technical characteristics of various types of homogenizers, it was established that the most rational is the use of ultrasonic treatment to obtain high-quality products. The use of ultrasonic homogenizers makes it possible to



reduce production costs, and therefore affects the reduction of the production cost of mayonnaise.

Key words: homogenizer, emulsion, mayonnaise, technological process, quality, fat content, homogenization, emulsification.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-23

УДК 663.916.7

О. Ю. Мельник, к.т.н., доц

ORCID: 0000-0002-9201-7955

І. К. Мазуренко, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-5309-7702

О. Ю. Кошель, д.ф., доц.

ORCID: 0000-0002-2184-2106

С. М. Сабадаш, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-0371-8208

Сумський національний аграрний університет

e-mail: oхана7@i.ua., тел.: 050-368-03-06

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ НОВОГО БАТОНЧИКА ЖЕЛЕЙНОГО

Анотація. У статті запропоновано спосіб інноваційної технології батончика желейного, шляхом внесення в рецептуру інгредієнтів – меду та борошна кешью, багатих на поживні речовини для використання їх в кондитерській галузі та ресторанному господарстві. Проаналізовано наукові праці вітчизняних та іноземних вчених, які займалися удосконаленням технології різноманітних батончиків.

Запропоновано модель «структура системи» та технологію отримання нового продукту. У запропонованій технології батончиків желейних, для підвищення харчової та біологічної цінності продукту, пропонується сумісне поєднання меду та борошна кешью. Встановлено раціональне співвідношення складників в рецептурі батончика. Крім того розраховано харчову та біологічну цінність готового продукту - батончика желейного.

Ключові слова: батончик, мед, борошно кешью, кондитерські вироби, желейні вироби, харчова та біологічна цінність.

Постановка проблеми. В останні роки ми можемо спостерігати зростання кількості людей, що страждають від хронічних захворювань. Причиною цього є незбалансоване харчування, проблеми з екологією та стрес. Через це харчові продукти почали розглядати як ефективний спосіб підтримки фізичного та психічного здоров'я, а також зниження ризику виникнення різних захворювань [1].

Одним з важливих аспектів правильного харчування є щоденне споживання рослинних продуктів, які багаті на вітаміни, мінерали та харчові волокна.

На сьогоднішній день перспективним напрямом технологічного розвитку у харчовій промисловості є виробництво продуктів, що відповідають вимогам швидкого та здорового харчування одночасно. У



зв'язку з цим, ми вважаємо, що цей факт повинні враховувати підприємства, що займаються виробництвом різноманітних батончиків, оскільки ці продукти часто використовуються як швидкий перекус.

Батончики можна класифікувати в залежності від їх складу за рецептурою: фруктові (звичайний асортимент фруктів), горіхові (збільшений вміст горіхів у фруктовій основі), ягідні та шоколадні.

В останній час споживачі все більше звертають увагу на продукти харчування, що містять корисні та поживні компоненти натурального походження і мають відповідні органолептичні властивості. Тому перед нами стоїть завдання створити продукт, який відповідатиме необхідним критеріям. Нами запропоновано спосіб інноваційної технології батончика желейного, шляхом внесення в рецептуру інгредієнтів багатих на поживні речовини для використання їх в кондитерській галузі та ресторанному господарстві.

Аналіз літературних джерел вказує на актуальність використання рослинних компонентів, таких як мед і кешью-борошно, у технології виробництва желейних батончиків. Це пояснюється проблемою дефіциту біологічно активних речовин в організмі людей [2].

Багато вітчизняних та зарубіжних вчених займалися проблемою підвищення харчової та біологічної цінності желейних батончиків, а також удосконаленням їх технологій. Проте останні роботи, що стосуються удосконалення технології батончиків желейних з використанням меду та борошна кешью відсутні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ході огляду зарубіжних та вітчизняних літературних джерел встановлено, що питанням розробки та удосконалення технології різноманітних батончиків приділено багато уваги.

Вченими [3] був розроблений метод виробництва овочево-горіхових батончиків, призначених для харчування військовослужбовців. Було обґрунтовано вибір таких складових як курага, цукати з моркви, волоський горіх та насіння соняшнику для цих батончиків. Споживання одного батончика дозволяє задовольнити добові потреби організму у певних поживних речовинах, таких як білки, жири, вуглеводи, харчові волокна, калій, магній, фосфор, залізо, вітамін Е, β -каротин і вітамін С. Збільшений вміст мікроелементів має позитивний вплив на імунну систему, захисні та адаптаційні механізми організму, фізичну витривалість та здатність до відновлення.

Метою статті [4] було дослідження щодо удосконалення рецептури злакового батончика шляхом збагачення його натуральними джерелами вітаміну С – маслом обліпихи та сиропом шипшини. Проведені дослідження показали доцільність та перспективність удосконалення рецептури злакових батончиків за рахунок підвищення



їх біологічної цінності.

У статті [5] описано основні підходи до створення спеціалізованих батончиків. Вчені розробили рецептуру та запропонували метод виробництва безглютенового батончика, який базується на пророщеному насінні льону з додаванням рисового борошна та сухофруктів. Цей батончик має високі харчові властивості. Впровадження технології виробництва безглютенових батончиків дозволить задовольнити потреби у харчових продуктах для осіб, які страждають на целиацію, а також розширити асортимент продуктів підвищеної харчової та біологічної.

У дослідженні [6] була обґрунтована рецептура та розроблена технологія спеціального продукту споживання - батончиків «Vitabar», які призначені для коригування раціонів харчування військовослужбовців. Також були визначені фізико-хімічні показники цього нового продукту.

Метою науковців [7] була розробка технології фруктово-зернових батончиків профілактичної спрямованості. Досліджено, що батончик, з натуральних продуктів на зерновій основі, містить в своєму складі низьку кількість цукру, що дозволяє відносити розроблений продукт до технології дієтичної та профілактичної спрямованості. Також відзначено, що продукт має щільну структуру. Це може сприяти збереженню правильної форми при транспортуванні.

Постановка завдання. Метою статті є обґрунтування рецептурного складу та удосконалення технології батончиків желейних шляхом використання сировини багатой на поживні та біологічно-активними речовини - меду та борошна кешью, для збагачення готового продукту харчовою та біологічною цінністю, а також розширення асортименту кондитерських виробів.

Виклад основного матеріалу дослідження. В останні роки у споживачів істотно збільшився інтерес до харчових продуктів такі як горіхи та мед, що містять корисні для здоров'я людини нутрієнти і мають високу харчову та біологічну цінність [8].

У запропонованій технології батончиків желейних, для підвищення харчової та біологічної цінності продукту, пропонується сумісне поєднання меду та борошна кешью. Мед є солодкою, густою масою, яку переробляють бджоли з квіткового нектару. Спираючись на [9] встановлено, що така суміш є надзвичайно багатой вітамінами, мікро- та макроелементами, приводить в норму метаболічні реакції, зміцнює імунітет, нормалізує шлункову кислотність та покращує травлення. У меді, цукри становлять основну частку, їх кількість складає до 80%. Вміст окремих вуглеводів у меді змінюється в широких межах: фруктоза - від 22% до 47%, глюкоза - від 20% до 44%, мальтоза - від 1,1% до 10%, а цукроза може досягати до 13%.



Наявність у складі желейних батончиків борошна кешью також надзвичайно корисна. Борошно з кешью - це продукт, який отримують після подрібнення та обробки горіхів кешью. Це борошно має світло-кремовий колір та м'який горіховий смак. Горіхи кешью містять багато корисних жирів, білків та мінералів, таких як магній, фосфор та цинк, які можуть підвищити рівень енергії, допомогти в підтримці здоров'я кісток та м'язів, а також підтримувати імунну систему. Крім того, кешью містить багато антиоксидантів, таких як вітамін Е, які допомагають боротися зі стресом та захищати клітини від пошкоджень. Введення борошна кешью до складу желейних батончиків дозволить значно підвищити харчову та біологічну цінність готового виробу, а також надасть продукту новий, цікавий смак та аромат [10].

В якості зв'язуючого компонента пропонується використання харового гліцерину. Останній є речовиною, що широко поширена у промисловості. За своїми властивостями гліцерин є прозорою, але в'язкою речовиною, без характерного запаху з солодкуватим смаком, добре розчинна у воді. У харчовій промисловості його додають до кондитерських виробів, а також як добавку до напоїв. Проведені дослідження показали, що гліцерин може виступати відмінним стабілізатором, зберігати і підвищувати в'язкість, а також покращувати консистенцію харчових продуктів.

Згідно з дослідженням [11], встановлено, що гелі на основі агару мають високі реологічні властивості, тому для створення желейних батончиків було обрано цей компонент - речовину рослинного походження, яка виконує роль желеутворювача. Агар отримують з бурих і червоних водоростей і використовують як основний інгредієнт для формування структури готового продукту в кондитерській промисловості. Завдяки високому вмісту клітковини (80%), агар є корисною речовиною, яка сприяє виведенню шлаків з організму і поліпшенню роботи печінки. Його також часто використовують у дієтичному харчуванні. У порівнянні з желатином, агар не містить калорій і не має небажаного присмаку. Велика кількість желатину може надати продукту виразний м'ясний смак, що не спостерігається при використанні агару. Крім того, агар має кращі желуючі властивості, швидше застигає і для досягнення бажаного ефекту використовується в менших кількостях [12].

Для оздоблення корпусу батончика пропонується використання кондитерської глазури, яка являє собою спеціально приготовлений густий солодкий сироп, яким покривають кондитерські вироби. Застосування кондитерської глазури обумовлено її високими смаковими якостями, стійкістю в зберіганні, низькою в'язкістю при певних умовах, що дозволяє отримати рівномірне щільне покриття. Вона підвищує термін зберігання виробів, так як оберігає їх від

висихання і інших змін, пов'язаних з втратою або поглинанням вологи.

Враховуючи вищенаведене, нами запропонована модель «структура системи» та технологія отримання батончика желейного з використанням меду та борошна кешью яка представлена на рис. 1.

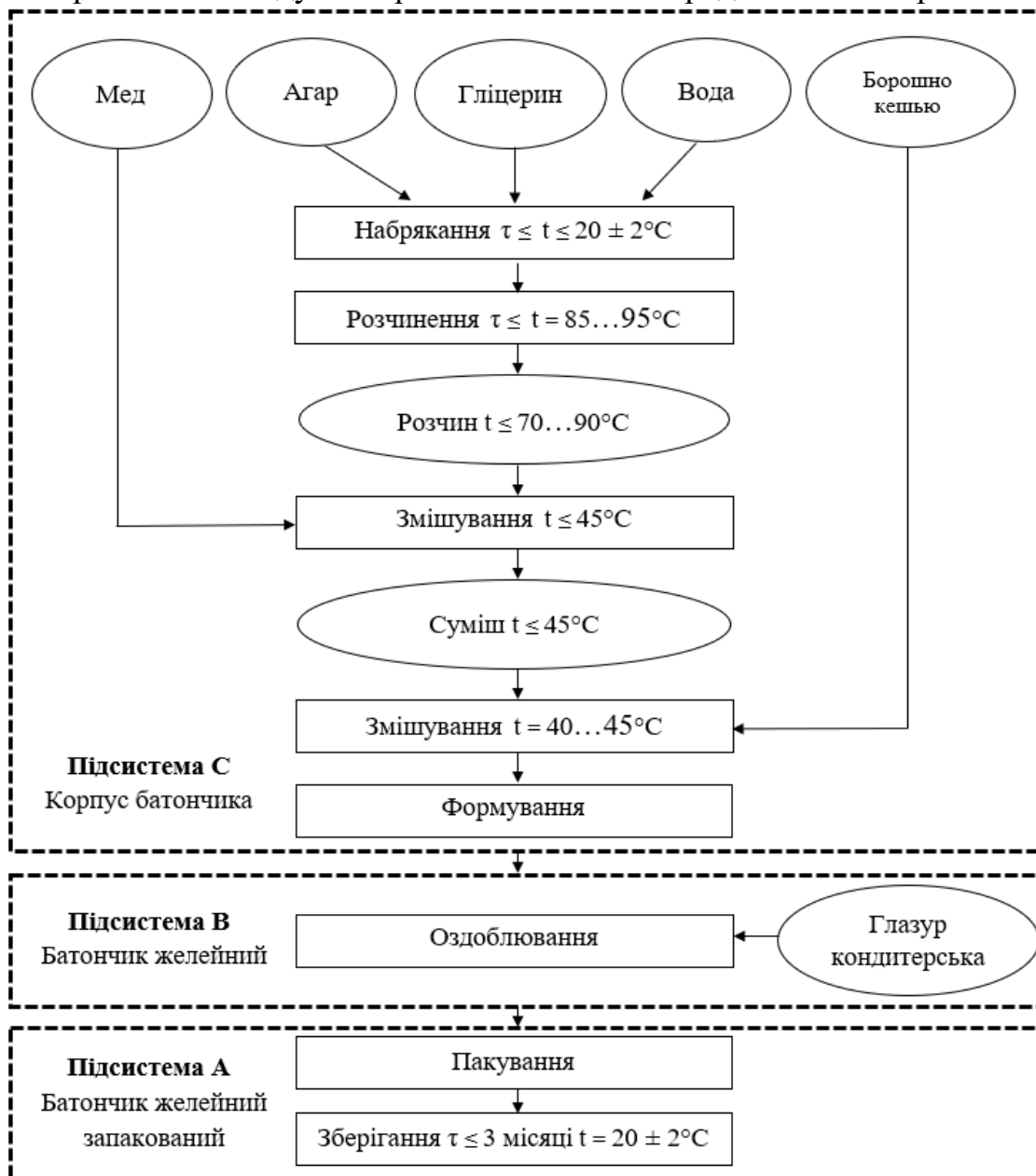


Рис. 1. Модель «структура системи» батончика желейного з використанням меду та борошна кешью.

Як видно з рис. 1 технологія отримання нового батончика складається з наступних технологічних стадій: агар замочують водою, додають гліцерин та залишають для набрякання протягом 60...120 хв при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Після чого дану систему розчиняють при температурі $85 \dots 95^\circ\text{C}$ до повного розчинення сухого компоненту. Далі її охолоджують до $40 \dots 45^\circ\text{C}$ з додаванням та перемішуванням меду, а



також борошна кешью. Приготовлену начинку формують у вигляді батончика з подальшим глазуруванням. В кінці проводиться охолодження, пакування та зберігання готового продукту.

Запропонований спосіб виробництва батончика желейного з використанням меду та борошна кешью передбачає таке співвідношення складників (%):

- агар 0,6...1,6;
- гліцерин 16,0...28,0;
- вода 18,0...25,0;
- мед 18,0...26,0;
- борошно кешью 20,0...28,0;
- кондитерська глазур 7,8...11,0;

Готовий продукт має рівномірну текстуру з легкою пружністю та міцною структурою, а його гладка коричнева поверхня нагадує кондитерську глазурь.

Збільшення кількості борошна кешью веде до гіркоти продукту, тоді як його зменшення погіршує консистенцію. Додавання більше меду призводить до перевищеної солодкості, а зменшення, навпаки, значно зменшує смакові властивості продукту.

При внесенні агару вмістом 0,6...1,6 %, продукт набуває необхідних текстурних характеристик, тоді, як при зменшенні або збільшенні кількості агару, погіршуються структурно-механічні властивості батончика. Встановлено, що зменшення кількості шоколадної глазури є недостатнім для необхідного покриття всього корпусу батончика. При вмісті глазури 8-13 % батончик має достатнє покриття та прийнятні виражені органолептичні властивості.

Готовий желейний батончик з медом та борошном кешью характеризується такими харчовими та біологічно цінними показниками: містить 6,59 г білків, 34,25 г жирів та 16,56 г вуглеводів. Крім того, розроблений продукт багатий на вітаміни, макро- та мікроелементи.

Висновки. Використання меду та борошна кешью у технології батончиків желейних дозволить створити продукт з високою харчовою та біологічною цінністю, розширити асортимент харчової продукції, що в свою чергу призведе до підвищення конкурентоспроможності на споживчому ринку.

Також споживання батончиків на основі натуральних компонентів віддзеркалюватиметься позитивною динамікою на здоров'ї споживачів та сприятиме покращенню іміджу виробника на ринку харчової та кондитерської продукції.

Враховуючи вище наведене, розроблений продукт можна рекомендувати для харчування різних верств населення.



Список використаних джерел

1. Кордзая Н. Р., Ковалів І. О. Вивчення компонентного складу батончиків зернових, що реалізуються у торговельних мережах м. Одеса та Одеської області. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 22. С. 74–80. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2019-22-13>
2. Vitorino K. C., Chambo A. P. S., Coradini M. F., Matiucci M. A., Michka J. M. G., Goes E. S. R., Gonçalves A. A., Souza M. L. R. Cereal Bars Flavored with Fish Protein Concentrate from Different Species. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2020. Vol. 29(1). P. 65–72. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1694615>
3. Стеценко Н. О., Сімахіна Г. О., Гойко І. Ю. Овочево-горіховий батончик для раціонів військовослужбовців. *Strategy of Quality in Industry and Education: proceedings of the XIV International Conference*. 2018. Vol. 2. С. 175–180.
4. Sharma M., Mridula D. Development and Quality Evaluation of Maize-Based Fortified Nutritious Bar. *Agric Res*. 2015. Vol. 4. P. 93–101. <https://doi.org/10.1007/s40003-014-0140-8>
5. Краєвська С. П., Стеценко Н. О. Основні підходи до створення батончиків спеціалізованого призначення. *Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Київ. 2017. С. 64.
6. Товма Л. Ф., Морозов І. Є., Євлаш В. В., Штриголь С. Ю. Обґрунтування інгредієнтного складу та розробка технології продукту спеціального споживання батончиків «Vitabar». *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 19(3). С. 212–232. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-212-232>
7. Prazeres I.C., Carvalho, A.V., Domingues A.F.N., Abreu L.F. Preparing multicomponent snack bars based on tapioca flour, Brazil nut, and regional fruits. *Rev. chil. nutr.* 2020. Vol. 47(2). P. 190–199. <http://doi.org/10.4067/S0717-75182020000200190>
8. Srebernich S. M., Gonçalves G. M. S., Ormenese R. D. C. S. C., Ruffi C. R. G. Physico-chemical, sensory and nutritional characteristics of cereal bars with addition of acacia gum, inulin and sorbitol. *Food Sci Technol*. 2016. Vol. 36(3). P. 555–562. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.05416>
9. Saadat S., Akhtar S., Ismail T., Sharif M.K., Shabbir U., Ahmad N., Ali A. Multilegume bar prepared from extruded legumes flour to address protein energy malnutrition. *Italian journal of food science*. 2020. Vol. 32(1). P. 167–180. <https://doi.org/10.14674/IJFS-1559>
10. Kaur R., Ahluwalia P., Sachdev P.A., Kaur A. Development of gluten-free cereal bar for gluten intolerant population by using quinoa as major ingredient. *J Food Sci Technol*. 2018. Vol. 55(9). P. 3584–3591.



<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3284-x>

11. Munshi R., Kochhar A., Kaur A. Nutrient selection and optimization to formulate a nutrient bar stable on storage and specific to women at risk of osteoporosis. *J Food Sci Technol*. 2020. Vol. 57(8). P. 3099–3107. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04343-3>

12. Bchir B., Jean-François T., Rabetafika H.N., Blecker C. Effect of pear apple and date fibres incorporation on the physico-chemical, sensory, nutritional characteristics and the acceptability of cereal bars. *Food Sci Technol Int*. 2018. Vol. 24(3). P. 198–208. <https://doi.org/10.1177/1082013217742752>

Стаття надійшла до редакції 28.03.2023 р.

Melnyk O., Mazurenko I., Koshel O., Sabadash S.
Sumy National Agrarian University

FEATURES OF THE NEW JELLY BAR TECHNOLOGY

Summary

Ensuring a balanced diet involves incorporating plant-based foods into our daily meals, as they are abundant in vitamins, minerals, and dietary fibers. Nowadays, the food industry is focusing on developing fast and healthy food options, and one promising area is the production of bars that serve as convenient snacks.

This article discusses the enhancement of jelly bar technology by utilizing nutrient-rich raw materials, namely honey and cashew flour, to enhance the nutritional and biological value of the final product while diversifying the range of confectionery items. Honey, a thick and sweet substance produced by bees from flower nectar, is particularly noteworthy. It is packed with vitamins, micro- and macroelements, and it contributes to regulating metabolic processes, boosting the immune system, balancing gastric acidity, and improving digestion.

The introduction of cashew flour into jelly bars can increase the nutritional and biological value of the finished product. Cashews are high in healthy fats, protein and minerals such as magnesium, phosphorus and zinc, which can boost energy levels, help support bone and muscle health, and support the immune system. In addition, cashews are rich in antioxidants, such as vitamin E, which help fight stress and protect cells from damage. A product of vegetable origin, agar, which will act as a gelling agent, is proposed to fix the structure of the jelly bar body.

The "system structure" model and the technology of obtaining a new product are proposed. In the proposed technology of jelly bars, to increase the nutritional and biological value of the product, a compatible combination of honey and cashew flour is offered.

A rational ratio of components in the recipe of the bar has been established. In addition, the nutritional and biological value of the finished product - a jelly bar - was calculated. The finished product - a jelly bar with the use of honey and cashew flour will be characterized by high indicators of nutritional and biological value, and will also contain a large amount of vitamins, macro- and microelements.

Key words: bar, honey, cashew flour, confectionery, jelly products, nutritional and biological value.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-24

UDC 635.31:664.8.037

O. P. Priss¹, d.t.s, professor

ORCID: 0000-0002-6395-4202

V. Yu. Sukhenko², d.t.s, professor

ORCID: 0000-0002-8325-3331

P. O. Bulhakov¹, postgraduate.

ORCID: 0009-0002-9011-8151

¹*Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university*²*Cherkasy State Technological University*

e-mail: olesia.priss @tsatu.edu.ua, tel.: 067-527-31-10

ASPARAGUS DRY SOLUBLE AND INSOLUBLE MATTER DURING STORAGE

Summary. Asparagus contains valuable biologically active substances that have antioxidant, fungitoxic and anticancer properties. The biochemical composition of asparagus depends on many agrotechnological and natural climatic factors. The purpose of this research is to establish the influence of cultivar properties of asparagus grown in Ukraine on the dynamics of the loss of dry matter during storage.

Fresh asparagus of the green Prius F1 and the purple Rosalie F1 cultivars were stored in an industrial refrigerator at a temperature of $2^{\circ}\text{C}\pm 0.5$ and relative humidity of $95\%\pm 1$.

The cultivars of different colours demonstrate differences in the quantitative indicators of respiratory intensity and the nature of the respiratory pattern. The dry matter content decreased linearly during storage. The dynamics of soluble solids content during storage was not linear. The cultivar specificity formed at the time of harvesting is preserved during the storage of asparagus, which confirms different suitability of cultivars for storage.

Key words: storage, green asparagus, purple asparagus, respiratory rate, dry matter, total soluble solids.

Introduction. Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) is listed as “Kholodok likarskyi (asparagus)” in the State register of varieties and plants suitable for distribution in Ukraine. Despite the fact that it is one of the most delicious and expensive vegetable crops, asparagus is mainly known to Ukrainian consumers as an ornamental crop used for floristry. However, with the growing trend of healthy eating and the globalization of gastronomic preferences, asparagus is becoming part of Ukrainians’ diet. Asparagus contains the whole complex of valuable biologically active substances: dietary fibers, polyphenols, saponins and anthocyanins [7]. It has been



proven that the dietary fibers of asparagus have antioxidant and antitumor effects [5, 28], effectively reduce the risk of diabetes [26]. Asparagus polyphenols demonstrate a fungitoxic effect [15]. Asparagus saponins inhibit the growth of cancer cells [24]. The active growth of demand for this gourmet vegetable in the HoReCa segment as well as the attractive profitability of asparagus stimulates farmers' interest in its cultivation. At present, asparagus is grown on 250 ... 300 hectares in Ukraine with an upward trend being observed before the war. Natural and climatic conditions and the soils of Ukraine are quite favourable for growing asparagus. Asparagus growing season in Ukraine is rather short – from the last decade of April until the beginning of June. This vegetable has about 200 cultivars, whereas only a few of them are used for food. As of April 2023, only 8 cultivars have been included in the register of cultivars of Ukraine: Backlim, Bacchus, Gijnlim, Grolim, Erasmus, Cumulus, Prius and Cygnus. All of them have been introduced by the Dutch companies: 5 cultivars belong to Bejo Zaden B.V., 2 to Limgroup B.V. and 1 to Asparagus Beheer B.V. Asparagus cultivars show high variability in agronomic and morpho-biochemical traits [18]. For this reason, the description of asparagus varieties grown using the same agricultural techniques and under the same conditions can provide useful information to market operators of fresh and processed asparagus.

Recent research and publications analysis. There are white, green, pink-green or purple cultivars of asparagus [7]. From a botanical point of view, white and green asparagus are the same plant. The stalks are white while growing underground, but when exposed to sunlight white asparagus turns green [27]. Cultivars of asparagus differ in the content of dry matter and the ratio of their component composition. Green asparagus contains a slightly lower amount of proteins but a higher amount of micronutrients, twice as much vitamin B, vitamin C and almost 200 times more vitamin A [1]. Purple cultivars of asparagus contain significantly higher amounts of anthocyanins than green ones [21]. The pool of dry matter in plants strongly depends on a number of factors: natural and climatic conditions of growing [20], cultivar properties [8] and agricultural techniques [4, 30, 31]. Dry matter accumulated during the growing season is the only source of metabolites at the post-harvest stage of life of the cropped asparagus shoots. As a result, the complex of dry matter undergoes changes during storage [13]. Therefore, the rate of dilatation of the pool of dry matter qualifies the speed of metabolic processes during storage.

Young shoots of asparagus 15-22 cm long, no thicker than 2 cm, are used for food. Since these are young parts of the plant, they have a very high level of respiratory metabolism. The intensity of respiration increases immediately after harvesting as a result of the wound stress from harvesting [12]. Harvested asparagus spoils quickly: the shelf life is 3–5 days at room



temperature and 14–15 days in the refrigerator [18, 19]. Respiratory metabolism of asparagus can be limited mainly by lowering the storage temperature. The recommended conditions for commercial storage of asparagus are 0 to 2 °C with a relative humidity of 95 to 99%, which provides a shelf life of 14 to 21 days [11]. To extend the shelf life of asparagus, cold storage is supplemented with protective coating and the use of modified atmosphere [19, 23, 29]. Dry matter serves as a substrate for the respiration process [17]. The use of different substrates during respiration leads to the loss of reserve matter in tissues and the loss of palatability and nutritional value for a consumer [16]. Changes in the content of dry matter in asparagus are quite intense even when stored at 0°C and are fully correlated with the intensity of respiration [22].

Purpose statement. As can be seen from the above, the purpose of this article is to establish the influence of the cultivar properties of the asparagus grown in the conditions of Ukraine on the dynamics of the loss of dry matter during storage.

Materials and methods of research. Fresh asparagus stalks (*Asparagus officinalis* L.) were harvested from the «Shafran Liubymivskyi» farm in Kherson Region, Ukraine. The green cultivar Prius F1 and the purple cultivar Rosalie F1 were used. After harvesting, the samples were rapidly cooled and transported to the laboratory at Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University within 4 hours. The asparagus stalks selected for the study were straight, undamaged, 1.6–2.0 cm in diameter and ~25 cm in length with closed bracts and no visible signs of injury.

Asparagus was stored in an industrial refrigerator at a temperature of 2°C±0.5 and relative air humidity 95%±1.

The intensity of respiration was determined by the amount of released carbon dioxide. The determination was carried out in the refrigeration conditions since the next day after starting of storage, as soon as asparagus stalks cooled down to the storage temperature (2°C). The content of dry matter was determined with the thermogravimetric method according to DSTU ISO 751, the content of dry soluble matter was determined with the refractometric method according to DSTU ISO 2173.

All tests were carried out in triplicate, and the data were exhibited as mean ± standard deviation.

Results and discussion. According to our research, the intensity of carbon dioxide release by asparagus during the storage period depends on the cultivar specificity (Fig. 1).

Green asparagus of Prius F1 cultivar showed a higher respiration rate during the entire storage period. However, the nature of respiratory metabolism was similar for both cultivars. Both cultivars reacted by decreasing the intensity of respiration immediately after cooling, which is natural [14]. The level of respiratory activity in general was close to what

was described by other authors.

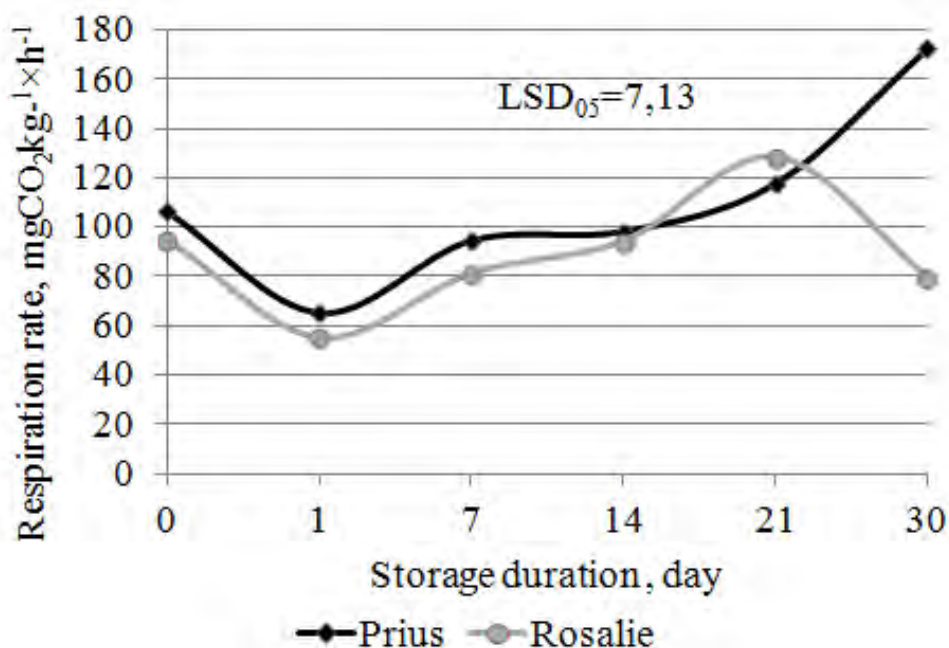


Figure 1. Respiration rate (fresh weight basis).

Anastasiadi et al. showed that the RR values steadily decreased during cold storage at 1°C with the highest value on the second day of storage of Gijnlim cultivar (122.6 mg CO₂kg⁻¹ h⁻¹) as compared with Guelph M. (57.1 mg CO₂kg⁻¹ h⁻¹) [2]. In contrast, Li et al. showed an increase in respiratory activity during the refrigerated storage of asparagus [9]. The research of Park demonstrated the similar respiratory pattern [13]. Asparagus stored at 2 °C, had decreased the level of respiration up to the 12th day of storage, and then respiration increased. At the same time, Guelph M cultivar showed some increase in respiration on the 16th day of storage with subsequent decrease [2]. Therefore, a decrease in respiration intensity after a short period of growth for Rosalie cultivar seems quite possible.

Asparagus is characterized by intensive moisture transpiration [6]. Therefore, at the initial stage of storage, there was a relative concentration of dry matter in both cultivars, and the loss of dry matter appears to be statistically insignificant. However, if recalculation with regard to the initial mass is done and the loss of dry matter due to respiration within 5% of the total mass loss is taken into account [3], the decrease of the dry matter (Fig. 2) seems to be natural, because in order to maintain the life of the plant in the postharvest period the constant catabolism of reserve matter takes place.

The rate of decrease in dry matter content reflects the intensity of biochemical reactions in asparagus during storage. A close inverse correlation ($r=-0.97$) is observed between respiratory metabolism and dry matter content for Prius cultivar.

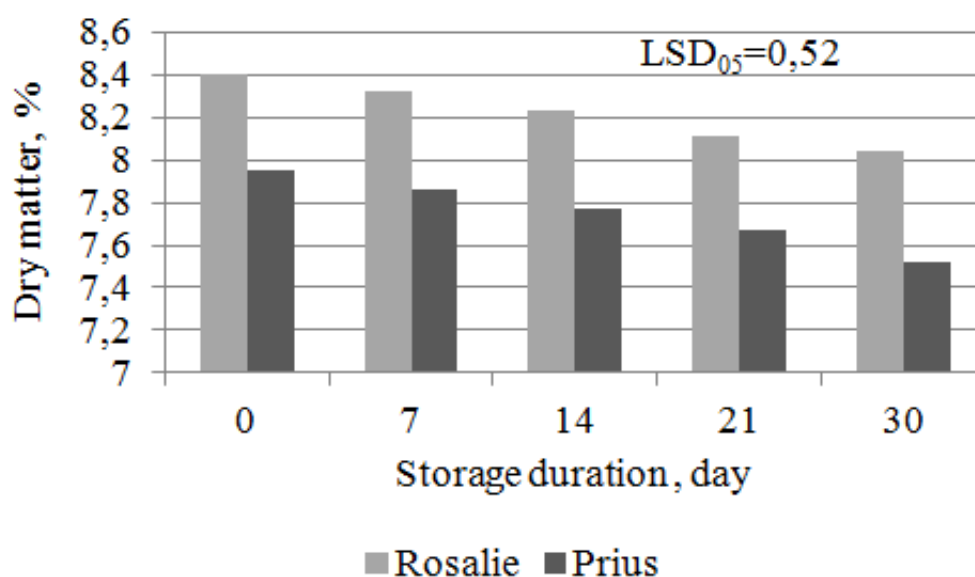


Figure 2. Dry matter content.

The change in the nature of respiratory activity at the final stage of storage reduced the correlation of these indicators for Rosalie cultivar to $r=-0.59$.

The percentage of dry soluble matter differs significantly from the content of dry matter in asparagus cultivars. If for Rosalie cultivar it is almost 87%, for Prius cultivar it is only 62%. Such a difference can be explained by the cultivar specificity of the biochemical composition. In general, for different cultivars of green asparagus, the content of dry soluble matter is reported to be about 5% with their content decreasing linearly during storage [25]. For our research, Rosalie cultivar contained 7.3 ± 0.09 whereas Prius cultivar contained 4.9 ± 0.08 ° Brix (Fig 3). During storage the content of dry soluble matter decreases, but the character is not linear. Similar results were obtained by Park [13]. A number of authors have described nonlinear changes in the content of simple saccharides during asparagus storage [10, 13, 22]. As simple saccharides are water-soluble, perhaps the resulting decrease in the total soluble solids content is related to restructuring of the saccharide complex.

Conclusions. Differences in the quantitative indicators of respiratory intensity and the nature of the respiratory pattern were observed in the investigated cultivars of different colours. Rosalie and Prius cultivars showed significantly different dry matter pool which decreased linearly during storage. The dry soluble matter of Rosalie cultivar is 87% of the dry matter pool, while Prius cultivar is only 62%. The dynamics of soluble solids content during storage was not linear. Thus essential cultivar specificity formed at the time of harvesting was preserved during storage of asparagus.

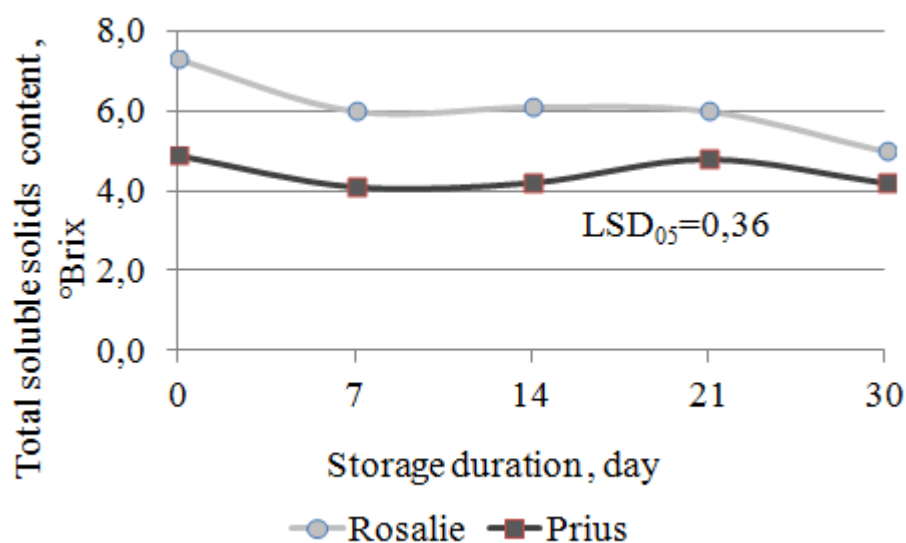


Figure 3. Total soluble solids content.

Список використаних джерел

1. Alventosa J. M. F., Rojas J. M. M. Bioactive compounds in asparagus and impact of storage and processing. *Processing and impact on active components in food* / Ed. V. Preedy. Academic Press, 2015. P. 103–110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00013-5>
2. Anastasiadi M., Collings E. R., Shivembe A., Qian B., Terry L. A. Seasonal and temporal changes during storage affect quality attributes of green asparagus. *Postharvest Biology and Technology*. 2020. Vol. 159, No 111017. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111017>
3. Ben-Yehoshua S., Rodov V. Transpiration and water stress. *Postharvest physiology and pathology of vegetables* / Ed. J. A. Bartz, J. K. Brecht. Boca Raton: CRC Press, 2022. P. 111–159.
4. Burdina I., Priss O. Effect of the substrate composition on yield and quality of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Horticultural Research*. 2016. Vol. 24, No 2, P.109–118.
5. Cheng W., Cheng Z., Xing D., Zhang M. Asparagus polysaccharide suppresses the migration, invasion, and angiogenesis of hepatocellular carcinoma cells partly by targeting the HIF-1 α /VEGF signalling pathway In Vitro. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2019. No 3769879 <https://doi.org/10.1155/2019/3769879>
6. Díaz-Pérez J. C. Transpiration. *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* / Ed. E. M. Yahia. Woodhead Publishing, 2019. P. 73-91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00008-7>
7. Guo Q., Wang N., Liu H., Li Z., Lu L., Wang C. The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L.—A review.



Journal of Functional Foods. 2020. Vol. 65, No 103727. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>

8. Kobus-Cisowska J., Szymanowska D., Szczepaniak O. M., Gramza-Michałowska A., Kmiecik D., Kulczyński B., Górnaś P. Composition of polyphenols of asparagus spears (*Asparagus officinalis*) and their antioxidant potential. *Ciência Rural*. 2019. Vol. 49, No 4, e20180863. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180863>

9. Li W., Zhang M., Yu H. Q. Study on hypobaric storage of green asparagus. *Journal of Food Engineering*. 2006. Vol. 73, No 3, P. 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.024>

10. Lill R., King G. A., o'Donoghue E. M. Physiological changes in asparagus spears immediately after harvest. *Scientia horticulturae*. 1990. Vol. 44, No 3-4, P. 191–199. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(90\)90119-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90119-Y)

11. Luo Y., Suslow T., Cantwell M. Asparagus. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks* / Ed. K. C. Gross, C.Y. Wang, M. Saltveit. USDA: ERS, Agriculture Handbook Number 66, 2016. P. 210–213.

12. Papadopoulou P., Siomos A., Dogras C. Metabolism of etiolated and green asparagus before and after harvest. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2001. Vol. 76, No 4, P.497–500. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511399>

13. Park M. H. Sucrose delays senescence and preserves functional compounds in *Asparagus officinalis* L. *Biochemical and biophysical research communications*. 2016. Vol. 480, No 2, P. 241–247. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.10.036>

14. Priss O., Evlash V., Zhukova V., Kiurchev S., Verkholtantseva V., Kalugina I., Kolesnichenko S., Salavelis A., Zolovska O., Bandurenko H. Effect of abiotic factors on the respiration intensity of fruit vegetables during storage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6, No 11, P. 27-34. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.117617

15. Rosado-Álvarez C., Molinero-Ruiz L., Rodríguez-Arcos R., Basallote-Ureba M. J. Antifungal activity of asparagus extracts against phytopathogenic *Fusariumoxysporum*. *Scientia Horticulturae*. 2014. Vol. 171, P. 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.03.037>.

16. Saltveit M. E. Respiratory metabolism. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks* / Ed. K. C. Gross, C.Y. Wang, M. Saltveit. USDA: ERS, Agriculture Handbook Number 66, 2016., P.68–75

17. Saltveit M. E. Respiratory metabolism. *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*/ Ed. E. M. Yahia. Woodhead Publishing, 2019. P. 73–91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00004-X>



18. Sergio L., Gonnella M., Renna M., Linsalata V., Gatto M. A., Boari F., Di Venere D. Biochemical traits of asparagus cultivars and quality changes in two differently coloured genotypes during cold storage. *LWT*. 2019. Vol. 101, P. 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.054>
19. Simón A., Gonzalez-Fandos E. Influence of modified atmosphere packaging and storage temperature on the sensory and microbiological quality of fresh peeled white asparagus. *Food Control*. 2011. Vol. 22, No 3-4, P. 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.002>
20. Siomos A. S. The quality of asparagus as affected by preharvest factors. *Scientia horticultrae*. 2018. Vol. 233, P. 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.031>
21. Slatnar A., Petkovsek M. M., Stampar F., Veberic R., Horvat J., Jakse M., Sircelj H. Game of tones: Sugars, organic acids, and phenolics in green and purple asparagus (*Asparagus officinalis* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2018. Vol. 42, No 1, P. 55–66. DOI 10.3906/tar-1707-44
22. Verlinden S., Silva S. M., Herner R. C., Beaudry R. M. Time-dependent changes in the longitudinal sugar and respiratory profiles of asparagus spears during storage at 0 C. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2014. Vol. 139, No 4, P. 339–348. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.4.339>
23. Villanueva M. J., Tenorio M. D., Sagardoy M., Redondo A., Saco M. D. Physical, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) stored in modified atmosphere packaging. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 91, No 4, 609-619. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.030>
24. Wang J., Liu Y., Zhao J., Zhang W., Pang X. Saponins extracted from by-product of *Asparagus officinalis* L. suppress tumour cell migration and invasion through targeting Rho GTPase signalling pathway. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012. Vol. 93, No 6, P. 1492-1498. DOI 10.1002/jsfa.5922
25. Wang M., Li J., Fan L. Quality changes in fresh-cut asparagus with ultrasonic-assisted washing combined with cinnamon essential oil fumigation. *Postharvest Biology and Technology*. 2022. Vol. 187, No 111873. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111873>
26. Wang S., Zhu F. Antidiabetic dietary materials and animal models. *Food Research International*. 2016. Vol. 85, P. 315–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.028>.
27. Zafiriou P., Mamolos A. P., Menexes G. C., Siomos A. S., Tsatsarelis C. A., Kalburtji K. L. Analysis of energy flow and greenhouse gas emissions in organic, integrated and conventional cultivation of white asparagus by PCA and HCA: Cases in Greece. *Journal of Cleaner Production*. 2012. Vol. 29–30, P. 20–27.



<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.040>

28. Zhao Q., Xie B., Yan J., Zhao F., Xiao J., Yao L., Zhao B., Huang Y. In vitro antioxidant and antitumor activities of polysaccharides extracted from *Asparagus officinalis*. *Carbohydrate Polymers*. 2012. Vol. 87, P. 392–396. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.068>

29. Булгаков П. О., Прісс О. П. Зберігання спаржі з використанням захисних покриттів і пакування. The 13th International scientific and practical conference “*Information activity as a component of science development*” (April 04–07, 2023) Edmonton, Canada. International Science Group. 2023. P. 21–27.

30. Прісс О. П., Бурдіна І. О. Вплив строків висіву насіння на вміст сухих речовин у зелені базилика в умовах плівкових теплиць. *Агробіологія*. 2017. Вип. 2, С.102–108.

31. Прісс О. П., Коротка І. О., Клепакова Ю. О., Білоусова З. В. Фонд сухих речовин зелені васильків залежно від компонентного складу субстрату. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2020. Вип. 20(1), С. 115–123. DOI: 10.31388/2078-0877-20-1-115-123

Стаття надійшла до редакції 01.04.2023 р.

О. Прісс¹, В. Сухенко², П. Булгаков¹

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

²Черкаський державний технологічний університет

СУХІ РОЗЧИННІ І НЕРОЗЧИННІ РЕЧОВИНИ СПАРЖІ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

Анотація

Спаржа містить такі цінні біологічно активні речовини як харчові волокна, поліфеноли, сапоніни і антоціани. Ці фітонутрієнти володіють антиоксидантними, фунгітоксичними і протираковими властивостями, знижують ризики захворювання діабетом. Активне зростання попиту на цей делікатесний овоч в сегменті HoReCa та приваблива прибутковість спаржі стимулюють зацікавленість фермерів у її вирощуванні. Сорти спаржі сильно відрізняються за агрономічними та морфо-біохімічними ознаками. Вміст сухих речовин в рослинах сильно залежить від багатьох факторів: природно-кліматичних умов вирощування, сортових особливостей, агротехніки. Під час зберігання, сухі речовини залучаються в метаболічні процеси і їх пул виснажується. З цієї причини характеристика сортів спаржі, вирощених за однаковою агротехнікою та в однакових умовах, може надати корисну інформацію операторам ринку свіжої та переробленої спаржі.

Метою цієї статі було встановити вплив сортових особливостей спаржі вирощеної в умовах України на динаміку витрачання сухих речовин під час зберігання.

Свіжу спаржу зеленого сорту Prius F1 і фіолетового Розалі F1. зберігали в



умовах промислового холодильника при температурі $2^{\circ}\text{C}\pm 0,5$ та відносній вологості повітря $95\%\pm 1$.

Встановлено, що досліджувані сорти різного забарвлення демонструють відмінності в кількісних показниках інтенсивності дихання та характері дихального процесу. Сорти Rosalie і P rius характеризуються суттєво різним пулом сухих речовин, котрий лінійно знижується під час зберігання. Сухі розчинні речовини сорту Rosalie становлять 87% пулу сухих речовин, а сорту P rius лише 62 %. Динаміка сухих розчинних речовин під час зберігання не була лінійною. Таким чином, суттєві сортова специфіка сформована на момент збору врожаю, зберігається при зберіганні спаржі, що підтверджує їх різну придатність до зберігання.

Ключові слова: зберігання, спаржа зелена, спаржа фіолетова, інтенсивність дихання, суха речовина, сухі розчинні речовини.



УДК 633.861:664

Т. А. Ярмош,

ORCID: 0000-0001-7884-6792

Ф. В. Перцевой, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Сумський національний аграрний університет

e-mail: yarmoshtata@gmail.com

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Анотація. В статті розглянуто терапевтичні властивості та хімічний склад волоського горіха. У роботі представлено аналіз літератури результатів досліджень впливу юглону на організм та на харчові продукти, що підтверджено в лабораторії на дослідних мишах. Проаналізовано доцільність застосування барвних речовин грецького горіха в харчовій промисловості, як альтернатива заміни синтетичних барвників.

Ключові слова: екстракт, барвник, антиоксиданти, біологічно активні речовини, волоський горіх, глікозиди, фітонциди, екстрагування, консервант.

Постановка проблеми. Останніми роками у харчовій промисловості набуває попит на лікарські рослини. Мінімізація побічних ефектів та забезпечення широкого спектру фармакологічної дії становить великий інтерес для сировини рослинного походження. Рослини можуть виробляти різні бактеріологічні, антисептичні та фунгіцидні сполуки проти різного роду патогенних бактерій, а також є джерелом біологічно активних речовин, вітамінів, мікро- та макроелементів.

Всі частини грецького горіха мають цілющі властивості і багатий хімічний склад. Літературний аналіз показує, що шкірка грецького горіха через вміст у ньому барвних речовин використовують, переважно, як барвник тканин. Відомо також, що завдяки ряду корисних властивостей шкірка використовується в народній медицині з лікувальною метою. Наприклад, він володіє антиоксидантними та антибактеріальними властивостями. Однак, він у харчовій промисловості досі, практично, не використовується. Відомо, що глікозид, який знаходиться в плодах горіхів, розкладається до вільного юглону, який надає темно-коричневого кольору. Це дає можливість дослідити рослину, як сировину для виробництва натуральних



барвників.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженням використання екстрактів грецького горіха займалися такі дослідники: Шульга Н. М., Волянська Н. О., Влізло, В. В., Дармограй, Л. М., Гончар, М. В., Chen С. К., Pace-Asciak С. R., Montenegro R. С., Araújo A. J., Molina M. T., Оганесянц Л. А., Піщанська В. А., Дубініна Є. В., Тюрікова І. С., Пересічний М. І., Мацук Ю. А., Кайнаш А. П., Будник Н. В. та ін.

Мета дослідження. Провести аналіз літературних джерел щодо використання волоського горіха у харчовій промисловості.

Основна частина. Відомо, що дикорослі рослини є багатим джерелом тих чи інших біологічно активних сполук, вітамінів та мінералів. Природне середовище росту рослин дозволяє їм максимально накопичувати корисні компоненти. Не є винятком і грецький горіх, окультурений людиною багато років тому, певні сорти якого виростають на території України.

Грецькі горіхи – це унікальна рослинна сировина, всі частини якої можуть бути використані людиною. Наприклад, застосовуються плоди як зрілі, і незрілі, перикарпій, ендокарпій, ядро, внутрішня перегородка, листя, коріння та кора дерева [9].

Склад сирих грецьких горіхів молочно-воскової стиглості представлений ефірними оліями, органічними кислотами, алкалоїдами, глікозидами, сапонінами, кумаринами, каротиноїдами, водорозчинними вітамінами, фітонциндами, фенольними сполуками, дубильними речовинами та мікроелементами. Ці природні комплекси стимулюють терапевтичне використання горіхів. Хімічний склад усіх елементів горіха залежить від виду, місця та умов вирощування у навколишньому середовищі [18].

Незрілі плоди горіха містять аскорбінову кислоту, вміст якої досягає 5%, а це більше, ніж у плодах шипшини, а вміст каротину складає (33 мг/100 г). У зрілих плодах аскорбінова кислота майже відсутня. У зеленій шкірці горіхів (перикарпій) міститься жовтий барвник юглон (5-окси-1,4-нафтохінон), який відносять до антибіотиків. У перикарпій незрілого грецького горіха вміст дубильних речовин складає 15-25%. Таким чином, екстракт з перикарпій волоського горіха застосовується, як природна антиоксидантна заміна синтетичних антиоксидантів [17, 19].

Насіння горіха містить до 77% жирів, до 21% білків, до 7% вуглеводів, рибофлавін, тіамін, що і визначає їх чудовий смак та високу поживну цінність. Олія плодів волоського горіха на 87-90% складається з ненасичених жирних кислот. Насичені жирні кислоти присутні в ньому в кількостях, що не перевищують 10%. Багато в олії горіха лінолевої (56-64%), олеїнової (14-28%) та ліноленової (7-13%) кислот.



Природного антиоксиданту α -токоферола в ньому 60-73 мг/100 г. За енергетичною цінністю ядра горіхів більш ніж у рази перевищують пшеничний хліб. Енергетична цінність 1 кг горіхів – 35 600 кДж. Горіхи можуть бути рекомендованим додатковим джерелом незамінних амінокислот у харчуванні. У білках волоського горіха, в порівнянні з іншими горіхами (кедровими, лісовими, фісташками, мигдалем, арахісом), міститься аргінін [2].

Молочні горіхи містять: рослинну клітковину - 2,4%, стероїди - 0,4%, вітаміни (мг/100г): вітамін А - 0,50, каротиноїди - 0,05, вітамін Е - 5,0, вітамін С - 900,9, вітаміни групи В (В1 - 0,21, В2 - 0,70, В6 - 0,13), вітамін РР - 0,79. Мінеральні речовини (мг/100г): калій - 500, кальцій - 95, магній - 110, фосфор - 220, залізо - 0,3, цинк - 1,3, йод - 0.05 [12]. Ендокарпій стиглого волоського горіха містить фенольні сполуки (2175 мг/100г) та аскорбінову кислоту (243 мг/100 г).

Внаслідок пошкодження недозрілої кірки (перикарпію) горіха, глікозид розкладається до вільного юглону, який надає темно-коричневого кольору і пригнічує ріст більшості рослин (алелопатія) [8]. Він міститься у вигляді глікозиду в листі волоського горіха (близько 1%), в корі та перикарпію (близько 2%), а також у квітах і квіткових бруньках (до 8%). За хімічною структурою юглон – це 5-окси-1,4-нафтохінон. За даними, юглон *in vitro* нейтралізує правцевий та дифтеріїний токсини.

У давнину волоські горіхи вважалися засобом, що запобігає отруєнню різними отрутами, а відвар листя використовували як джерело аскорбінової кислоти. Його рекомендували при рахіті і як ранозагоювальний засіб. Хворим із підвищеною кислотністю шлункового соку рекомендувалося щодня з'їдати по 25—100 г горіхових зерен, а хворим на туберкульоз легенів рекомендувалося вживати грецькі горіхи з медом. Із перикарпію горіха одержують юглон - сильнодіючу антимікробну речовину, що затримує ріст бактерій і грибів. Він ефективний при лікуванні екземи та деяких інших шкірних захворювань, що виявляє високу протигрибкову, протимікробну та антиоксидантну дію. Юглон застосовують, як харчовий консервант, який проявляє стабілізуючу дію з концентрацією 0,5 мг/л. Він мало розчинний у воді і добре розчинний в етиловому спирті. Застосовують консервант в напоях [10].

Вченими було досліджено високу фунгіцидну активність настоянки плодів і листя волоського та чорного горіха до грибів роду *A. fumigatus*, *A. Flavus*, *A. Niger* та *A. Fumigatus*. А раніше зарубіжними вченими було підтверджено токсичність та біологічна дія екстракту волоського горіха (юглону) на клітини ссавців, як *in vitro*, так і для дрібних тварин. Він проявляє цитотоксичну активність, що спричиняє руйнування клітинних мембран в експериментах *in vitro* і визначає протиракову активність. Експеримент в лабораторії довів, що



пероральне введення чистого екстракту грецького горіха (юглона) призвів до загибелі лабораторних тварин. Тобто, для щурів LD_{50} становив 112 мг/кг, для мишей 25мг/кг. Органом - мішенню для токсичної дії юглону є нирки. В наступному дослідженні протягом 7 днів щурам вводили юглон в дозі 1мг/кг, після чого в нирках щурів спостерігалися негативні гістологічні зміни. Таким чином, юглон може бути токсичним для людини, якщо буде використовуватися у великих концентраціях в якості лікарських засобів чи як харчова добавка (барвник, консервант) [11].

Однак, якщо орієнтуватися на вміст в екстракті грецького горіха, то він становить 0,1% і є безпечним для організму. Іншими біологічно активними інгредієнтами екстракту є флавоноїди, фенольні кислоти та ефірні олії, які мають нижчу концентрацію і менші показники токсичності. Екстракти з грецького горіха активно використовують в медицині, ветеринарії та харчовій промисловості в невеликій концентрації [3, 4, 5].

В наукових працях зазначено, що вміст юглону в зеленій оболонці плодів волоського горіха коливається в межах 20,56 - 42,78 мг/100 г сирої рослинної сировини. Юглон має різноманітний вплив на рослини, включаючи пригнічення проростання насіння та росту рослин, зменшення вмісту хлорофілу та пригнічення фотосинтезу [20].

Науковцями [12] було досліджено та розроблено харчову добавку до безалкогольних напоїв з використанням волоських горіхів. В процесі дослідження використовували плоди горіхів молочно-воскової стиглості. Екстрагування проводили у 70% водно-спиртовому розчині, де гідромодуль сировина : екстракт склав 1:1 та 50% водно-цукровому розчині з гідромодулем 0,75:1, тривалістю 20 діб. В результаті отриманий екстракт, який рекомендують застосовувати для напоїв, з метою підвищити біологічну цінність.

Пізніше було досліджено водно-спиртовий екстракт як компонент маринаду до м'ясних напівфабрикатів. В рецептурі оцет повністю замінили на 70% водно-спиртовий екстракт горіха. Дослідники зазначили, що додавання 70% водно-спиртового екстракту збільшує вихід продукту, покращує органолептичні показники та технологічні властивості [15].

В ОНАХТ було розроблено технологію пива оригінального з використанням водно-спиртового екстракту з горіха. Екстракт готували методом мацерації водно-спиртовим розчином міцністю 40 об. та витримували протягом 140 діб. Екстракт додавала до пива на різних стадіях виготовлення, а саме: 40 мл/дм³ на стадії головного бродіння, 20 мл/дм³ на стадії доброджування та 40 мл/дм³ на стадії доброджування. Зразки оцінювали за органолептичними показниками (прозорість, колір, аромат, смак, хмелева гіркота). Дослідниками було



обране оптимальне значення 40 мл/дм³ на стадії доброджування, що якісно впливає на органолептичні показники продукту [16].

Згідно досліджень [14] було розроблено порошок з листя горіхів з вмістом йоду. Оскільки, листя зібране на початку вегетації в травні містить йоду 11,2 мг, що вище, ніж листя, зібране в червні - липні. Сировину висушували в темному приміщенні при температурі 22-25°C і відносній вологості 50-60%. Після сушіння сировину подрібнювали та фасували. Додаток рекомендується для харчової продукції з метою підвищення вмісту йоду.

Дослідниками СНАУ було запропоновано плавлений сир з використанням екстракт сухого листя від ТОВ «НВК Віларус» з метою збагатити продукт йодом. Екстракт сухого листя додавали на стадії перед розливом у концентрації 3%, 5% та 7%. Контролювання проводили за органолептичними та фізико-хімічними показниками (масова частка вологи, вміст йоду, активна кислотність, йодне число протягом 15 діб, пружність, penetрація). За результатами структурно-механічних досліджень було обрано концентрацію 5% [2].

Не зважаючи на велику користь горіхів, необхідно враховувати, що вони вважаються сильними алергенами. За даними Американської академії алергії, астми та імунології, 90% харчових алергій можна віднести до категорій із шести груп (молоко, арахіс, соя, яйця, пшениця та горіхи). Алергія на молоко, яйця та сою зазвичай з віком проходить. Однак алергія на арахіс, горіхи та морепродукти не зникає з віком [7, 13]. Симптоми харчової алергії можуть варіюватися від легких до важких, а в деяких випадках можуть призвести до анафілаксії – потенційно небезпечної для життя і важкої алергічної реакції.

Крім того, з грецьких горіхів отримують чорні пігменти, які добувають шляхом піролізу, коли сировину спалюють при високих температурах без доступу повітря [1, 6]. Його застосовують в текстильній промисловості в якості фарбувального пігменту (шкіра, бавовна, різна тканина), косметології (фарби, маски, скраби) та хімічна промисловість (фарби, емульсії, суспензії). Екстракти з волоського горіха широко застосовують у фармакології (фітопрепарати), ветеринарній медицині (мазі) тощо.

Висновки. Отже, аналіз літератури джерел дає можливість стверджувати, що використання волоського горіха актуальне питання, яким займаються науковці різних країн. Однак, використання його, як барвника в харчовій промисловості має обмеження, що пов'язані з токсичною дією на організм людини юглону. Вміст якого може становити не більше 0,5 мг/кг.

Список використаних джерел

1. ЕМА Assessment Report on *Juglans Regia L., Folium*



EMA/HMPC/346740/2011 Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC), European Medicines Agency, Amsterdam, NL, Europe, 2013 (дата звернення: 10.04.2023).

2. Volgova N., Krevsun K. Використання екстракту листя волоського горіха в технології плавлених сирів. *Technical sciences and technologies*. 2019. № 3(17). С. 219–225. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-3\(17\)-219-225](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-3(17)-219-225) (дата звернення: 09.04.2023).

3. Бабаджан В. Д., Амер Л. Б., Єрмак О. С., Москаленко Л. А. Харчова алергія, діагностичні підходи, сучасні терапевтичні заходи. Ліки – людині. *Сучасні проблеми фармакотерапії і призначення лікарських засобів*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції: у 2 т. / НФАУ. Харків : НфаУ, 2019. Том 2. С. 39.

4. Тюрікова І. С., Рибак Г. М., Плахотін В. Я. Наукові дослідження з розробки технології виробництва екстрактів з волоського горіха. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2009. Вип. 2(10). С. 198–204. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/9029> (дата звернення: 10.04.2023).

5. Гайдей О. С.; Новожицька Ю. М. Класифікація алергенів та методи їх дослідження. *Ветеринарна медицина*, 2017, 103: 238–240. URL: <http://surl.li/gikcv> (дата звернення: 08.04.2023).

6. Килюшик В. С.; Фесич І. В. Розроблення способу отримання активного вугілля з відходів біомаси. *Editorial Board*, 2021, 88. URL: <http://surl.li/gikfn> (дата звернення: 08.04.2023).

7. Гришило, П. В. Види алерген-специфічної імунотерапії, показання до призначення, ефективність при бронхіальній астмі та інших алергічних захворюваннях. *Астма та алергія*, 2016, 1: 62–65. URL: <http://surl.li/gilar> (дата звернення: 08.04.2023).

8. Донцова І. В.; Лебединець В. Т.; Гірняк Л. І. Горіх волоський як цінна продовольча та промислова сировина. *Центральна спілка споживчих товариств України Львівський торговельно-економічний університет*, 31. URL: <http://surl.li/gilei> (дата звернення: 08.04.2023).

9. Karasenko A., Peredera S. Phytoncidal properties of plants against fungi of the *Aspergillus* genus. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2022. Vol. 100, no. 9. P. 55–61. URL: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202209-06> (дата звернення: 08.04.2023).

10. Кучерко І. М., Заморока А. М. Інвазія горіха волоського (*Juglans regia* L.) на європейському континенті: огляд проблематики. *Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія*. 2021. Т. 2, № 23. С. 16–28. URL: <https://doi.org/10.34142/2708-5848.2021.23.2.02> (дата звернення: 10.04.2023).

11. Залигіна Є. В. Порівняльне вивчення токсичності густого



водно-спиртового екстракту з незрілих плодів горіха волоського та препарату Альтан за повторного введення шурам. *Фармакологія та лікарська токсикологія*, 2017, 6.56: 72–82. URL: <http://surl.li/gilkv> (дата звернення: 10.04.2023).

12. Montenegro R. C. et al. Cytotoxic activity of naphthoquinones with special emphasis on juglone and its 5-O-methyl derivative. *Chemico-biological interactions*, 2010, 184.3: 439–448. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2010.01.041> (дата звернення: 10.04.2023).

13 Семко, Т. В.; Іваніщева, О. А. Харчова алергія. *Новачі в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і*, 2020, 217. URL: <http://surl.li/gilmy> (дата звернення: 10.04.2023).

14. Омельчук С. В., Мельник І. В., Домарецький В. А. Технологія та органолептична оцінка оригінального пива з використанням екстракту волоського горіха. 2012. URL: <http://surl.li/gilof> (дата звернення: 10.04.2023).

15. Прибильський, В. Л.; Омельчук, С. В. Особливості виготовлення водно-спиртових екстрактів волоського горіха в технології виготовлення ферментованих напоїв. *ТОМ*, 292. URL: <http://surl.li/gilpj> (дата звернення: 10.04.2023).

16. Субота, В. В. Неповноцінне харчування та його наслідки. *Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції*, Черкаси, ЧДТУ, 2022, с. 35 (дата звернення: 10.04.2023).

17. Штонда, О. А.; Вакалюк, Я. А. Використання ядра волоського горіха у технології м'ясних хлібів. *Інформація для Авторів*, 2016, 37 (дата звернення: 10.04.2023).

18. Білоус, О. В., Демидов, І. М., Бухкало С. І. Дослідження властивостей комплексного рослинного антиоксиданту. 2015. PhD Thesis. НТУ" ХПП" (дата звернення: 10.04.2023).

19. Tiurikova, Inna S., et al. Технологія дієтичних добавок із волоського горіха. *Journal of Chemistry and Technologies*, 2020, 28.1: 51–60. DOI: <https://doi.org/10.15421/082007> (дата звернення: 10.04.2023).

20. Шульга Н. М., Волянська Н. О. Дослідження антимікробних властивостей лікарських рослин сімейства JUGLANDACEAE Довга І. М., Іваннік В. Ю., Казмірчук В. В., Поволокіна І. В. *Фармацевтична наука та практика: проблеми, досягнення, Ф 24 перспективи розвитку = Pharmaceutical science and practice: problems, achievements, prospects*: матер. II наук.-практ. інтернет-конф. з міжнар. Учасю /ред. кол.: ОФ Пімінов та ін.–Х.: НФаУ, 2018.–464 с. (р. 207) (дата звернення: 10.04.2023).

Стаття надійшла до редакції 13.04.2023 р.



T. Yarmosh, F. Pertsevoi
Sumy National Agrarian University

ANALYSIS OF THE USE OF WALNUTS IN THE FOOD INDUSTRY

Summary

Wild plants are a rich source of biologically active compounds, vitamins and minerals. The natural growth environment of plants allows them to accumulate useful components as much as possible. The walnut, cultivated by man many years ago, certain varieties of which grow on the territory of Ukraine, is no exception.

Walnuts are a unique vegetable raw material, all parts of which can be used by humans. Nut seeds contain up to 77% of fats, up to 21% of proteins, up to 7% of carbohydrates, riboflavin, thiamin, which determines their excellent taste and high nutritional value. Walnut fruit oil consists of 87-90% unsaturated fatty acids. Saturated fatty acids are present in it in amounts not exceeding 10%. Walnut oil is rich in linoleic (56-64%), oleic (14-28%) and linolenic (7-13%) acids. It contains 60-73 mg/100 g of the natural antioxidant α -tocopherol. The energy value of 1 kg of nuts is 35,600 kJ. Nuts can be a recommended additional source of essential amino acids in food. In comparison with other nuts (cedar, forest, pistachios, almonds, peanuts), walnut proteins contain arginine. Milk nuts contain: vegetable fiber - 2.4%, steroids - 0.4%, vitamins (mg/100g): vitamin A - 0.50, carotenoids - 0.05, vitamin E - 5.0, vitamin C - 900, B vitamins (B1 - 0.21, B2 - 0.70, B6 - 0.13), vitamin PP - 0.79. Mineral substances (mg/100g): potassium - 500, calcium - 95, magnesium - 110, phosphorus - 220, iron - 0.3, zinc - 1.3, iodine - 0.05. The endocarp of a ripe walnut contains phenolic compounds (2175 mg/100 g) and ascorbic acid (243 mg/100 g).

As a result of damage to the immature shell (pericarp) of the nut, the glycoside decomposes to free juglone, which gives a dark brown color and suppresses the growth of most plants (allelopathy). It is found as a glycoside in walnut leaves (about 1%), in bark and pericarp (about 2%), as well as in flowers and flower buds (up to 8%). The chemical structure of juglone is 5-oxy-1,4-naphthoquinone. According to data, juglone neutralizes tetanus and diphtheria toxins *in vitro*.

Foreign scientists confirmed the toxicity and biological effect of walnut extract (juglon) on mammalian cells, both *in vitro* and for small animals. It exhibits cytotoxic activity, which causes destruction of cell membranes in *in vitro* experiments and determines anticancer activity. An experiment in the laboratory proved that oral administration of pure extract of walnut (juglon) led to the death of laboratory animals. That is, the LD50 for rats was 112 mg/kg, for mice 25 mg/kg. Kidneys are the target organ for the toxic effect of juglone. In the next study, rats were administered juglone at a dose of 1 mg/kg for 7 days, after which negative histological changes were observed in the kidneys of rats. Thus, juglone can be toxic to humans if used in high concentrations as medicines or as a food additive (dye, preservative).

However, if you look at the content of walnut extract, it is 0.1% and is safe for the body. Other biologically active ingredients of the extract are flavonoids, phenolic acids and essential oils, which have a lower concentration and lower toxicity indicators. Walnut extracts are actively used in medicine, veterinary medicine and the food industry in small concentrations. Juglon is used as a food preservative, which has a stabilizing effect at a concentration of 0.5 mg/l. It is slightly soluble in water and well soluble in ethyl alcohol. A preservative is used in drinks.

In addition, black pigments are obtained from walnuts, which are obtained by pyrolysis, when raw materials are burned at high temperatures without access to air. It is



used in the textile industry as a coloring pigment (leather, cotton, various fabrics), cosmetology (paints, masks, scrubs) and the chemical industry (paints, emulsions, suspensions). Walnut extracts are widely used in pharmacology (phytopreparations), veterinary medicine (ointment), etc. Therefore, the analysis of the literature of the sources makes it possible to state that the use of walnut is an actual issue that scientists from different countries are dealing with. However, its use as a dye in the food industry has limitations related to the toxic effect of juglone on the human body. The content of which can be no more than 0.5 mg/kg.

Key words: extract, dye, antioxidants, biologically active substances, walnut, preservative.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-26

УДК [504.03+664]:316.334.5-053.8

С. О. Губа, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-0546-7940

Б. В. Бабенко

ORCID: 0009-0000-4778-3688

Н. В. Болгова, к. с.-г.н.

ORCID: 0000-0002-0201-0769

В. В. Соколенко, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-2049-7013

Сумський національний аграрний університет

snaui-okunevska@ukr.net, тел.: 099-445-81-34

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ОБІЗНАНОСТІ МОЛОДІ В ПИТАННЯХ ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ НА БЕЗПЕЧНІСТЬ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Анотація. В статті представлено результати дослідження, проведеного у формі опитування студентів Сумського національного аграрного університету денної форми навчання різних факультетів, спеціальностей та курсів, з метою встановлення рівня обізнаності серед них у питаннях, що стосуються екологічної складової в формуванні безпечності харчових продуктів. Для реалізації дослідження було розроблено анкету.

Встановлено високий рівень зацікавленості студентів до даного питання. Визначено залежність рівня обізнаності від спеціальності студентів за якою вони навчаються, отже недостатньою кількістю вільних інформаційних джерел на тему впливу екологічної складової на безпечність харчових продуктів.

Запропоновано варіанти вирішення проблеми: розробка факультативних освітніх курсів, соціальної реклами, організація семінарів та круглих столів та розширення інформаційного простору з питань впливу екологічної складової на безпечність харчових продуктів.

Ключові слова: безпечність, якість, харчові продукти, екологія, виробництво, молодь, здоров'я, харчування.

Постановка проблеми. Безпечність харчових продуктів є критичною проблемою, яка впливає на здоров'я та благополуччя людей і харчової промисловості в цілому. В останні роки попит на харчові продукти зріс, що призвело до необхідності збільшувати об'єми виробництва харчових продуктів, тим самим збільшується кількості внесених інгредієнтів та ускладнюються виробничі процеси, що можуть стати причиною внесення в продукт різного роду забруднювачів.



Все більшої актуальності набувають проблеми, які пов'язані з виробництвом, сертифікацією, контролем якості та безпеки, споживанням продуктів харчування, а також екологічною складовою їх виробництва. Тісно пов'язані між собою проблеми харчування і здоров'я, оскільки здоров'я людини більш ніж на 60% залежить від того, чим вона харчується [1].

Несприятлива сучасна екологічна ситуація призводить до забруднення води, повітря, ґрунтів, і все це відображається на показниках безпеки харчових продуктів. Споживач почав менше довіряти якості вироблених продуктів через погіршення екологічних умов їх вирощування та виробництва. Якість та безпека харчових продуктів впливає як на рівень життя, соціальну активність людини, так і на демографічний аспект існування в цілому [2].

Актуальність теми дослідження полягає в тому, що в Україні не докладається максимум зусиль до запровадження і сертифікації систем екологізації харчових виробництв, з огляду на досвід європейських країн. При тому, що наразі достатньо негативних чинників, екологічна складова яких впливає на безпеку харчових продуктів, постійно зростають викиди промислових підприємств, транспорту, відходи з різноманітних господарств, засоби хімізації сільського господарства, а також досить високий радіаційний фон, внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Враховуючи зростання кількості населення на Землі та пришвидшений рух науково-технічного прогресу, дана екологічна проблема є, була та буде завжди актуальною і постійно загостреною.

Забруднення ґрунту є однією з найбільш серйозних загроз для безпеки харчових продуктів. Ґрунт є основним джерелом поживних речовин для сільськогосподарських культур, і її якість необхідно підтримувати для виробництва безпечних харчових продуктів. Забруднювачі ґрунту можуть надходити з різних джерел, таких як промислові відходи, пестициди та добрива. Ці забруднення можуть потрапити в харчовий ланцюг і мати негативний вплив на здоров'я людини. Для забезпечення безпеки харчових продуктів вкрай важливо контролювати та регулювати якість ґрунту [3,4,5,6,7].

Забруднення води також є серйозною проблемою для безпеки харчових продуктів. Оскільки вода використовується у виробництві харчових продуктів, для поливу та миття сільськогосподарських культур. Забруднена вода може містити різні забруднюючі речовини, такі як важкі метали, хімікати та мікроорганізми. Ці забруднювачі можуть завдати шкоди як культурам, так і споживачам. Щоб мінімізувати ризик зараження харчових продуктів, важливо переконатися, що джерела води, які використовуються для виробництва харчових продуктів, чисті та безпечні. Задля усунення



шкідливих речовин у воді потрібно встановлювати спеціальні фільтри на джерела водопостачання [8,9].

Забруднення повітря також може вплинути на безпечність харчових продуктів, особливо для культур, які вирощуються на відкритому повітрі. Пил, хімікати та гази, можуть забруднювати посіви та погіршувати їх показники безпечності. Моніторинг і регулювання якості повітря в місцях, де виробляється їжа, має вирішальне значення для мінімізації ризику зараження, особливо у місцевості де є потенційно забруднюючі повітря об'єкти [10].

Радіаційно забруднене атмосферне повітря, ґрунти та вода є провідним шляхом потрапляння радіонуклідів в продукти харчування. Вживання радіаційно забруднених продуктів харчування піддає організм людини негативному впливу внутрішнього радіоактивного опромінення. Радіаційні ізотопи, що потрапляє в організм людини, можуть накопичуватись у внутрішніх органах, в кістках і м'язах. [11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Соціологічні дослідження, що проводяться в різних регіонах України, і охоплюють людей різного віку, роду занять та рівня доходів, свідчать про високий, але все ж не достатній, рівень обізнаності у питаннях екологічних проблем [12,13]. Визначено, що в Україні досі існують проблеми регулювання безпечності харчових продуктів, перш за все від неефективного функціонування впроваджених систем управління якістю та безпечністю [2]. Статистичні дані підтверджують підвищення рівня зацікавленості населення планети органічною та екологічною харчовою продукцією, зокрема у регіонах з розвинутою економікою [14,15]. Не дивлячись на сталу актуальність питання протягом останніх років, рівень екологічної освіти залишається недостатнім, населення в повній мірі досі не розуміє нищівного впливу поганої екологічної ситуації на життя та здоров'я [16,17].

Кожен з нас починає задумуватись про екологічну безпеку середовища в якому ми живемо, особливо гостро це стосується сфери життєзабезпечення – повітря, вода, їжа. Якщо не можемо повністю контролювати те чим ми дихаємо, то цілком можемо контролювати те, що ми їмо. Навіть зараз, в еру інформаційної вседоступності, проблема низької обізнаності споживача харчових продуктів залишається досить актуальною [17,18].

Постановка та мета завдання. Метою даної роботи є дослідження рівня обізнаності молоді в питаннях впливу екологічної складової на безпечність харчової продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Було проведено онлайн опитування з метою отримання інформації про рівень обізнаності молоді у питаннях безпечності, якості харчових продуктів та впливу екологічної складової на харчування.



В опитуванні взяли участь студенти Сумського національного аграрного університету. Кількість респондентів, що долучилися до анкетування, становила 165 здобувачів освіти з різних факультетів, спеціальностей та курсів, а саме Факультету харчових технологій (ФХТ), Біолого-технологічного факультету (БТФ), Факультету агротехнологій та природокористування (АГРО), Факультету економіки і менеджменту (ФЕіМ), та Юридичного факультету (ЮРФАК) у співвідношенні представленому на рисунку 1. Запропонована анкета містила 4 питання:

1) Чи знаєте Ви про вплив екологічної складової на безпечність харчової продукції?

2) Чи знаєте Ви, що на безпечність харчової продукції впливають промислові відходи, пестициди та добрива, які забруднюють ґрунти?

3) Чи знаєте Ви, що через продукти харчування мають негативний вплив на здоров'я людини такі забруднювачі води, як важкі метали, хімікати та мікроорганізми?

4) Хто на вашу думку повинен контролювати екологічну безпечність харчових продуктів?

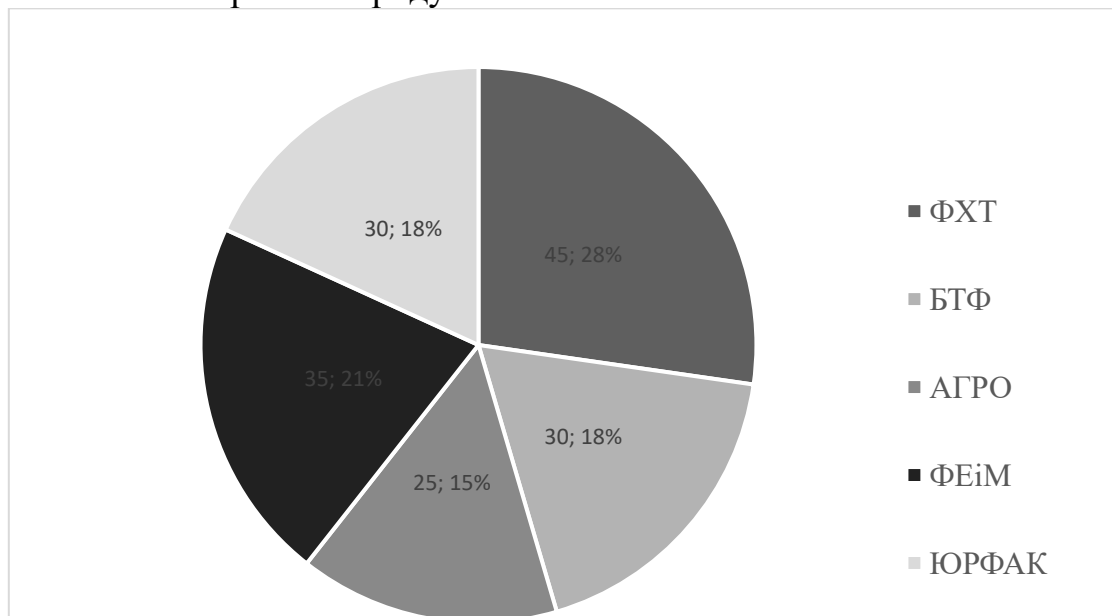


Рисунок 1. Співвідношення студентів різних факультетів серед опитаних

В результаті опитування 65 учасників стверджувально відповіли на питання, чи впливає екологічно складова на безпечність харчової продукції – 80% з яких студенти технічних спеціальностей. Решта відповіли, що обізнані не детально з даною інформацією. Це були, переважно, студенти спеціальності яких ні прямо ні опосередковано не пов'язані з виробництвом та переробкою харчової продукції, до того ж



серед них переважали студенти молодших курсів. Отже, можна зробити висновок, що старшокурсники обізнані з даною проблемою краще, а наповнення навчальних курсів спеціально-направленими дисциплінами дають знання, які допомагають студентам бути більш обізнаними у сфері безпечності, якості та екологічності продуктів харчування, а також компетентність відстоювати свою позицію у відношенні здоров'я, навколишнього середовища та продуктів, які вони споживають.

На питання щодо впливу на безпечність харчової продукції таких забруднювачів ґрунту, як промислові відходи, пестициди та добрива думки розділились майже порівну. 36 % опитаних відповіли, що впливають негативно, ще 36% відповіли, що на їх думку не впливають, а 28% вагались, тобто не володіли достатньою кількістю необхідної інформації.

Сімдесят два респонденти стверджували що забруднювачі води, такі як важкі метали, хімікати та мікроорганізми мають негативний вплив на здоров'я людини через продукти харчування, шістдесят дев'ять дотримуються думки того, що як і забруднювачі ґрунту, так і води й повітря не мають негативного впливу на безпечність продукції, яку вони споживають, і тридцять чотири не можуть визначитися стосовно цього. Аналізуючи отриману інформацію можна стверджувати, що 45 % студентів знають про вплив різноманітних забруднювачів на безпечність харчових продуктів, при тому, що більше ніж 75% з них це студенти технічних спеціальностей.

На питання про те, хто повинен контролювати екологічну безпечність харчових продуктів більше половини респондентів (56,5%) зазначили, що безпечність харчових продуктів повинен контролювати як уряд, так і ті, хто виробляють харчові продукти, і 13,2 % вважає, що достатньо коли контроль здійснює лише виробник.

Слід зазначити, що із тих, хто не обізнаний з даною проблемою, у більшості своїй, були студенти перших двох курсів різних напрямків і спеціальностей.

Опитування показало, що близько – 40 % знають про вплив екологічної складової на безпечність харчової продукції. Аналізуючи дані діаграми рисунок 1 та рисунок 2 слід звергнути увагу, що спеціальність за якою навчаються студенти також вплинула на обізнаність в питанні впливу екологічної складової на безпечність харчової продукції.

Так, студенти факультету харчових технологій, агротехнологій та природокористування, а також біолого-технологічного факультету були обізнані краще в даних питаннях ніж студенти економічних та юридичних спеціальностей. Це може бути пов'язано зі специфікою навчальних планів кожної конкретної спеціальності, та з відсутністю

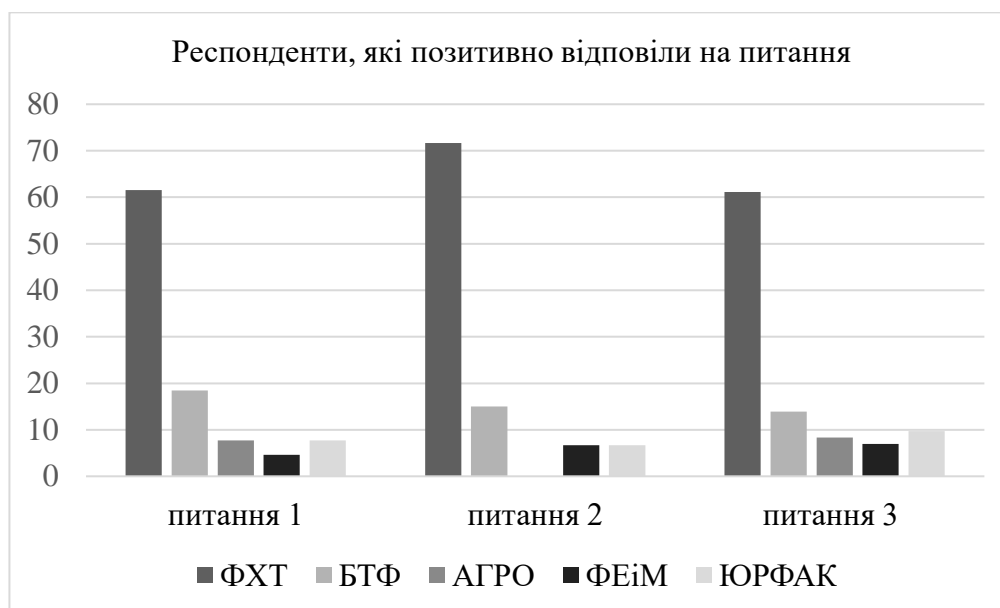


Рисунок 2 Співвідношення обізнаності студентів серед різних факультетів

достатньої кількості інформаційних матеріалів по даному питанні в доступній, для сприйняття молоддю, формі.

Висновок. Екологічна складова відіграє вирішальну роль у визначенні безпечності харчових продуктів. Важливо контролювати та регулювати якість ґрунту, води та повітря, щоб забезпечити споживачів безпечними та здоровими продуктами харчування.

Харчова промисловість має взяти на себе відповідальність за безпечність харчових продуктів. Уряд повинен відігравати ключову роль у встановленні та забезпеченні виконання правил, які гарантують безпеку харчових продуктів для споживачів, впроваджуючи суворі заходи щодо моніторингу та регулювання екологічної складової. Також, необхідно розробити програму інформування та розповсюджувати інформацію для підвищення рівня обізнаності споживачів у питаннях якості та безпечності харчових продуктів в цілому та їх екологічної складової зокрема.

Варіанти вирішення проблеми низької інформованості серед молоді можуть бути наступними: розробка факультативних освітніх курсів, соціальної реклами, організація семінарів та круглих столів та розширення інформаційного простору з питань впливу екологічної складової на безпечність харчових продуктів.

Список використаних джерел

1. Воронов С. А., Стецишин Ю. Б., Панченко Ю. В., Когут А. М. Токсикологія продуктів харчування. Друге видання, доповнене. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 568 с.
2. Древаль О. Ю., Павленко О. О. Проблеми регулювання



безпеки харчових продуктів у контексті екологічної національної політики України. *Механізм регулювання економіки*, 2009, № 2 С. 19–23.

3. Польовий А. М., Гуцал А. І., Дронова О. О. Ґрунтознавство: підручник для студ. вищ. навч. Закладів., М-во освіти і науки України, Одеський держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2013. 668 с.

4. Лоханська В. Й. Вплив екологічної складової на безпечність сільськогосподарської продукції. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://nd.nubip.edu.ua/2009-1/09lvjaps.pdf>

5. Klára Šmídová Bioavailability of persistent organic pollutants in soils with regard to soil properties and contamination aging. Brno, Czech Republic, 2013. 92 p.

6. Włóka D., Kasprzak M., Placek A. Badanie kinetyki procesu biodegradacji wybranych zanieczyszczeń organicznych w glebie. Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, 2015. P. 468–480

7. Posmyk K., Urbaniak M. Fitoremediacja jako biologiczna metoda oczyszczania środowiska. *Aura* 7, 2014.

8. Сімакова О. О., Назаренко І. А., Омельницька В. О. Вплив якості питної води на хлібопекарні властивості пшеничного борошна. *Обладнання та технології харчових виробництв*. ISSN 2079-4827 Випуск 35 (2017) С. 25–31.

9. Грубінко В. Якість води як її структурно-функціональний феномен. Тези доповідей І Міжнародної науково-технічної конференції „Якість води: біомедичні, технологічні, агропромислові і екологічні аспекти“, Т.: ФОП Паляниця В. А., 2021. С. 61–62.

10. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: Наказ МОЗ України № 184 від 13.04.2007 р. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6902>

11. Барбашев С. В., Гладун Н. С. Радіаційна ємність екосистем та екологічне нормування радіаційного впливу АЕС. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку*: збірник матеріалів Третьої Міжнародної науково-практичної конференції, Україна, Херсон :«ОЛДПЛЮС», 2020. С. 41–44

12. Комих Н. Г. Соціоекологічні проблеми сучасного міста як штучного середовища існування індивіда. Науково-теоретичний альманах «Грані». 2018. Т. 21. № 10. С. 106–113.

13. Фурдичко О. І. Екологічні основи збалансованого розвитку агросфери в контексті європейської інтеграції України: монографія / НААН України. Ін-т агроекології і природокористування. К.: ДІА, 2014. 428 с.



14. Willer H., Lernoud J. The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) & IFOAM-Organics International: Frick, Switzerland. 2017. P. 336.
15. Бабенко Б., Органічна продукція очима студентів // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента, м. Суми, с. 311.
16. Орфанова М. М., Орфанова М. М., Яцишин Т. М., Рибак О. І. Інноваційні технології у формуванні трирівневої екологічної освіти. *Вісник харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Екологія». – 2016 - №14. – с.98-101.
17. Нечваль К. А., Яцишин Т. М. Дослідження рівня поінформованості населення міста Івано-Франківська щодо сучасних екологічних проблем. Матеріали VII Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» 2019 р., м. Харків С. 162–164.
18. Колегія міністерства освіти і науки України. Рішення № 13/6-19 від 20.12.2001 Про концепцію екологічної освіти в Україні. Електронний ресурс: Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v6-19290-01?lang=uk>

Стаття надійшла до редакції 14.04.2023 р.

S. O. Huba, B. V. Babenko, N. V. Bolgova, V. V. Sokolenko
Sumy National Agrarian University

RESEARCH ON THE LEVEL OF YOUTH KNOWLEDGE ABOUT THE ENVIRONMENTAL IMPACT ON FOOD SAFETY

Summary

The article presents the results of the research, which was conducted in the form of a survey. The survey was conducted with students of the Sumy National Agrarian University. Students of various faculties, specialties and courses were among those interviewed. The purpose of the research was to establish the level of knowledge among students on the issue of environmental impact on food safety. For the implementation of the research a questionnaire consisting of 4 questions was developed:

- 1) Do you know about the influence of the ecological component on the safety of food products?
- 2) Did you know that industrial waste, pesticides and fertilizers affect the safety of food products?
- 3) Did you know that heavy metals, chemicals and microorganisms that pollute water can also negatively affect health through food?
- 4) Who do you think should monitor the environmental safety of food products?

A high level of interest in this research was established among students, because currently a healthy lifestyle is a trend among the vast majority of respondents.



The dependence of the level of knowledge on the specialty of students in which they are studying was determined. The obtained results are explained by the presence of specific disciplines in the curricula of some specialties and their absence in other specialties. Also, the results indicate an insufficient number of free information sources on this topic.

Options for solving this problem were offered:

- development of a program of information on ecology and nutrition;
- expanding the information space to increase the level of consumer knowledge in food safety problems;
- development of optional educational courses;
- social advertisement;
- organize and conduct seminars and round tables.

The ecological component plays a decisive role in determining the safety of food products. To provide consumers with safe and healthy food, it is necessary to control and regulate the quality of soil, water and air.

Key words: safety, quality, food products, ecology, production, youth, health, nutrition.



УДК 664.681.14:633.5

А. С. Вареник

Ф. В. Перцевой, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Сумський національний аграрний університет

e-mail: oхana7@i.ua, тел.: 096-432-80-72

ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ КОНОПЕЛЬ У ВИРОБНИЦТВІ КОНДИТЕРСЬКИХ БОРОШНЯНИХ ВИРОБІВ

Анотація. Статтю присвячено визначенню практичної доцільності використання продуктів переробки конопель у виробництві кондитерських виробів. Наведено інформацію щодо вирощування та використання конопель в Україні, проаналізовано хімічний склад продуктів переробки конопель, як сировини, яка використовується у виробництві продуктів харчування, обґрунтовано можливість застосування продуктів їхньої переробки, а саме конопляного протеїну у технології пряників. Досліджено можливість застосування конопляного протеїну у технології борошняних кондитерських виробів. Визначено, що заміна пшеничного борошна на конопляний протеїн у кількості 3,0; 6,0 та 9,0% призводить до зміни органолептичних показників напівфабрикату тіста та готового виробу. Теоретично і експериментально обґрунтовано доцільність заміни в рецептурі заварних пряників 6,0 % пшеничного борошна на конопляний протеїн, оскільки конопляний протеїн є джерелом повноцінного білку, у своєму складі містить високозасвоєвані білки, багатий цінними жирними кислотами, вирізняється підвищеним вмістом вітамінів, мікроелементів та має підвищений вміст клітковини.

Проведено органолептичну оцінку якості заварних пряників з конопляним протеїном та визначено їх фізико – хімічні показники якості, розраховано харчову та біологічну цінність пряників. Встановлено перспективи використання конопляного протеїну у виробництві пряників для надання їм функціональних властивостей. За даними розрахунків встановлено, що в новому продукті в порівнянні з аналогом збільшується кількість вітамінів групи В, також зростає кількість мінеральних речовин, таких, як кальцій, магній, натрій, залізо. Тому внесення конопляного протеїну у рецептуру заварних пряників дозволяє розширити асортимент кондитерських виробів борошняної групи, отримати продукт з гарними органолептичними властивостями, підвищити харчову та енергетичну цінність готових виробів за рахунок



вмісту в ньому біологічно-активних речовин.

Ключові слова: продукти переробки конопель, конопляний протеїн, борошняні кондитерські вироби, заварні пряники, органолептичні показники, функціональні властивості, біологічна цінність.

Постановка проблеми. Раціональне корегування харчування населення, звернення уваги на сучасні проблеми харчування є актуальними питаннями сьогодення. У зв'язку з цим необхідне удосконалення рецептур, традиційних методів обробки харчових продуктів, які сприятимуть збереженню максимальної кількості поживних речовин та підвищуватимуть харчову та біологічну цінність харчових та кулінарних виробів.

Необхідність використання сучасних технологій переробки конопляної сировини пов'язана з підвищеною зацікавленістю в різноманітних товарах із натуральної сировини. Безумовна цінність конопель пов'язана з наявністю в них широкого спектру органічних сполук, білків, ненасичених жирних кислот, вітамінів, мінеральних речовин [1]. Технічні коноплі відносяться до стратегічних видів сировини, під її вирощуванням на території України зайнято близько 150 га посівних площ. Насіння конопель містять велику кількість амінокислоти аргініну, яка виробляє оксид азоту у тілі людини, який впливає на процес розширення та розслаблення кровоносних судин. Це призводить до зниження артеріального тиску та ризику серцевих захворювань. Збільшення споживання аргініну сприяє зниженню рівня С-реактивного білку (СРБ), який є індикатором запалення. Високий рівень СРБ пов'язаний із захворюваннями серця. Гамма-ліноленова кислота, що міститься в насінні конопель, також пов'язана зі зменшенням запалення, що може зменшити ризик хвороб серця.

За вмістом таких мікроелементів, як магній, фосфор та цинк продукти переробки конопель перевищують забезпечення добової норми у споживанні.

Використання продуктів переробки конопель у кондитерському виробництві дозволить значно розширити асортимент кондитерських виробів, тим самим збільшити попит на продукцію, яка буде вирізнятися органолептичними і фізико-хімічними властивостями та матиме високу харчову цінність.

Мета дослідження. Вирішення науково-практичних завдань удосконалення технології пряників з використанням продуктів переробки конопель, а саме конопляного протеїну, який характеризується високими біологічними властивостями, додавання якого дозволить збільшити кількість поживних речовин та підвищити харчову цінність виробів.



Аналіз останніх досліджень. Початок 21 століття став епохою відродження конопляної індустрії та застосування продуктів переробки конопель в продуктах харчування. В їжу вживаються насіння конопель, олію, конопляне борошно. Продукти переробки конопель відносять до суперфудів, їх рекомендують для споживання вегетаріанцям, спортсменам та сиріодам, оскільки ці продукти допомагають наситити організм корисними мікроелементами, амінокислотами та іншими потрібними компонентами. Крім того, вирощування конопель здійснюється зазвичай без використання гербіцидів або пестицидів, тому продукти з конопель відносять до екологічно чистих. Слід відзначити, що продукти переробки коноплі не містять ніяких потенційно шкідливих речовин, однак є джерелом корисних елементів, серед яких ненасичені жирні кислоти омега-3 та омега-6, вона також містить багато вітамінів групи В, вітаміни А, D і Е, кальцій, натрій, залізо і харчові волокна [6-9].

Останнім часом сфера застосування сировини із конопель значно розширилася. Насіння конопель переробляють для виготовлення лікарських, парфумерних, косметичних препаратів, високоякісної харчової і технічної олії, використовується в якості сировини для виготовлення багатьох харчових продуктів.

Науковцями Сова Н.А. та Фалендиш Н.О. [1, 2] було досліджено можливість використання продуктів переробки конопель (зерно конопель, конопляне борошно) у виробництві хлібобулочних, кондитерських виробів та харчоконцентратів. На основі досліджень, вчені України та світу пропонують до використання в хлібопекарській промисловості конопляне борошно та олію. Для збагачення хліба ненасиченими жирними кислотами вони пропонують внесення конопляної олії, яка містить оптимальне співвідношення омега-3 та омега-6 жирних кислот (1:3) порівняно з іншими оліями. Доведена можливість і доцільність використання борошна конопляного в суміші з борошном житнім і пшеничним у виробництві хліба. Завдяки додаванню конопляного борошна тривалість бродіння тіста скорочується на 30%, питомий об'єм хліба підвищується на 26,3%, пористість збільшується на 10,9%.

Авторами Галенком О. О. та Шаповаловим В. Ю. запропоновано використання насіння промислових конопель у технологіях м'ясної продукції [3]. Науковцями Фарук Семвогерере, Ченаймойо Л. Ф. Катіятія та іншими [4] встановлено доцільність використання продуктів переробки коноплі для подовження терміну зберігання продуктів з м'яса.

Також є досвід збагачення молочних продуктів насінням конопель. Існує спосіб виробництва морозива з використанням конопляного насіння та кунжуту як смакової добавки [11].



Згідно з проведеним аналітичним оглядом, враховуючи різноманіття конопляної сировини та широкий спектр її поживних властивостей, використання продуктів переробки конопель у виробництві борошняних кондитерських виробів є актуальним та перспективним.

Постановка завдання. Важливим завданням на сьогодні є проектування нових харчових продуктів та розробка технологічних процесів, які сприятимуть комплексному використанню цінних компонентів конопляної сировини, сприятимуть підвищенню харчової цінності розроблених продуктів та надаватимуть їм функціональних властивостей.

Перспективним напрямком є використання конопляного протеїну в складі борошняних кондитерських виробів, оскільки дана сировина є джерелом повноцінного білку, у своєму складі містить високозасвоєвані білки, має всі 20 амінокислот, в тому числі 8 незамінних, багата цінними жирними кислотами, містить ненасичені жирні кислоти омега-3, омега-6 та омега-9. Конопляний протеїн вирізняється підвищеним вмістом вітамінів, мікроелементів та має підвищений вміст клітковини.

Основна частина. У збірнику рецептур кондитерських виробів, що використовуються підприємствами, внесення конопляного протеїну, як біологічно активної сировини, не передбачено. Проте, враховуючи багатий нутрієнтний склад продуктів переробки конопель, збагачення кондитерських виробів даним способом є перспективним напрямком розширення асортименту кондитерських виробів борошняної групи та підвищення їх харчової цінності.

З огляду на те, що насіння конопель може бути використане як джерело білків, жирів та біологічно-активних речовин, було запропоновано заміну частини пшеничного борошна в рецептурі, а саме поєднання пшеничного борошна з конопляним протеїном. Для визначення раціональної кількості конопляного протеїну в заварних пряниках було замінено 3,0 %, 6,0 % та 9,0 % пшеничного борошна на протеїн конопель. За результатами органолептичної оцінки напівфабрикату тіста та готових виробів раціональним вмістом конопляного протеїну у рецептурі пряників обрано зразок 2 із заміною 6,0 % пшеничного борошна на конопляний протеїн. Структура тіста для пряників характеризувалася як зв'язана, тісто не розсипалося при розломі та мало високі органолептичні показники, добре зберігало свою форму з випуклою поверхнею, мало рівномірну пористість та в процесі термічної обробки, не підгорало. Зразок 3 із заміною 9,0 % пшеничного борошна мав темне забарвлення з зеленим відтінком, тісто було тверде та кришилося при розломі, готові вироби мали дрібну та погано розвинену пористість. Зразок 1 із заміною 3,0 % пшеничного



борошна на конопляний протеїн мав привабливий вигляд, структура тіста зв'язана, вироби добре зберігали свою форму, пористість готових виробів рівномірна та добре розвинена. Однак враховуючи завдання, поставлені у роботі, по підвищенню харчової та біологічної цінності готових виробів, для подальших досліджень було обрано зразок 2 із заміною пшеничного борошна на конопляний протеїн у кількості 6,0%. Результати сенсорної оцінки органолептичних показників пряників з використанням конопляного протеїну представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Сенсорна оцінка органолептичних показників пряників з використанням конопляного протеїну

Показники якості	Пряники з додаванням конопляного протеїну		
	Зразок 1 3,0 %	Зразок 2 6,0 %	Зразок 3 9,0 %
Зовнішній вигляд	5	5	4
Консистенція	5	5	4
Колір	4	4	4
Запах	5	5	4
Смак	5	5	4

Отже, зразок 2 має високі органолептичні показники, м'яку та пористу консистенцію, приємні смакові та ароматичні властивості. З урахуванням того, що конопляний протеїн має темно-зелене забарвлення, то заварні пряники мають колір від кремового до темно-коричневого та не погіршують зовнішнього вигляду при внесенні при внесенні в їх рецептуру конопляного протеїну не більше 6,0%. Крім того, додавання конопляного протеїну дозволяє підвищити харчову цінність виробів, визначення якої проводили для нових виробів (пряники з конопляним протеїном) в порівнянні з виробом аналогом (заварні пряники). Визначення *харчової цінності виробів проводили з метою перевірки їх відповідності потребам організму людини в харчових речовинах.*

Розрахунок харчової та енергетичної цінності пряників з конопляним протеїном представлено у таблиці 2.

За результатами проведених розрахунків спостерігаємо збільшення кількості білку на 1,25 г у пряниках з конопляним протеїном, зменшення кількості вуглеводів та незначне збільшення калорійності. Крім основних нутрієнтів змінюється також вміст мікронутрієнтів та біологічно-активних речовин. Результати визначення вмісту вітамінів та мінеральних речовин в складі досліджуваного продукту та аналога представлено в таблиці 3.



Таблиця 2

Харчова цінність заварних пряників з використанням конопляного протеїну в порівнянні з аналогом

Найменування	Заварні пряники	Заварні пряники з використанням конопляного протеїну
Білки, г	6,05	7,3
Жири, г	3,25	3,53
Вуглеводи, г	72,85	71,44
Енергетична цінність, ккал	345,1	358,35

Таблиця 3

Порівняльна характеристика вмісту вітамінів та мінеральних речовин в складі пряників з використанням продуктів переробки конопель та аналога

Найменування	Заварні пряники	Заварні пряники з використанням конопляного протеїну
	На 100г	На 100г
Зола,г	0,58	0,5665
В ₁ , мг	0,2	0,38
В ₂ , мг	0,07	0,09
Макроелементи, мг, в т.ч.		
Калій, мг	78,12	78,66
Кальцій, мг	22,23	64,29
Магній, мг	9,73	28,745
Натрій, мг	148,74	151,95
Фосфор, мг	56,8	96,8
Мікроелементи, в т.ч.		
Залізо, мг	0,93	1,435
Мідь, мкг	63,65	60,65
Фтор, мкг	48,55	47,895

За даними таблиці видно, що в новому продукті в порівнянні з аналогом збільшується кількість вітамінів групи В, також зростає кількість мінеральних речовин, таких, як кальцій, магній, натрій, залізо.

Технічний результат розробки полягає у тому, що додавання конопляного протеїну у склад заварних пряників дозволяє розширити асортимент кондитерських виробів борошняної групи, отримати продукт з гарними органолептичними властивостями, підвищити



харчову та енергетичну цінність готових виробів, надати їм функціональних властивостей за рахунок вмісту в ньому біологічно-активних речовин.

Висновки. Використання продуктів переробки конопель у виробництві харчових продуктів є перспективним напрямом, так як ця сировина багата на поживні речовини, характеризується біологічно активними властивостями і має високі показники якості. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки нових рецептур і технологій виробів з використанням продуктів переробки конопель, що мають високу харчову та біологічну цінність. Нові харчові вироби з додаванням продуктів переробки конопель в порівнянні із традиційними володіють більш високою біологічною та харчовою цінністю за рахунок значного вмісту в них незамінних амінокислот, жирних кислот, вітамінів, клітковини, мінералів, тому розширення їх асортименту є актуальним та доцільним.

Список використаних джерел

1. Sova N., Lutsenko M., Korchmaryova A., Andrushevych K. Research of physical and chemical parameters of oil obtained from organic and conversion hemp seeds varieties "Hliana". *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol. 7 (2). P. 244–252.

2. Фалендиш Н. О., Янюк Т. І., Бадрук Ю. В. Використання продуктів переробки конопляного насіння в хлібопеченні. *Хранение и переработка зерна*. 2016. №12. С. 55–57.

3. Галенко О. О., Шаповалов В. Ю. Дослідження функціонально-технологічних властивостей нетрадиційної сировини для м'ясопродуктів. *II Міжнародна науково-практична мультидисциплінарна конференція*, Київ: НУХТ, 2022, С. 42–43.

4. Semwogerere F., Chenaimoyo L. F., Chikwanha O., Marufu M., Mariye C. Bioavailability and bioefficacy of hemp by-products in ruminant meat production and preservation: A review. *Frontiers* 2020, 7, 572906. [CrossRef]

5. Інноваційні методи досліджень: навчальний посібник з дисципліни «Науково-дослідна робота» для студентів 4 курсу освітнього ступеня «Бакалавр» напряму підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія», 5 та 6 курсу освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 181 «Харчові технології» денної та заочної форм навчання. Укл: Бідюк Д. О., Перцевой Ф. В., Мельник О. Ю., Шильман Л. З., Суми. Сумський національний аграрний університет, 2019 рік, 72 с.

6. Марченко Ж. Ю. Напрями використання коноплепродукції у світі. *Луб'яні та технічні культури*. 2015. Вип. 4. С. 159–165.

7. Ляліна Н. П. Світовий та вітчизняний досвід використання



конопель для виготовлення товарів широкого вжитку. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2014. №2. С. 86–90.

8. Hiroyuki Yano, Wei Fu Hemp: A Sustainable Plant with High Industrial Value in Food Processing. *Foods* 2023, 12(3), 651; <https://doi.org/10.3390/foods12030651>

9. Tedeschi A., Cerrato D., Menenti M. Is the potential for multi-functional use of industrial hemp greater than maize under saline conditions? *Sustainability* 2022, 14, 15646.

10. Мазаракі А. А. Технологія харчових продуктів функціонального призначення. Київ: КНТЕУ. 2012. 1116 с.

11. Crini G., Lichtfouse E., Chanet G., Morin-Crini N. Traditional and new applications of hemp. *Sustain. Agri. Rev.* 2020, 42, 37–87.

12. Субота В. В. Неповноцінне харчування та його наслідки. *Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції, Черкаси, ЧДТУ, 2022*. С. 35.

13. Стан та перспективи розвитку концепції розвитку здорового харчування в Україні. URL: [http://ekhsuir.kspu.edu/bitstream/handle/123456789/1398/38%20\(1\).pdf;jsessionid=25BVE287C8D4C6DB87FFF4D28319D503?sequence=1](http://ekhsuir.kspu.edu/bitstream/handle/123456789/1398/38%20(1).pdf;jsessionid=25BVE287C8D4C6DB87FFF4D28319D503?sequence=1) (дата звернення: 11.11.22).

14. Нові технології оздоровчих харчових продуктів. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/949/3/1839.pdf> (дата звернення: 12.11.22).

15. Ahmed A.T.M.F., Islam M. Z., Mahmud M. S., Sarker M. E., Islam M. R. Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: A review. *Heliyon* 2022, 8, e08753.

16. Burton R. A., Andres M., Cole M., Cowley J. M., Augustin M. A. Industrial hemp seed: From the field to value-added food ingredients. *J. Cannabis Res.* 2022, 4, 45.

17. Farinon B., Molinari R., Costantini L., Merendino N. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients* 2020, 12, 1935.

18. Feng Y., Yu D., Lin T., Jin Q., Wu J., Chen C., Huang H. Complexing hemp seed protein with pectin for improved emulsion stability. *J. Food Sci.* 2021, 86, 3137–3147.

Стаття надійшла до редакції 19.04.2023 р.



A. Varenyk, F. Pertsevoi
Sumy National Agrarian University

THE USAGE OF CANNABIS PROCESSING PRODUCTS IN PRODUCTION OF FOOD PRODUCTS IN CONFECTIONERY FLOUR PRODUCTS

Summary

The article is devoted to determining the practical feasibility of using hemp processing products in the production of confectionery. Information on the cultivation and use of hemp in Ukraine is presented, the chemical composition of hemp processing products as a raw material used in the production of food products is analyzed, the possibility of using the products of their processing, namely hemp protein in gingerbread technology, is substantiated. The possibility of using hemp protein in the technology of flour confectionery was studied. It was determined that replacing wheat flour with hemp protein in the amount of 3.0; 6.0 and 9.0% leads to a change in the organoleptic parameters of the semi-finished dough and the finished product. The expediency of replacing 6.0% of wheat flour with hemp protein in the gingerbread recipe is theoretically and experimentally substantiated, since hemp protein is a source of complete protein, contains highly digestible proteins, is rich in valuable fatty acids, has a high content of vitamins, trace elements and has a high content fibers.

An organoleptic evaluation of the quality of custard gingerbread with hemp protein was carried out and their physico-chemical quality indicators were determined, the nutritional and biological value of gingerbread was calculated. Prospects for the use of hemp protein in the production of gingerbread to provide them with functional properties have been established. According to the calculations, it was found that in the new product compared to the analogue, the amount of B vitamins increases, and the amount of minerals, such as calcium, magnesium, sodium, iron, also increases. Therefore, the introduction of hemp protein into the recipe of gingerbread makes it possible to expand the range of confectionery products of the flour group, to obtain a product with good organoleptic properties, to increase the nutritional and energy value of finished products due to the content of biologically active substances in it.

Key words: hemp processing products, hemp protein, flour confectionery, custard gingerbread, organoleptic indicators, functional properties, biological value.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-28

УДК 641.55/56:635.6

О. В. Дзюндзя, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1996-7065

О. А. Погрібняк

ORCID: 0009-0009-5544-1157

Херсонський державний аграрно-економічний університет

e-mail: Dzokvaok@gmail.com, тел.: 050-667-38-30

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАРБУЗА У СТРАВАХ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Анотація. Покращення якості харчування людей є пріоритетним при розробці нових страв в меню закладів ресторанного господарства. Особливо гостро торкнулось це питання щодо недостатньо широкого використання у стравах гарбуза, як сировини, багатой на вітаміни та мікроелементи.

Метою статті є створення нової рецептури салату з використанням гарбуза, на основі аналізу сорту, хімічного та біологічного складу даного овоча, як джерела важливих поживних речовин.

Об'єктом дослідження обрано технологію приготування «Теплого салату з гарбузом, бринзою та грейпфрутом».

Предмет дослідження: гарбуз сорт «Столовий зимовий великоплідний», «Теплий салат з гарбузом, бринзою та грейпфрутом».

В результаті кулінарних проробок та дегустації дослідних зразків розроблено рецептуру салату з найкращими показниками смаку.

Ключові слова: страви, технологія, сорт, гарбуз, властивості, харчова цінність.

Постановка проблеми. Покращення якості харчування людей завжди є пріоритетним при розробці нових страв в меню закладів ресторанного господарства. Особливо гостро торкнулось це питання використання у стравах гарбуза, як сировини, багатой на вітаміни і мікроелементи, та такої, що володіє високими смаковими якостями [1, 2, 3].

Якість готової страви завжди цікавила розробників нововведень в меню ресторанів і кафе, адже, щоб бути популярним закладом, необхідно враховувати сучасні тенденції та тренди [4]. Нові вимоги обумовлюють дослідження поєднання гарбуза з іншою сировиною та компонентами. Однак, питання стоїть і у пошуку найбільш корисних для людини способів приготування гарбуза. Перспективним та важливим є дослідження зразків з урахуванням способів теплової



обробки.

Сучасний споживач потребує урізноманітнення позицій страв, вимагає підвищення їх поживності та смакових якостей, тому всі рекомендовані зразки мають бути особливо ретельно проаналізовані щодо цих показників. Можливим підходом до вирішення даної проблеми є збільшення споживання гарбуза. Цей овоч багатий на вітаміни та інші біологічно активні речовини. Окрім того, має приємний смак і зручну для теплових обробок консистенцію [5].

Враховуючи складну політичну, екологічну та соціально-економічну ситуацію в державі, умови життя в Україні, стан забезпечення раціону середньостатистичного українця нутрієнтами - доречно оновлювати рецептури традиційних страв, шляхом використання сезонної сировини з профілактичною та лікувальною метою. В даному дослідженні наведено можливий напрямок з вирішення проблеми, яка на даний час є недостатньо вивченою та потребує подальших пошуків [6].

Стан здоров'я людини залежить безпосередньо від якості їжі, яку вона вживає, адже під час прийому їжі ми замислюємося про те, що це наповнить нас енергією і подарує гарний настрій. Усі продукти, які вживаються в їжу, складаються з енергетичних та нутрієнтних складових. Тому постає необхідність у забезпеченні споживачів широким асортиментом страв із збалансованим хімічним складом, наприклад, з додаванням гарбуза.

Аналіз останніх досліджень. Питання дослідження харчової та біологічної цінності страв із гарбуза постійно цікавить вітчизняних та закордонних науковців. Теоретичні і практичні основи використання гарбуза в приготуванні страв висвітлювались у роботах таких науковців, як: Іваніщева О. А., Федорчук В. Г., Антоненко А. В. İzli, G., Ji, X., Kaur, S., Притульська Н. В., Слащева, А. В. [2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Варто відзначити, що більшість робіт направлена на дослідження порошоків з гарбуза і його насіння, перших страв з нього і розробку на їх основі продуктів харчування, однак досліджень використання свіжих плодів гарбуза, як складової страв високої кухні, майже не зустрічається.

Формулювання мети статті. Метою статті є вивчення складу та аналіз гарбуза, розробка нових технологій страв з додаванням овоча, як джерела важливих дефіцитних нутрієнтів. Метою статті є вивчення складу та аналіз гарбуза та розробка інноваційних технологій страв з додаванням його до рецептури, як джерела важливих дефіцитних нутрієнтів.

Основна частина. Людський організм щоденно стикається з цілою низкою несприятливих факторів – забруднене середовище, гіподинамія, відсутність у більшості продуктів харчування важливих



речовин. Для повноцінної та злагодженої роботи всього організму людини, необхідно включати до свого раціону продукти, що багаті мінеральними речовинами, вітамінами та іншими корисними речовинами.

Серед низки стратегічних сільськогосподарських рослин певне місце займає гарбуз. Вирощування гарбузів широко розповсюджене в Україні завдяки своїй невибагливості до обробки ґрунту та значній кормовій і харчовій важливості. Більше того, Україна займає 2-ге місце в рейтингу найбільших виробників продукції родини гарбузових, поступаючись лише Китаю (дані FAO, 2019 рік) [13, 14].

Вивчаючи хімічний склад гарбуза, та вплив його на організм людини, доведено, що вживання овоча позитивно впливає на обмінні процеси в організмі, покращує систему травлення, кровотворну та нервову системи, тощо. Важливо, що вживання страв з нього сприяє уповільненню процесів старіння, дбає про красу шкіри та. Через вміст вітаміну Т гарбуз нормалізує процеси метаболізму. А не так давно вчені виявили у гарбузі речовину, яка здатна знизити зростання туберкульозної палички і як наслідок, зменшити ризик захворювання на туберкульоз. Доведено, що харчова цінність овоча зберігається навіть при впливі на нього високих температур, і у вареному або печеному вигляді швидко засвоюється організмом [15, 16, 17].

Плоди гарбуза – цінний харчовий і дієтичний продукт харчування, джерело біологічно активних речовин. Вони містять корисні для людського організму білки, які досить добре засвоюються, пектин, вуглеводи, крохмаль, органічні кислоти, жири, вітаміни, мінеральні солі та інші речовини. Є окрема група столових сортів, у м'якуші яких кількість сухої речовини складає до 20%, цукрів – понад 15%, каротину – понад 20–25 мг %. Хімічний склад плодів гарбуза значною мірою залежить від різних технологічних прийомів вирощування, виду і сорту, ґрунтово кліматичних умов та інших факторів. У харчовій промисловості гарбуз знайшов своє використання при приготуванні перших, других страв, різних напоїв, солодких страв та десертів [7, 18, 19].

Однак, використання такого цінного овоча в приготуванні салатів зафіксовано не було.

Отже, перед нами стоїть завдання вирішити проблему популяризації саме салатів з гарбуза, винайти таку рецептуру, яка може стати «візитною карткою» закладів ресторанного господарства.

Спершу розглянемо енергетичну та біологічну цінність гарбуза (табл.1, табл.2).

Відповідно до даних таблиці 1 бачимо, що гарбуз свіжий некалорійна сировина.



Таблиця 1

Енергетична цінність «Гарбуз столовий зимовий великоплідний»,
(врожай 2022 року), 100г

Найменування показника	Гарбуз м'якоть
Білки, %	0,71 ±0,01
Жири, %	0,08 ±0,005
Вуглеводи, %	4,80±0,01
Енергетична цінність, ккал	22,73

Таблиця 2

Біологічна цінність «Гарбуз столовий зимовий великоплідний»
(врожай 2022 року)

Найменування показника	Гарбуз м'якоть	Вплив на організм
1	2	3
Вітамінний склад		
В9, мкг	14,1±0,005	Бере участь у функції кровотворення, сприяє синтезу еритроцитів, активізує процеси росту і розвитку
Е, мг	0,4±0,002	Забезпечує нормальну структуру та функціонування оболонок клітин; запобігає утворенню тромбів і зміцнює стінки судин, згортання крові, знижує кров'яний тиск.
РР, мг	0,7±0,003	Бере участь у виробництві білків, виробленню енергії і метаболізмі.
В6, мг	0,12±0,04	Бере участь в обміні білка і окремих амінокислот, також жировому обміні, кровотворенні, кислотоутворюючої функції шлунка.
β-каротин, мкг	1500±0,010	Зменшує негативну дію на організм вільних радикалів, стимулює захисні функції організму.
Мінеральний склад		
Калій, мг	203±0,010	Забезпечує обмінні процеси в клітинах і м'язові скорочення; підтримує водний і кислотно-лужний баланс.



Продовження таблиці 2

1	2	3
Кремній, мг	30±0,009	Допомагає у формуванні кісткової і хрящової тканини, шкіри, волосся, нігтів; нормалізує роботу серця і судин; стимулює роботу нервової системи; регулює обмін речовин.
Магній, мг	14±0,005	Сприяє повноцінному виробленню енергії, засвоєнню глюкози, синтезу білків, передачі нервового сигналу, побудові кісткової тканини.
Мідь, мг	18±0,006	Підтримує функціонування нервової системи і суглобів.
Фтор, мг	85 ±0,002	Стимулює кровотворну систему та імунітет, бере участь у розвитку скелета, стимулює репаративні процеси при переломах кісток. Попереджає розвиток сенільного остеопорозу.
Фосфор, мг	25±0,009	Бере участь у побудові тканин організму; в організмі людини вміст фосфору складає близько 650 м Фосфор міститься у великому спектрі органічних і неорганічних речовин, що відображає і відмінність біохімічної активності його сполук
Кальцій, мг	20±0,008	Формує та укріплює кісткову тканину.

Відповідно, до даних таблиці 1 і таблиці 2 бачимо, що окрім низької калорійності, гарбуз є джерелом життєво необхідних нутрієнтів, які позитивно впливають на організм людини. Враховуючи високу біологічну цінність овоча, закладам ресторанного господарства варто проаналізувати сезонні меню та розширити їх асортимент додаванням страв з гарбуза.

Всі сучасні заклади ресторанного господарства об'єднані одною метою збільшення кількості споживачів. Для цього пропонується регулярно оновлювати меню з урахуванням тенденцій здорового харчування, які направлені на використання у стравах незвичних та цікавих у поєднанні інгредієнтів. Аналізуючи асортимент ресторанних страв виявлено, що салати займають вагомую частку. Зважаючи на це було обрано дослідження приготування теплого салату з додаванням гарбуза [4].

Головні компоненти даного салату - це сир бринза і грейпфрут, які безперечно мають окремі поживні властивості. Перед тим, як



визначитись, чи насправді буде доречним та корисним поєднання гарбуза з цими компонентами, проведемо аналіз бринзи та грейпфрута.

Бринза - це сир, що виготовляється з коров'ячого молока. Також його роблять із козиного, овечого, буйволиного молока, а іноді із суміші цих видів молока. Доведено, що бринза сприятливо впливає на травлення, добре зміцнює кістки та зуби, а також позитивно впливає на ріст волосся та бархатистість шкіри. Цей продукт здатний поповнити запаси організму тваринним білком, який є необхідним для нормальної роботи всього організму. Цей сир рекомендований абсолютно всім, а особливо вагітним і жінкам, що годують, а також дітям. Щодо вітамінів та мінеральних речовин, то бринза містить калій, який дуже легко засвоюється. Для забезпечення організму добовою нормою кальцію достатньо з'їсти всього 100 грамів продукту.

Проаналізувавши різні сорти гарбуза встановлено, що найкращим для приготування страв є сорт «Гарбуз столовий зимовий великоплідний». Стиглий зібраний плід дуже добре переносить транспортування і зберігання до наступного врожаю. Цей фактор забезпечує використання його в приготуванні страв цілий рік. Окрім того, м'якоть даного сорту гарбуза має красивий жовтогарячий колір, щільну консистенцію і досить солодкий на смак.[19].

При тепловій обробці гарбуз повинен бути доведеним до повної готовності і зберігати форму нарізання. Так, як м'якоть гарбуза добре витримує вплив високих температур, ми обрали спосіб термічної обробки нарізаного кубиками гарбуза - припускання, з подальшою карамелізацією [20]. Саме така кулінарна обробка дозволить зберегти нутрієнтний склад, форму нарізання та надасть страві вишуканого смаку [4, 9, 12].

Відповідно до мети, важливим є встановлення оптимального співвідношення рецептурних компонентів при створенні нової технології. З цією ціллю нами було створено різні композиції та дослідним шляхом обрано ідеальне поєднання.

Було створено серію дослідних зразків, однак, розглянемо три найбільш важливі. В дослідному зразку № 1 - 45% бринзи і 45% грейпфруту замінено на гарбуз, додавши можливий максимум досліджуваного продукту. В дослідному зразку № 2 - 15% бринзи і 15% грейпфруту замінено на гарбуз, додавши можливий мінімум досліджуваного продукту. В дослідному зразку № 3 - 15% бринзи і 15% грейпфруту замінено на гарбуз, використавши однакову кількість основних компонентів (табл.3).



Таблиця 3

Співвідношення інгредієнтів салату

Назва сировини	Кількість сировини							
	Контроль		Дослід 1		Дослід 2		Дослід 3	
	Брутто, г	Нетто, г	Брутто, г	Нетто, г	Брутто, г	Нетто, г	Брутто, г	Нетто, г
Сир бринза	100	100	55	55	85	85	100	70
Гарбуз	-	-	160	100	75	40	137	70
Грейпфрут	130	100	78	55	125	85	100	70
Мікс салату	63	50	63	50	63	50	63	50
Яйця	1\2 шт.	20	1\2 шт.	20	1\2 шт.	20	1\2 шт.	20
Білий хліб	60	20	60	20	60	20	60	20
Вершкове масло	15	15	15	15	15	15	15	15
Соняшников а олія	65	65	65	65	65	65	65	65
Цукор	25	25	25	25	25	25	25	25
Борошно	16	16	16	16	16	16	16	16
Яблучний оцет	5	5	5	5	5	5	5	5
Лимонний сік	3	3	3	3	3	3	3	3
Американська гірчиця	5	5	5	5	5	5	5	5
Сіль	2	2	2	2	2	2	2	2
Перець	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Мускатний горіх	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Імбир мелений	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Кориця мелена	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Льон	1	1	1	1	1	1	1	1
Кунжут	1	1	1	1	1	1	1	1
Вихід	-	300	-	300	-	300	-	300

В результаті кулінарних проробок та дегустації дослідних зразків встановлено, що найсмачнішим і збалансованим за смаком був дослідний зразок № 3.



У підсумку, зменшивши лише вагу основних компонентів: грейпфруту та бринзи, додаючи гарбуз такої ж ваги, ми зберегли цілісність смаку.

Щодо технології приготування салату, наведемо технологічну схему виробничих дій (рис.1).

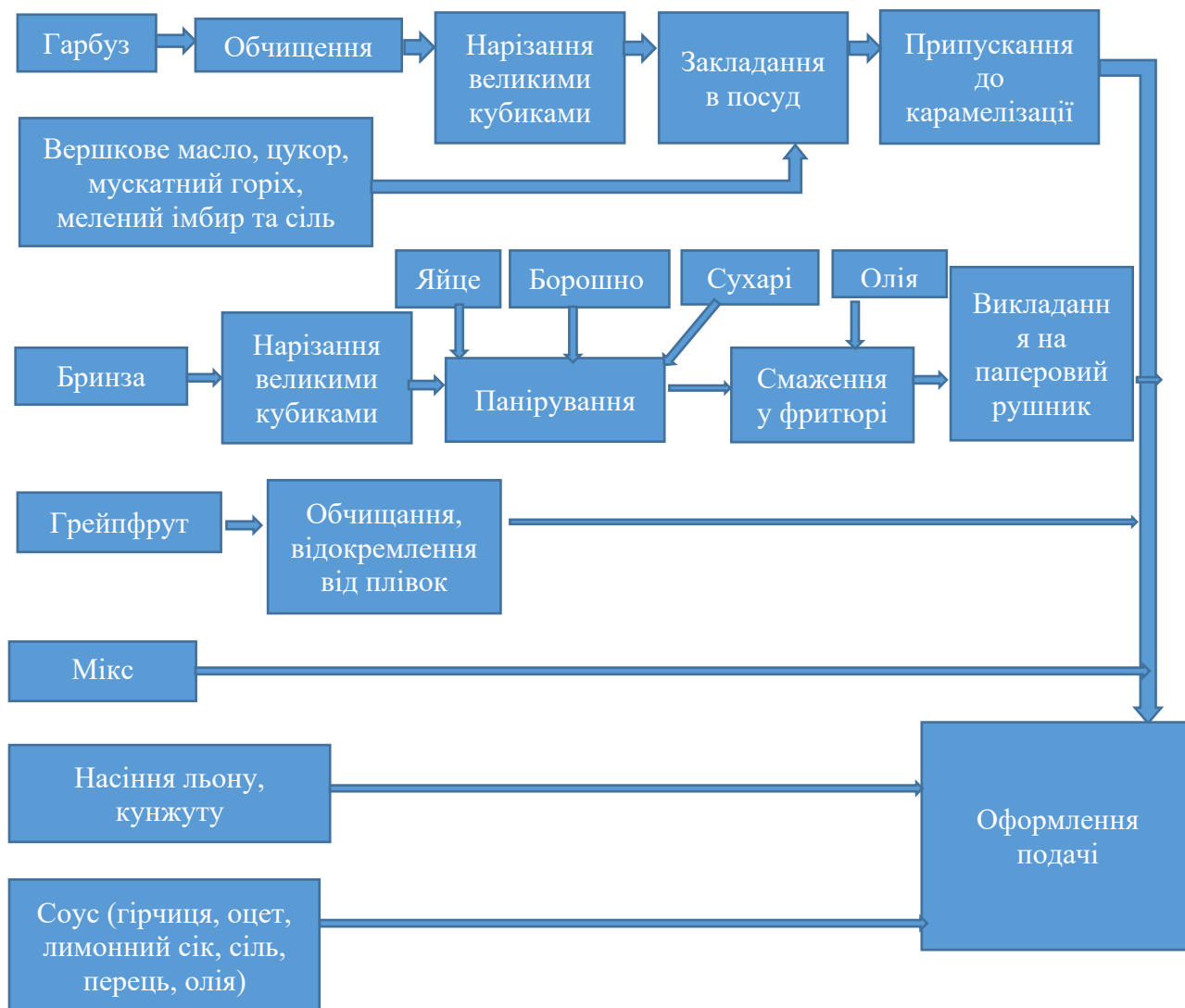


Рисунок 1. Технологічна схема приготування салату

Зовнішній вигляд салату наведено на рисунку 3:

В результаті проведеної роботи нами запропоновано наступні вимоги до оформлення та якості салату.

- Зовнішній вигляд – збережена форма нарізання інгредієнтів.
- Смак - в міру солоний, солодко-кислий, легкий вершковомолочний присмак, відповідає продуктам, що входять до складу салату.
- Запах – свіжої зелені, смаженого сиру, карамелі, цитрусових та використаних спецій.

Правила відпуску теплового салату рекомендовано наступні (рис.2):

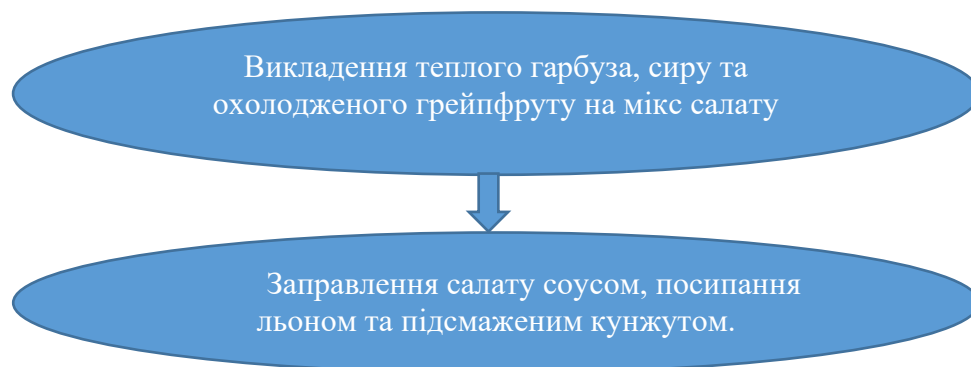


Рисунок 2. Правила відпускання салату



Рисунок 3. Спосіб оформлення «Теплого салату з гарбузом, бринзою та грейпфрутом»

Важливо, що цей салат подається теплим, щойно приготованим. За бажанням, перед подачею можна надати страві легкого аромату диму, використавши коптільний пістолет, заправлений сушеною цедрою грейпфрута.

Висновок. В результаті роботи досліджено та проаналізовано хімічний та біологічний склад гарбуза. Шляхом експериментальних кулінарних проробок та дегустації зразків досліджено і створено рецептуру з високими смаковими показниками - «Теплий салат з гарбузом, бринзою та грейпфрутом». Доведено, що введення досліджуваного інгредієнта до страви надасть високих смакових якостей салату та забезпечить організм людини необхідним об'ємом життєво важливих, корисних для здоров'я нутрієнтами.

Для приготування страви рекомендовано обирати гарбуз сорту «Столовий зимовий великоплідний».

Отже, ми пропонуємо включати страву з назвою «Теплий салат з гарбузом, бринзою та грейпфрутом» в основне меню, і впевнені, що



дана страва зможе стати візитною карткою будь-якого закладу харчування.

Перспективами подальших досліджень є вивчення хімічного складу нового салату та робота над пошуком продуктів, які позитивно впливатимуть на підвищення імунітету людини.

Список використаних джерел.

1. Антонюк І. Ю. Технологія булочок для бургерів покращеної харчової цінності. Матеріали II міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, «Інноваційний розвиток готельно-ресторанного господарства та харчових виробництв». 2021.

2. İzli G., Yildiz G., Berk S. E. Quality retention in pumpkin powder dried by combined microwave-convective drying. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, Vol. 59(4), P. 1558–1569. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05167-5>.

3. Ji, X., Peng, B., Ding, H., Cui, B., Nie, H., Yan, Y. Purification, structure and biological activity of pumpkin polysaccharides: a review. *Food Reviews International*, 2021, Vol.1(13), P. 307–319. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1904973>.

4. Інноваційні технології овочевих страв в закладах ресторанного господарства. URL: http://tourlib.net/statti_ukr/petryshyn2.htm (дата звернення: 23.03.2019).

5. Ramachandran P., Dhiman A. K., Attri S., Vikram A., Rai S., Sangeeta S. Comparative study on physical characteristics and nutritional composition of pumpkin (*Cucurbita moschata*) at different stages of maturity. *Indian Journal of Traditional Knowledge*. 2022. Vol 21(4), Pp. 856-864 <https://doi.org/10.56042/ijtk.v21i4.32425>.

6. Jere A. D., Mwangwela A. M., Mlotha V., Phan U. T. X., Adhikari K. Acceptability of traditional cooked pumpkin leaves seasoned with peanut flour processed from blanched, deskinning and raw peanuts of different varieties. *Scientific African*, 2020, Vol.10, e00598. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00598>

7. Іваніщева О. А. Дослідження шляхів оптимізації нутрієнтного складу страв з гарбуза, *Молодий вчений*. 2019. Вип.4 (2). С. 192–195.

8. Федорчук В. Г., Урожайність гарбуза столового залежно від сортового складу в умовах ННПЦ МНАУ. *Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць*. Херсон, 2020. Вип. 73. с. 120–123.

9. Антоненко А. В. Технологія борошняних страв на основі нетрадиційної сировини. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2019, Том 30 (69), Ч. 2, № 4, С.77–82

10. Kaur S., Panghal A., Garg M. K., Mann S., Khatkar S. K., Sharma P., Chhikara N. "Functional and nutraceutical properties of pumpkin – a review", *Nutrition & Food Science*, 2020, Vol. 50 (2), Pp. 384–401.



<https://doi.org/10.1108/NFS-05-2019-0143>.

11. Притульська Н. В., Антюшко Д. П., Мотузка Ю. М., Органічні харчові продукти: реалії та перспективи виробництва і споживання, *Товарознавчий вісник*, 2022. Вип. 15. С. 129–137.

12. Слащева А. В., Попова С. Ю., Пусікова О. А., Боднарук О. А. Технологія рослинного напівфабрикату для солодких страв для функціонального харчування школярів. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 2019. Вип. 39 (2), С. 12–19.

13. Україна збільшила обсяги виробництва гарбузів, 2021, *AgroNews – Agrigator аграрних новин* (agri-gator.com.ua).

14. Dotto Joachim M., Chacha James S. The potential of pumpkin seeds as a functional food ingredient: A review. *Scientific African*, 2020, Vol.10: e00575. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00575>.

15. Ghosh, P., Rana, S. S. Physicochemical, nutritional, bioactive compounds and fatty acid profiling of Pumpkin flower (*Cucurbita maxima*), as a potential functional food. *SN Applied Sciences*, 2021, Vol.3, Pp. 1–14.

16. Czerwinska D. Piżmowa królowa jesieni. *Przegląd Gastronomiczny*, 2019, Vol.73(10). P. 10–13

17. Wawrzyniak, N., Gramza-Michałowska, A., Pruszyńska-Oszmałek, E., Sassek, M., Suliburska, J. Effects of Calcium Lactate-Enriched Pumpkin on Calcium Status in Ovariectomized Rats. *Foods*, 2022, Vol.11(14), Pp. 2084. <https://doi.org/10.3390/foods11142084>

18. Kothari U., Sharma A. Effect of processing on nutritional composition of pumpkin and development of a value added product, *International Journal of Home Science* 2020, Vol. 6(2), Pp. 448–451

19. Найкращий сорт гарбуза для переробки та зберігання. URL: <https://www.pro-of.com.ua/najkrashhij-sortiment-garbuza-dlya-pererobki-izberigannya/>, дата звернення 02.02.2022.

20. Balaswamy K., Prabhakara Rao P. G., Sulochanamma G., Nagender A., Sathiya Mala K. Stability of β -Carotene in Pumpkin Flour Fortified Vermicelli. *The Indian Journal of Nutrition and Dietetics*, 2022, Vol. 59(3), Pp. 310–322. <https://doi.org/10.21048/IJND.2022.59.3.28959>

Стаття надійшла до редакції 19.04.2023 р.

O. Dzyundzya, O. Pogribnyak,
Kherson State Agrarian and Economic University

PROSPECTS FOR USING PUMPKIN IN DISHES FOR RESTAURANTS

Summary

Improving the quality of people's nutrition is always a priority when developing new dishes on the menu of restaurants. The question of using pumpkin in dishes, as a raw material rich in vitamins and microelements, was particularly acute. The purpose of the



article is to study the chemical composition and analysis of pumpkin with further development of salad technology using pumpkin as a source of important nutrients. The technology of "Warm salad with pumpkin, cheese and grapefruit" was chosen as the research object. The subject of the study: pumpkin variety "Table winter large-fruited", "Warm salad with pumpkin, cheese and grapefruit". As a result of culinary experiments and tasting of experimental samples, a salad recipe with the best taste indicators was established. The article is devoted to the issue of pumpkin research and its use in the preparation of salads. This direction was a priority when studying the qualitative characteristics of pumpkin varieties and their nutritional composition. Many domestic scientists were interested in this topic, but only pumpkin seeds, powders, and first dishes were considered for the creation of most new recipes. It is known from international experience that salads are in demand in food establishments, and the study of the topic of using pumpkin in salads was not covered at all. Therefore, in order to increase the number of visitors in restaurants, it is necessary to create a new salad recipe, using the optimal ratio of the constituent ingredients. In general, the use of pumpkin has a positive effect on the human body and maintains a stable consumption trend in Ukraine and abroad. On the basis of studied sources, it was determined that pumpkin has a positive effect on metabolism and the nervous system, which confirms the need to eat it. The main common varieties of pumpkin, their nutritional value, were analyzed, and the one most suitable for preparing a warm salad was determined. As a result of theoretical studies, a generalized table is provided for the comparison of experimental samples and the best option is determined.

Key words: dishes, technology, variety, pumpkin, properties, nutritional value.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-29

УДК [577.1+637.04+636.5+633.13]:664.8.037.53

Д. О. Майборода

ORCID: 0000-0003-4649-992X

О. О. Данченко¹, д. с-г. н., проф.

ORCID: 0000-0001-5049-3446

Л. М. Здоровцева¹, к.б.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8682-9546

М. М. Данченко¹, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7555-6511

Ю. В. Ніколаєва²

ORCID: 0000-0001-5037-6450

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

²Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

e-mail: danchenko_o@tsatu.edu.ua, тел.: 096-885-94-17

РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ М'ЯСА ГУСЕЙ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ СПОЛУКАМИ ВІВСА ПОСІВНОГО

Анотація. Результатами проведених досліджень доведено, що додавання екстракту вівса до раціону гусей сприяє гальмуванню процесів окисного псування гусячого м'яса під час низькотемпературного зберігання. Під впливом екстракту вівса збільшується вихідний вміст вітаміну Е (на 38,7%) і β-каротину (на 29,5 %) у м'ясі гусей. Надалі при зберігання різниця цих показників м'яса контрольної і дослідної груп зменшується, але залишається достовірною. Основні зміни жирнокислотного складу м'яса дослідної групи відбувались у напрямку підвищення вмісту олеїнової кислоти. Отже, додавання екстракту вівса до раціону гусей сприяє отриманню якісної екологічно чистої м'ясної сировини з більш тривалим терміном зберігання.

Ключові слова: м'ясо, низькотемпературне зберігання, окисне псування, жиророзчинні вітаміни, жирнокислотний склад.

Постановка проблеми. Для нормального функціонування людського організму необхідні повноцінні білки, тому м'ясо та м'ясні продукти відіграють важливу роль у харчуванні людини. Актуальною проблемою є забезпечення населення достатньою кількістю якісної м'ясної продукції. Застосування антиоксидантів у годівлі тварин сприяє усуненню шкідливого впливу негативних антропогенних чинників за існуючих технологій їх вирощування [1-4]. Згодовування природних антиоксидантних домішок має цілий ряд переваг перед



традиційними синтетичними вітамінами антиоксидантної групи. Вони загальнодоступні, побічні ефекти мінімальні або відсутні, позбавлені ймовірного занесення токсичних органічних шлаків, не дратують слизову оболонку шлунка, не порушують травлення, завдяки чому добре переносяться [5-8]. Саме застосування природних домішок у тваринництві є одним з перспективних шляхів підвищення кількості і якості його продукції.

Аналіз останніх досліджень. Птахівництво – одна з найбільш механізованих й автоматизованих галузей сільського господарства, її продукція найпридатніша для поліпшення якості харчування людей. Птахівництво має ряд переваг порівняно з іншими галузями тваринництва, а саме: швидкі темпи відтворення поголів'я, висока продуктивність, найменші витрати виробництва, низькі затрати людської праці, найвища конверсія корму за пристосованості птиці до промислових умов утримання. Розвиток птахівництва надасть можливість за короткий час вирішити проблему зростаючого попиту населення на високоякісні продовольчі товари тваринного походження [5-7].

Розведення гусей є перспективною та затребуваною галуззю птахівництва у всьому світі. Це пов'язано з тим, що гуси, на відміну від іншої свійської птиці, найменш вимогливі до умов вирощування та утримання. Ця птиця характеризується своєю скоростиглістю. Гусівництво забезпечує також виробництво широкого асортименту продукції харчової, парфумерної, фармацевтичної та легкої промисловості [8-9].

Останнім часом в гусівництві зростає попит на гусей породи Легарт Датський. Гуси цієї породи засвоюють корм на 20% ефективніше і, як наслідок, мають високу живу масу в ранньому забійному віці [10-11]. М'ясо цих гусей дієтичне, оскільки жир накопичується переважно у підшкірному шарі. Крім того м'ясо цих гусей містить багато вітамінів і мікроелементів [12]. Але висока чутливість гусей породи Легарт Датський до незбалансованих кормів, особливо в ранньому онтогенезі, є суттєвим недоліком [13]. Для подолання цієї проблеми при вирощуванні гусей доцільно використовувати природні антиоксиданти як біологічно активні кормові домішки.

В ряді закордонних і вітчизняних досліджень останніх років доведено суттєвий позитивний ефект вівса посівного при застосуванні його в годівлі тварин. У стані молочно-воскової стиглості трава вівса посівного характеризується досить високим умістом фенольних сполук, які захищають від серцево-судинних захворювань та позитивно впливають на функціонування антиоксидантної системи будь-якого організму [14-15]. Порівняно з іншими рослинними продуктами *Avena Sativa L.* не є найбагатшим на поліфенольні сполуки, але саме він



містить групу (близько 20 функціональних похідних цинамікової кислоти – cinnamic acid) нефлавоноїдних поліфенолів, що отримали назву авенантрамідів (avenanthramides) – ненасичених амідних сполук з поліфенольними функціями, яким притаманні унікальні прояви антиоксидантної дії. Наявність цих нітрогеновмісних фенольних сполук поки що доведено тільки у складі вівса [16-18]. Вміст авенантрамідів у вівсяних субстратах є відносно невисоким. Втім, поліфункціональний характер будови авенантрамідів зумовлює специфічну спрямованість їхньої дії [19-20]. Вони сприятливо впливають на живі організми, оскільки проявляють потужні антиоксидантні, антимікробні та протизапальні властивості [21-22]. Завдяки цим сполукам овес суттєво підвищує адаптивний статус тварин, що в кінцевому рахунку позначається покращенням якісних показників м'ясної продукції.

Метою досліджень було з'ясування впливу екстракту вівса посівного *Avena sativa* L. в раціоні гусей породи Легарт на окисне псування, вміст жиророзчинних вітамінів і жирнокислотний склад ліпідів отриманого м'яса та зміни цих показників якості м'яса під час низькотемпературного зберігання.

- проаналізувати вплив екстракту вівса в раціоні гусей на біохімічні показники якості отриманого м'яса (жиророзчинних вітамінів, жирнокислотний склад);

- провести порівняльний аналіз змін досліджених біохімічних показників у контрольному і дослідному зразках м'яса під час його низькотемпературного зберігання.

Основна частина. Методики проведення досліджень. Дослідження впливу екстракту проводились на гусях породи Легарт Датський. У 14-добовому віці сформовано контрольну та дослідну групи гусей по 26 голів. Гуси контрольної групи впродовж усього експерименту утримувались на стандартному раціоні згідно з рекомендаціями [23]. Гусям дослідної групи до стандартного раціону додавали водний екстракт вівса посівного. Для екстракції фенольних сполук використовували надземну частину вівса посівного *Avena sativa* у фазу колосіння і цвітіння. Вилучення флавоноїдів з вихідної сировини проводили водою (співвідношення води і вівса 1:10, тривалість екстракції на киплячій водяній бані – 1 год.). Забій птиці проводили у 56-добовому віці. Після забою тушки гусей контрольної і дослідної груп обробляли, заморожували і надалі зберігали при температурі -18°C відповідно до вимог впродовж 210 діб.

Вміст вітамінів А, Е і β -каротину визначали з однієї наважки м'яса спектрофотометричним методом [24]. Для визначення вмісту вітаміну А як дегідратууючий засіб використовували тетрафторборну кислоту (НВF4). Вміст вітаміну Е визначався за його здатністю до окиснення.



Для цього використовували одну з модифікацій методу Еммері-Енгля із застосуванням ферум-дипіридилового реактиву. Вміст β -каротину розраховували за інтенсивністю його власного забарвлення.

Жирнокислотний склад (ЖКС) ліпідів визначали методом газорідинної хроматографії на хроматографі італійського виробництва Carlo Erba, як носій використовували Chromosorb W/DP із фазою Silar 5CP ("Serva", Німеччина) концентрацією 10 % за температури 140-250 °C та швидкістю наростання 2 °C/хв (температура інжектора 210 °C, температура детектора 240 °C). Ліпідні екстракти для визначення жирнокислотного складу одержували за методом E. G. Bligh та W. I. Dyer із рекомендаціями F. V. Palmer [25, 26].

Статистичну обробку отриманих результатів проводили із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення SPSS v.17 та MS Office Excel-2013 з t-тестом Стьюдента.

Результати досліджень та їхнє обговорення. Вміст вторинних продуктів ліпопероксидації у м'ясі контрольного зразка впродовж перших 90 діб зберігання з певними коливаннями утримувався на сталому рівні (табл. 1). Зі 120-ої доби розпочалось достовірне збільшення цього показника порівняно з його попереднім значення, що свідчить про активізацію процесів пероксидного окиснення ліпідних компонентів м'яса. Впродовж останніх чотирьох місяців зберігання (з 90-ої до 210-ої доби) вміст ТБКАП збільшився у 4,36 рази.

Таблиця 1

Вміст продуктів ліпопероксидації у м'ясі гусей контрольного і дослідного зразків (нМоль/г, $M \pm m$, $n = 6$)

Термін зберігання, діб	Контрольний зразок	Дослідний зразок
0	34,12 \pm 1,73	28,17 \pm 1,32*
30	26,37 \pm 1,29	25,31 \pm 1,07
60	27,41 \pm 1,42	26,74 \pm 1,07
90	32,07 \pm 1,93	31,28 \pm 1,63
120	55,18 \pm 2,37	33,16 \pm 1,74**
150	79,13 \pm 3,69	45,11 \pm 2,63**
180	97,83 \pm 2,54	65,37 \pm 3,05**
210	139,82 \pm 6,27	82,19 \pm 4,07**

Примітка: тут і далі (рис., табл. 2) різниці вірогідні відносно м'яса контрольних зразків: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$

Вміст вторинних продуктів ліпопероксидації у м'ясі контрольного зразка впродовж перших 90 діб зберігання з певними коливаннями утримувався на сталому рівні. З 90-ої доби розпочалось достовірне збільшення цього показника порівняно з його попереднім значення, що



свідчить про активізацію процесів пероксидного окиснення ліпідних компонентів м'яса. Впродовж останніх чотирьох місяців зберігання (з 90-ої до 210-ої доби) вміст ТБКАП збільшився у 4,36 рази.

У м'ясі дослідного зразка вихідний вміст ТБКАП нижчий за відповідний контрольний показник на 17,4 % ($p \leq 0,05$). Втім, впродовж перших 90 діб зберігання м'яса цей показник контрольного і дослідного зразків достовірно не відрізнявся. Активізація процесів окисного псування в дослідному зразку розпочалась зі 120-ої доби з більш повільною швидкістю порівняно з контрольним зразком. До кінця досліду вміст ТБКАП у м'ясі дослідного зразка збільшився у 2,48 рази. Наприкінці досліду різниця за вмістом ТБКАП у м'ясі контрольного і дослідного зразків склала 41,2 % ($p \leq 0,01$).

Отже, додавання екстракту вівса до раціону птиці сприяло гальмуванню процесів окисного псування гусячого м'яса під час низькотемпературного зберігання.

Найвищий вміст вітаміну Е в м'ясі контрольного зразка встановлено після забою птиці. Впродовж терміну зберігання спостерігалось поступове зменшення цього показника як у м'ясі контрольного зразка: з 1-ої до 120-ої доби на 10,7 % ($p \leq 0,05$), а зі 120-ої до 210-ої на 26,5 % ($p \leq 0,05$), так і в м'ясі дослідного зразка (на 13,9 % ($p \leq 0,05$), і 30,4 % ($p \leq 0,01$) відповідно (рис.). Втрати вітаміну Е, як головного тканинного антиоксиданту, ймовірно, зумовлені активізацією процесів ПОЛ та витратами токоферолу на гальмування ліпопероксидації.

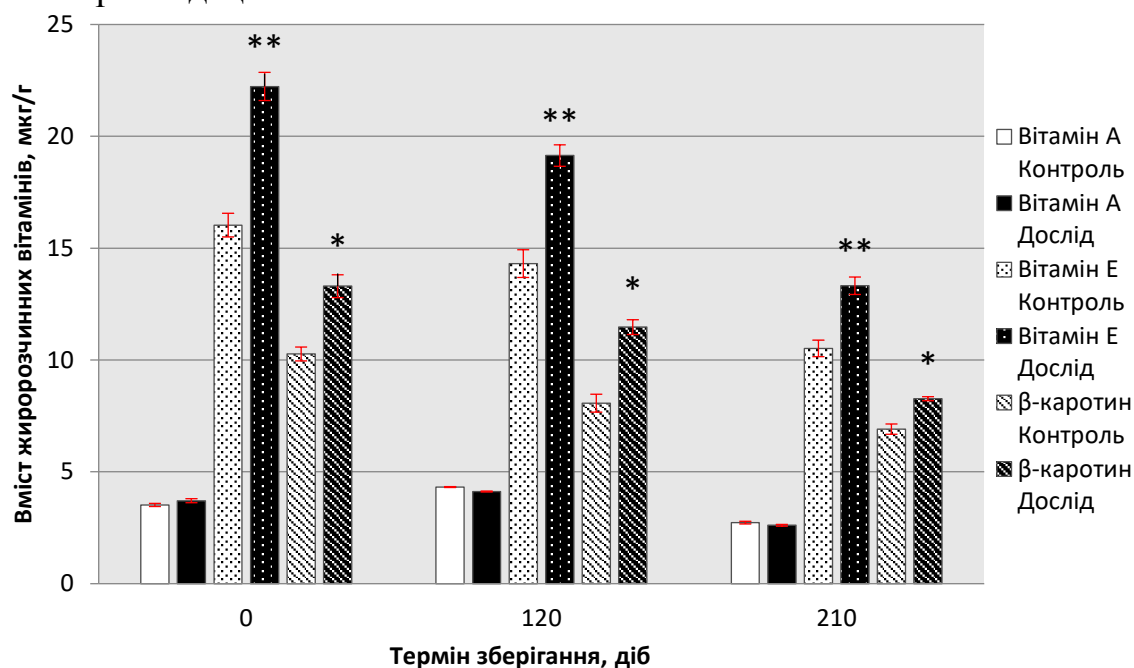


Рисунок 1. Динаміка вмісту жиророзчинних вітамінів у м'ясі гусей при зберіганні.



Подібна динаміка встановлена і для вмісту β -каротину, кількість якого із часом зменшилась у м'ясі контрольного зразка на 32,7 % ($p \leq 0.01$), а в м'ясі дослідного – на 37,8 % ($p \leq 0.01$). Ці втрати можуть бути зумовлені як перетворенням β -каротину у вітамін А, так і його здатністю проявляти антиоксидантні властивості.

М'ясо дослідної групи характеризується більшим умістом вітаміну Е і β -каротину під час усього експерименту. Ця різниця на початку і в кінці досліду становить: 38,7 % ($p \leq 0.01$) і 26,6 % ($p \leq 0.05$) для вітаміну Е, та 29,5 % ($p \leq 0.05$) і 19,7 % ($p \leq 0.05$) для β -каротину відповідно. Причиною кращого збереження вітаміну Е і β -каротину в м'ясі дослідного зразка, ймовірно, є участь фенольних сполук вівса в гальмуванні процесів пероксидного окиснення ліпідів [27,28].

Вміст вітаміну А в м'ясі контрольної групи з початку експерименту до 120-ої доби збільшився на 22,7 % ($p \leq 0.05$), що можна пояснити перетворенням β -каротину у вітамін А за участі β -каротиндіоксигенази, адже відомо, що її активність проявляється і за низьких температур. Надалі до 210-ої доби встановлено зменшення вмісту вітаміну А на 36,8 % ($p \leq 0.01$). За вмістом вітаміну А упродовж всього періоду зберігання м'яса достовірної різниці контрольного і дослідного зразків не спостерігалось.

Жирнокислотний склад ліпідів м'яса птиці може суттєво змінюватись залежно від вихідного стану пташенят і технологічних умов утримання. Окрім того, зниження вмісту ненасичених жирних кислот і, відповідно, здатності до ліпопероксидації є одним з механізмів підвищення антиоксидантної активності тканин і функціонуючого організму в цілому [29]. Однак, харчова цінність м'ясної сировини, одним з критеріїв якої є вміст незамінних жирних кислот, при цьому знижується.

Аналіз жирнокислотного складу ліпідів контрольного і дослідного зразків м'яса свідчить (табл. 2), що екстракт вівса суттєво не вплинув на сумарний вміст ненасичених жирних кислот (НЖК): різниця цього показника контрольного і дослідного зразків на рівні тенденції до збільшення для дослідного зразка. Втім, у межах НЖК під впливом екстракту відбувся певний перерозподіл цих кислот. М'ясо дослідного зразка характеризувалось на 15,2 % ($p \leq 0.05$) більшим умістом мононенасичених жирних кислот (МНЖК), в першу чергу олеїнової, після забою птиці.

Водночас під впливом екстракту вівса зміни вмісту всіх поліненасичених кислот, як $\omega 3$ -ПНЖК (ліноленової і докозагексаєнової), так і $\omega 6$ -ПНЖК (лінолевої і арахідонової) встановлено лише на рівні тенденцій. При цьому вміст арахідонової кислоти мав тенденцію до зменшення, а вміст обох $\omega 3$ -ПНЖК – до збільшення.



Впродовж терміну зберігання спостерігалось вирівнювання вмісту окремих НЖК у контрольному і дослідному зразках м'яса, при цьому в дослідному зразку утримався достовірно вищий вміст МНЖК (на 10,7 %, $p \leq 0.05$) і тенденції щодо зміни вмісту $\omega 3$ - та $\omega 6$ -ПНЖК.

Таблиця 2

Зміни жирнокислотного складу м'яса птиці за низькотемпературного зберігання (% , $M \pm m$, $n=5$)

Жирні кислоти	Початок зберігання		Кінець зберігання	
	Контрольний зразок	Дослідний зразок	Контрольний зразок	Дослідний зразок
Пальмітинова	25,06±0,82	23,55±0,73	27,33±0,95	25,04±1,74
Пальмітолеїнова	2,38±0,97	2,55±0,01	2,50±0,74	2,60±0,93
Стеаринова	14,61±0,63	13,76±0,37	15,56±0,63	14,59±0,55
Олеїнова	35,06±1,04	40,58±1,18*	27,71±0,73	30,85±0,87*
Лінолева	15,68±0,69	15,54±0,68	11,30±0,37	10,75±0,43
Ліноленова	0,34±0,01	0,38±0,02	0,28±0,01	0,33±0,01
Арахідонова	7,07±0,32	6,55±0,18	7,57±0,41	7,48±0,29
Докозагексаєнова	0,52±0,02	0,57±0,02	0,42±0,02	0,45±0,02
НЖК	61,05±2,31	66,17±2,67	49,78±2,82	52,46±1,98
МНЖК	37,44±1,14	43,13±1,63*	30,21±0,74	33,45±0,83*
ПНЖК	23,61±0,84	23,04±0,63	19,57±1,03	19,01±1,07
$\omega 3$ -ПНЖК	0,86±0,03	0,95±0,04	0,70±0,03	0,78±0,04
$\omega 6$ - ПНЖК	22,75±0,94	22,09±0,56	18,87±0,75	18,23±0,68

Висновки. Таким чином, додавання екстракту вівса посівного до раціону гусей сприяє подовженню терміну стану прооксидантно-антиоксидантної рівноваги ліпідної складової м'яса гусей, що характеризується сталим рівнем кінцевих продуктів ліпопероксидації, на 30 діб. Окрім того, подальша активізація пероксидного окиснення ліпідів у дослідному зразку достовірно уповільнюється, що спричиняє зниження вмісту продуктів ПОЛ на 41,2 % ($p \leq 0,01$). Екстракт вівса сприяв достовірному підвищенню вмісту вітаміну Е і β -каротину у дослідних зразках м'яса впродовж усього періоду дослідження. Основні зміни жирнокислотного складу ліпідів м'яса під впливом екстракту вівса відбувались у напрямку підвищення вмісту мононенасичених кислот, при цьому суттєвих змін вмісту $\omega 3$ - і $\omega 6$ -ПНЖК не встановлено.



Список використаних джерел

1. Javed M., Iqbal A., Shah M. N., Khan S., Sial A. R., Karkach P., Mashkin Y., Vovkotrub N., Bayram I. Effect of aqueous extract plant mixture on lipid profile and hepatotoxicity of broiler chicks, *Animal Husbandry Products Production and Processing*. 2019. Vol. 2. P. 131–136. DOI: 10.33245/2310-9289-2019-150-2-131-136
2. Estévez M. Oxidative damage to poultry: from farm to fork, *Poultry Science*. 2015. Vol. 94 (6). P. 1368–1378. DOI: 10.3382/ps/pev094
3. Scollan N. D., Price E. M., Morgan S. A., Huws S. A., Shingfield K. J. Can we improve the nutritional quality of meat? *Proceedings of the Nutrition Society*. 2017. Vol. 76 (4). P. 603–618. DOI: 10.1017/S0029665117001112
4. Schilling M. W., Suman S. P., Zhang X., Nair M. N., Desai M. A., Cai K., Ciaramella M. A., Allen P. J. Proteomic approach to characterize biochemistry of meat quality defects, *Meat Science*. 2017. Vol. 132. P. 131–138. DOI: 10.1016/j.meatsci.2017.04.018
5. Surai P. F., Kochish I. I., Fisinin V. I., Kidd M. T. Antioxidant Defence Systems and Oxidative Stress in Poultry Biology: An Update, *Antioxidants*. 2019. Vol. 8 (7). P. 235. DOI: 10.3390/antiox8070235
6. Smirnov A. A. The prospect of the development of the poultry industry, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019. Vol. 315 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/315/2/022100
7. Tsekhmistrenko S. I., Bityutskyy V. S., Tsekhmistrenko O. S., Melnichenko O.M., Effects of selenium compounds and toxicant action on oxidative biomarkers in quails, *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020 10 (2), 232-239. DOI: 10.15421/2020_89
8. Yevstafieva V., Yeresko V., Melnychuk V., Bakhur T. Prevalence and co-infection of *Baruscapillaria* genus (Nematoda, Capillariidae) in domestic geese in Ukraine, *Folia Veterinaria*. 2020. Vol 64 (1). P. 32–38.
9. Chang S. C., Lin M. J., Fan Y. K., Lee T. T. Effects of lighting intensity on growth and reproductive performance of breeder geese, *J. Appl. Poultry Res.* 2016. Vol. 25 (3). P. 315–321. DOI: 10.3382/japr/pfw009
10. Islam M. F., Mia M. M., Rahman M. A., Bhowmik N. Morphometric, productive and reproductive traits of indigenous goose of Bangladesh, *Animal Genetic Resources*. 2016. Vol 59. P. 37–45. DOI: 10.1017/S2078633616000254
11. Шеремет Д. О., Мельник В. В. Розведення гусей у присадибному господарстві: вибір породи і формування батьківського стада, *Сучасне птахівництво*. 2014. Вип. 6. С. 14–15.
12. Федорович Є.І., Заплатинський В.С. Сучасний стан та перспективи розвитку гусівництва України. *Наук. Вісник ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького*. 2015. Т.17, № 3(63). С. 322–329.
13. Хвостик В. П. Перспективні напрями ведення гусівництва,



Сучасні аграрні технології. 2013. № 8. С. 62–69.

14. Bahraminejad S., Biological activity of secondary metabolites in oat (*Avena sativa*), *Thesis (Ph.D.) - University of Adelaide, School of Agriculture, Food and Wine*. 2006. P. 1–140

15. Alrahmany R. Antioxidant and antimicrobial activities of phenolic acids rich extracts released from oat bran with the aid of carbohydrases. 2012. P. 1–73.

16. Xie Z., Mui T., Sintara M., Ou B., Johnson J., Chu Y. F., O'shea M., Kasturi P., Chen Y. Rapid quantitation of avenanthramides in oat-containing products by high-performance liquid chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry (HPLC-TQMS), *Food Chemistry*. 2017. Vol. 224 (1). P. 280–288. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.12.079

17. Soycan G., Schar M., Kristek A., Boberska J., Alsharif S. N. S., Corona G., Shewry P.R., Spencer J. P. E. Composition and content of phenolic acids and avenanthramides in commercial oat products: are oats an important polyphenol source for consumers? *Food Chemistry: X*. 2019. Vol. 3. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.fochx.2019.100047

18. Pridal A. A., Böttger W., Ross A. B. Analysis of avenanthramides in oat products and estimation of avenanthramide intake in humans. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 253. P. 93–100. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.01.138

19. Tripathi, V., Singh A., Ashraf M.T. Avenanthramides of Oats: Medicinal Importance and Future Perspectives. *Pharmacognosy Reviews*. 2018. Vol. 12 (23). P. 66–71. DOI:10.4103/phrev.phrev_34_17

20. Menon R., Gonzalez T., Ferruzzi M., Jackson E., Watson J. Chapter One - Oats—From Farm to Fork. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2016. Vol. 77. P. 1–55. DOI: 10.1016/bs.afnr.2015.12.001

21. Wouter J. C. de Bruijn, Dinteren S., Gruppen H., Vincken J.-P. Mass spectrometric characterisation of avenanthramides and enhancing their production by germination of oat (*Avena sativa*), *Food Chemistry*. 2019. Vol. 277(30). P. 682–690. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.013

22. Ahmed A. Hussain Al-Amiery, Ali A. Al-Temimi, Raghda I. Wagaa and Hussain Abood. A study of the biological activities of *Avena sativa* extracts, *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. 2010. Vol. 4 (3), P. 31–34. DOI: 10.5897/AJPAC.9000004

23. Ryabokon YO. Recommendations for the regulation of feeding poultry. Tags: Poultry Research Institute, 2005, p. 101.

24. Danchenko O., Zdorovtseva L., Danchenko M., Yakoviichuk O., Halko T., Sukharenko E., Nicolaeva Yu. Influence of oat seed extract bioflavonoids on the antioxidant status of geese, *Modern Development Paths of Agricultural Production Trends and Innovations SPRINGER*. 2019. Series Title: N/A.-750. P. 633–640

25. Критерії і методи контролю метаболізму в організмі животної



i pticz. Khar'kov: Institut zhivotnovodstva NAAN. 2011. S. 224–225.

26. Bligh E. G., Dyer W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 1959. Vol. 37 (8). P. 911–917. DOI: 10.1139/o59-099

27. Palmer F. B. St. C. The extraction of acidic phospholipids in organic solvent mixtures containing water. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism*. 1971. Vol. 231 (1). P. 134–144. DOI: 10.1016/0005-2760(71)90261-X

28. Perrelli A., Goitre L., Salzano A.M., Moglia A., Scaloni A., Retta S.F. Biological Activities, Health Benefits, and Therapeutic Properties of Avenanthramides: From Skin Protection to Prevention and Treatment of Cerebrovascular Diseases, *Hindawi Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2018. Vol. 2018. 1–17. DOI: 10.1155/2018/6015351

29. Данченко О. О. Антиоксидантний статус свійських гусеподібних за різного антропогенного навантаження, Автореф. дис. докт. с.-г. наук. Київ, 2010. 44 с.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

Maiboroda D., O. Danchenko¹, L. Zdorovtseva¹, M. Danchenko¹, Nicolaieva Yu.²

¹**Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

²**Bogdan Khmelnsky Melitopol State Pedagogical University**

REGULATION OF GEESE MEAT QUALITY BY BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS OF OATS

Summary

The effect of oat extract (*Avena Sativa* L.) in the diet of geese on the dynamics of the content of secondary products of lipid peroxidation, the content of fat-soluble vitamins A, E, β -carotene and the fatty acid composition of lipids of the obtained meat and changes in these indicators during its low-temperature storage was studied. Under the influence of oat extract, the content of vitamin E (by 38.7%) and β -carotene (by 29.5%) in geese meat increases. During low-temperature storage of the obtained meat, the difference between these indicators of the control and experimental samples decreases, but remains significant. It has been established that during low-temperature storage of meat under the influence of the extract, the period of equilibrium between pro- and antioxidants is extended and the activation of the processes of oxidative spoilage of meat begins only from the 180th day (in the control sample from the 120th). Significant changes in the fatty acid composition of meat lipids under the influence of oat extract have not been established. The main changes in the fatty acid composition under the influence of oat extract occurred in the direction of increasing the content of monounsaturated acids. The content of oleic acid in the meat of the geese of the experimental group was 15.7 - 11.3% higher than the corresponding control indicators (beginning and end of the experiment, respectively). Significant changes in the content of ω 3- and ω 6-polyunsaturated fatty acids have not been established. The introduction of oat extract into the diet of geese contributes to the production of better quality, environmentally friendly goose meat with a longer shelf life.

Key words: meat, low-temperature storage, oxidative spoilage, biogenic antioxidants, fat-soluble vitamins, fatty acid composition.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-30

УДК 641.55/56:635.8

Ф. В. Перцевой, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Т. І. Фотіна, д.в.н., проф.

ORCID: 0000-0001-5079-2390

О. Ю. Кошель, д.ф.

ORCID: 0000-0002-2184-2106

Т. І. Маренкова, ст. викл.

ORCID: 0000-0001-7481-0848

Сумський національний аграрний університет

e-mail: tanya_201@ukr.net, тел.:050-307-38-30

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ПАШТЕТІВ ЗБАГАЧЕНИХ НА КУЛЬТИВОВАНУ ГРИБНУ СИРОВИНУ ПРИ КЕЙТЕРИНГОВОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ

Анотація. З впровадженням новітніх технологій в індустрії гостинності кейтерингове обслуговування стає актуальним, масштабним, постійно вдосконалюється та розвивається. При виконанні кейтерингових послуг потрібно правильно підібрати меню залежно від формату заходу. Холодні страви та закуски у широкому асортименті замовляються для проведення бенкетів, фуршетів, корпоративних свят, що можна здійснювати у форматі кейтерингу. Слід акцентувати увагу на розширення асортименту холодних страв і закусок функціональної спрямованості для подальшого споживання при кейтеринговому обслуговуванні.

Одним із актуальних напрямків є створення паштетів із наданням їм функціональної спрямованості шляхом застосування рослинних інгредієнтів. Серед таких варто відзначити біологічно активний комплекс порошку шампінйону двоспорового *Agaricus bisporus* (АВ), що містить вітаміни, мінеральні речовини і мікроелементи, клітковину і білки рослинного походження. Він використовується як антиоксидантний засіб, володіє лікувальним ефектом.

З погляду на це, додавання порошку (АВ) під час виготовлення паштету з печінки курячої надає можливість розширити асортимент виробів функціонального призначення з оригінальними органолептичними і фізико хімічними властивостями.

У статті приведено результати досліджень щодо застосування порошку (АВ) у технології паштету із печінки курячої. Дослідним шляхом встановлено при застосуванні порошку (АВ) до маси печінки курячої слід вважати раціональним внесення його у кількості від 3,0 до 5,0% від маси печінки курячої. Встановлено оптимальну кількість порошку (АВ) у складі паштету, яка складає 5,0% до маси печінки



курачої. Досліджено вплив порошку (АВ) на показники якості паштету.

Додавання до складу паштетної маси порошку (АВ) позитивно вплинуло на хімічний склад готового паштету, наситивши його необхідними людьському організму мінеральними елементами, вітамінами, клітковиною та рослинними білками. Доведена доцільність застосування порошку (АВ) в технології паштету з печінки курачої для розширення асортименту холодних страв підвищеної біологічної цінності. Розроблений паштет із печінки курачої з застосуванням порошку (АВ) може бути впроваджений як функціональний виріб для підприємств кейтерингу.

Ключові слова: грибна сировина, *Agaricus bisporus*, порошок грибів, паштет, курка, холодні страви, субпродукти, антиоксидантний ефект, білки, кейтеринг, харчова цінність.

Постановка проблеми. Погіршення екологічних умов на нашій планеті широкими масштабами поширює зріст захворювань, які є наслідком недостатнього вживання разом з продуктами харчування важливих для нормального функціонування організму корисних речовин [1, 18]. Шкідливі токсичні та канцерогенні сполуки, що є наслідками забруднення екологічного довкілля, разом з їжею потрапляють до організму. У зв'язку з цим попит на продукцію функціонального призначення постійно зростає. Кожного року збільшується кількість населення, що включає до раціону харчування продукцію з функціональною спрямованістю. Значно збільшується попит на функціональні харчові продукти на рослинній основі [2].

Відомо, що гриби є сировиною, яка володіє широким спектром корисних властивостей. При вживання гриби виконують функцію постачання до організму поживних речовин, серед них білки, харчові волокна. Доведено, що гриби є природними адсорбентами іонів токсичних металів і мають антиоксидантні властивості. Гриби мають здатність до зниження ризику хронічних захворювань. Цінність грибів пов'язана зі своєрідністю їх хімічного складу. Кількість білка в свіжих грибах досягає 2-5%, в сушених - 16-25%. Жирів у грибах міститься 1,3-2,7%. В значних кількостях містяться стерини, фосфатиди, ефірні масла і жирні поліненасичені кислоти, які не можуть синтезуватися в організмі людини і є незамінними. Ці кислоти забезпечують нормальний ріст тканин і обмін речовин, перешкоджають відкладенню холестерину [3]. Завдяки значній кількості в грибній сировині сірки та полісахаридів, вони займають чільне місце в боротьбі з онкологічними захворюваннями. Споживання грибів підвищує імунітет, чинить гепатопротекторну, антидіабетичну, кардіологічну дію [21, 22]. Грибна клітковина має властивості поліпшувати роботу шлунку й кишечника, допомагає сорбції та виведенню із організму іонів важких металів,



радіонуклідів та інші канцерогенів, а полісахариди підвищують продукцію антитіл до гепатиту В [7]. Лікувальні гриби багаті антиоксидантами, білком, клітковиною, амінокислотами і мікроелементами, вітаміни групи В. Вживання грибів допомагає організму покращити роботу мозку, зменшує стресові реакції, підтримує функціонування серця.

Гриби є джерелом білків. Слід зазначити, що хітин, який міститься в грибах, значно ускладнює процес їх засвоєння. Засвоюваність білків значно підвищується при вживанні попередньо висушених грибів [3].

На сьогоднішній день порошкоподібні харчові напівфабрикати мають динаміку широкого використання. Порошки в своїй масі зменшені в 6...8 разів, мають термін зберігання півтора і більше років.

Додавання грибного порошку до кулінарної продукції надає можливостей надходження до організму під час споживання їжі більш високої концентрації поживних речовин. Грибний порошок є харчовим концентратом, що виготовляється із подрібнених та перемелених сушених їстівних грибів. Також слід зазначити, що переробка грибів на порошок надає можливостей використовувати ті частини деяких видів грибів, які іноді не вживаються (волокнисті та жорсткі ніжки грибів) та некондиційну грибну сировину. Грибний порошок добре поєднується з кулінарними стравами, має гарні смакові властивості в поєднанні з різними продуктами. Іноді грибний порошок можливо додавати в композиції кави, гарячого шоколаду, смузі.

Порошок (АВ) надає приємного смаку та аромату при введенні до бульйонів, покращує властивості хлібних і макаронних виробів. (АВ) – один із відомих їстівних грибів. Він найкраще засвоюється травною системою. *Agaricus bisporus* містить вітаміни В₁, В₂, В₃, РР, В₉, С, Е та мінерали К, Са, Mg, Na, Fe, Mn, F, Zn, I і Cu. До складу (АВ) входять антиоксиданти, клітковина і рослинні білка. Вони також мають протиінфекційні, ранозагоювальні, протипухлинні і тонізуючі властивості. Лецитин, який входить до складу (АВ) перешкоджає відкладанню холестерину на стінках судин. Вживання (АВ) рекомендується при атеросклерозі і анемії [23]. Амінокислоти, що входять до їх складу підтримують процеси відновлення клітин людського організму, чинять позитивний вплив на функції зору, нирок, печінки та кісткового мозку. Значний вміст в (АВ) β-глюкану впливає на роботу імунної системи, створює захист від вірусів, бактерій, грибків і канцерогенів. Крім того, до складу (АВ) входить ряд ферментів, які сприяють розщепленню клітковини, жирів і глікогену. Поживну цінність грибів в значній мірі визначає загальний вміст амінокислот. Білки в (АВ) містять велику кількість амінокислот, в тому числі, і незамінних, які засвоюються організмом на 70-80%. За вмістом останніх грибні білки можливо порівняти з тваринними білками, тому



часто гриби і порівнюють з м'ясом.

Потрібно зазначити, що харчова промисловість пропонує великий асортимент різних паштетних композицій з м'яса тварин, птиці та субпродуктів. Але асортимент холодних страв у вигляді паштетів, по збірнику рецептур страв і кулінарних виробів для закладів ресторанного господарства представлено лише двома рецептурами: паштет із печінки та паштет із дичини, птиці або м'яса у тісті. У обох рецептурах відсутня інформація щодо використання такої сировини, як печінка куряча.

Дослідження, які проводилися Антимонопольним комітетом України, інформують що обсяг виробництва курятини за останні три роки в нашій країні зріс на 12%, а експорт продукції на 38%. Сучасний вітчизняний ринок з виробництва курятини представляють провідні компанії «Миронівський хлібопродукт» (ТМ «Наша Ряба»), «Група Агромарс» (ТМ «Гаврилівські курчата»), компанія «Птахокомплекс Дніпровський» (ТМ «Знатна курка») та інші. Продукція цих виробників поступає в достатній кількості в торгівельну мережу та харчові підприємства, має помірну цінову політику, тому її використання є актуальним.

Куряча печінка є субпродуктом, який широко використовується в кулінарії. Корисні властивості курячої печінки полягають в її складі, що зумовлює використання продукту в лікувальному і дієтичному харчуванні. До складу курячої печінки входить велика кількість вітаміну А, який стимулює імунітет і роботи мозку. У печінці курки також є досить багато вітаміну В₁₂, який необхідний для поділу клітин. Куряча печінка має в складі значну кількість заліза, богата на фолієвою кислотою, вітамінами, мінералами, незамінними жирними кислотами та білком. Завдяки вмісту заліза та вітамінів куряча печінка сприяє у боротьбі з дефіцитом вітаміну В₁₂. Печінка також містить холін, який позитивно впливає на здоров'я мозку. Вживання курячої печінки запобігає розвитку анемії. Куряча печінка є джерелом білка.

Застосування порошку грибів (АВ) у складі паштету із печінки курячої є одним із перспективних напрямків, щодо розширення асортименту паштетів функціональної спрямованості.

Аналіз останніх досліджень.

Аналізуючи літературні джерела, ми дійшли висновку, що було впроваджено ряд окремих технологій продукції харчування, в тому числі паштетних мас, із застосуванням порошків грибів та іншої рослинної сировини.

Дослідження вчених Н. О. Бісько, В. А. Гніщевич, М. І. Даниляк, І. О. Дудка, О. Г. Коваленко Б. П., Колтунов, З. В. Корж, А. Н. Макаренко, Н. І. М'ячикова, П. А. Сичов, С. В. Решетніков, М. П. Рудик, О. М. Поліщук, А. І. Шелюк, К. то Cheung, Solomon P.



Wasser, Kim H. W., Kim B. K., Yuko Ota, Lu B. C., Harris B. та інших підтвердили лікувальні та харчові властивості грибною сировини [9].

Кублінська І. А., Кравченко М. Ф., Лесишина Ю. О. у своїй роботі довели виявлення у грибному порошку з фламуліни (*Flammulina velutipes*) біологічно-активних речовин, які володіють Р-вітамінною активністю та вітамінів групи В. Використання грибного порошку з фламуліни доцільно, як інгредієнта до страв та кулінарних виробів підвищеної харчової цінності. Грибний порошок фламуліни може бути використаний, як компонент соусів, дресингів до салатів, топінгів, для закладів ресторанного господарства України [9, 13].

Костенко Є. Ю., Бутенко О. М. провели дослідження здатності грибних порошоків біомаси гливи зв'язувати іони Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} . Дослідження надали можливість визначити кількісні характеристики для прогнозування комплексоутворюючих властивостей при отриманні ковбасних виробів з підвищеними протекторними властивостями [4, 19].

Пасічний В. М., Ястреба Ю. А. розробили спосіб отримання м'ясних паштетів, який відрізняється від традиційного. На стадії приготування фаршу із м'ясообрізи яловичої відвареної, шкурки свинячої відвареної у вигляді білково-жирової емульсії, печінки бланшованої та інших компонентів паштетної маси додається препарат грибного порошку. Цей спосіб дозволяє отримання паштету, збагаченого білками та харчовими волокнами рослинного походження при комбінуванні грибною і м'ясною сировини [6, 11].

Пешук Л. В., Гащук О. І., Мосівлюк О. Є., Гордієнко О. В. дослідили композицію паштету для геродієтичного харчування. Розроблений паштет збагачено харчовими волокнами, вітамінами, калієм, залізом і фосфором, йодом, міддю, марганцем мікроелементами важливими для обміну речовин [10]. До складу рецептурної композиції паштету були введені гриби печериці бланшовані, також використовувалась лляна олія [10].

Кравченко М. Ф., Кублінська І. А. розробили технологію соусу грибного підвищеної біологічної цінності із функціональними інгредієнтами у вигляді грибних порошоків з печериць рейші та шіїтаке. Була проведена оцінка якості нового соусу та підтверджено високі реологічні та органолептичні показники соусу, збагаченого есенціальними та біологічно-активними речовинами [7, 9, 20].

Гащук О. І., Москалюк О. Є., Сімонова І. І. провели дослідження модельних зразків паштетів із курячого м'яса та печінки з внесенням дієтичної добавки на основі пасти волоського горіха в кількості 10 % і гарбузового соку – 10–20 %, що містять біологічно активні речовини широкого спектру фізіологічної дії [5].

Загальновідомо, що ріст захворюваності населення, зумовлених



негативними факторами екологічного довкілля сприяє впровадженню розробки нової кулінарної продукції функціональної спрямованості, зокрема паштету із печінки із внесенням грибного порошку. Тому використання нетрадиційної рослинної сировини - порошку з грибів (АВ) у складі паштету із печінки курячої є актуальним та перспективним.

Формулювання мети статті. Метою статті є розширення асортименту паштетів із курячої печінки з додаванням порошку грибів (АВ), що будуть рекомендовані для кейтерингових підприємств.

Основна частина. Матеріалами дослідження були: сировина, що входить до рецептури паштету з печінки, порошок з грибів (АВ) виробництва компанії «ECO FARM FRESH», готовий кулінарний виріб.

Під час виконання роботи були використані стандартні, загальноприйняті методи досліджень. Як страву аналог використовували паштет з печінки за № 165 Збірника рецептур [17].

При розробці рецептури нового паштету використовували печінку курячу. Шпик, що входить до складу традиційної рецептури за № 165 та використовується для смаження компонентів паштету, було замінено на олію оливкову.

Дослідним шляхом було обґрунтовано вміст порошку з (АВ) у складі паштетної маси. Визначено вплив порошку з (АВ) на органолептичні показники паштету з печінки та фізико-хімічні властивості. Просіяний порошок з (АВ) вносили до попередньо обсмажених основних компонентів паштетної маси в дослідні зразки в кількості 3,5; 5,0; 7,0% до маси печінки курячої. Таким чином були сформовані зразки №1, №2 і №3. Далі при температурі в $t \leq 160^\circ\text{C}$ продовжували смаження основним способом протягом $\tau = (2...3) \times 60\text{с}$.

Контрольним зразком був паштет з печінки курячої без грибного порошку. Рецептури експериментальних зразків паштетів наведені у таблиці 1.

За традиційною технологією приготування паштету з печінки передбачається: нарізану цибулю ріпчасту та моркву підсмажують до наполовину готовності, додають нарізану печінку, спеції, все смажать і двічі подрібнюють на м'ясорубці, додають дві треті норми розм'якшеного вершкового масла, бульйону і ретельно перемішують, далі формують батони і оформлюють вершковим маслом.

Ураховуючи те, що паштет з печінки курячої з додаванням порошку грибів (АВ) пропонується для кейтерингового обслуговування, при проведенні якого продукція транспортується до замовника, було додано додаткову технологічну операцію: після ретельного перемішування паштетної суміші передбачено смаження в жар. шафі при температурі $t \leq 220...240^\circ\text{C}$ протягом $\tau = (3...5) \times 60\text{с}$.



Таблиця 1

Рецептури експериментальних зразків паштетів

Сировина	Контрольний зразок (г)	Зразок 1, г	Зразок 2, г	Зразок 3, г
Печінка куряча	88,2/60*	85,1	84,1	82,0
Порошок із АВ	-	3,1	4,1	6,2
Масло вершкове	10	10	10	10
Олія оливкова	15	15	15	15
Цибуля ріпчаста	10/5*	10/5*	10/5*	10/5*
Морква	7,4/5*	7,4/5*	7,4/5*	7,4/5*
Бульйон	5	5	5	5
Сіль	3	3	3	3
Перець мелений	0,002	0,002	0,002	0,002
<i>Вихід</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>

*У чисельнику вказано масу продуктів нетто, у знаменнику – готового продукту.

Технологічна схема паштету з печінки курячої з додаванням порошку (АВ) наведена на рис. 1.

Дегустаційну оцінку досліджуваних зразків проводили за бальною шкалою. За результатами органолептичної оцінки встановлено, що зразок № 1 з вмістом порошку з (АВ) 3,5 % до маси печінки курячої ніяких змін не відбувалось. Органолептичні показники паштету з печінки мали позначки на рівні зразка контролю: приємний смак і аромат печінки з ненасиченим присмаком грибів, консистенцію м'яку, ніжну, мазку без грудочок, колір коричневий.

Зразок № 2 з вмістом порошку з (АВ) 5 % до маси печінки курячої і зразок № 3 – з вмістом порошку (АВ) 7 % досягли ідентичних результатів – присутній приємний смак і аромат печінки з присмаком грибів. Зразок №2 мав консистенцію м'яку, ніжну, мазку без грудочок, колір коричневий. Зразок №3 мав консистенцію менш ніжну і пластичну, що призвело до погіршення сенсорних властивостей паштету з печінки, колір коричневий з сіруватим відтінком.

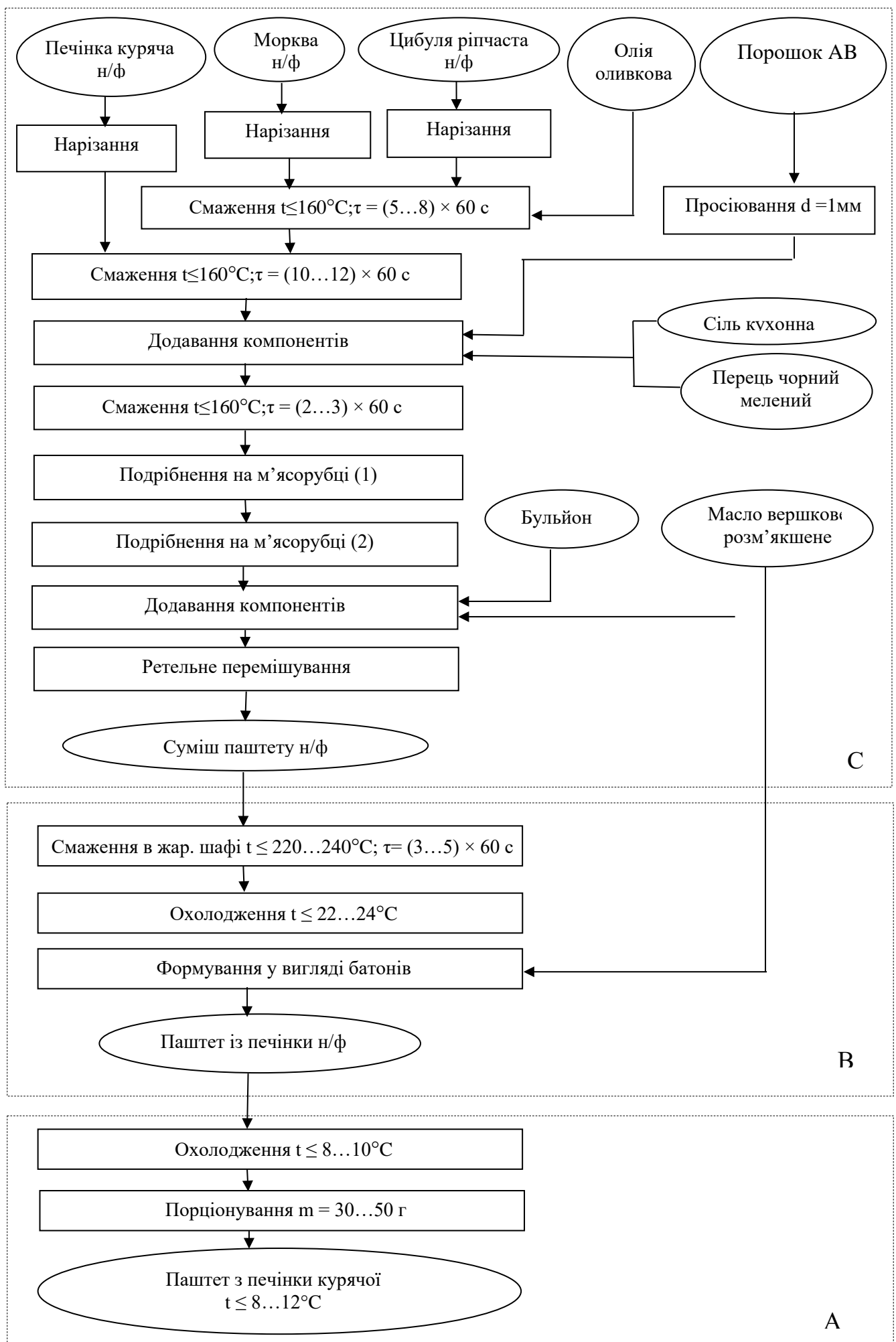


Рисунок 1. Технологічна схема паштету з печінки курячої з додаванням порошку (АВ)



В таблиці 2 наведена характеристика підсистем технологічної Схеми паштету з печінки курячої з додаванням порошку (АВ).

Таблиця 2

Характеристика підсистем технологічної схеми паштету з печінки курячої з додаванням порошку (АВ)

Позначення підсистеми	Найменування підсистеми	Мета функціонування підсистеми
С	Утворення напівфабрикату «Суміш паштету»	Передбачає смаження нарізаної цибулі ріпчастої, моркви за температурою $t \leq 160^{\circ}\text{C}$ тривалістю $\tau = (5 \dots 8) \times 60$ с; додавання нарізаної печінки і подальше смаження за температурою $t \leq 160^{\circ}\text{C}$ тривалістю $\tau = (10 \dots 12) \times 60$ с; додавання просіяного порошку грибів білих, солі, перцю та смаження за температурою $t \leq 160^{\circ}\text{C}$; $\tau = (2 \dots 3) \times 60$ с; подрібнення компонентів двічі на м'ясорубці, додавання бульйону та масла вершкового, перемішування суміші.
В	Утворення напівфабрикату «Паштет з печінки»	Передбачає смаження в жар. Шафі за температурою $t \leq 220 \dots 240^{\circ}\text{C}$ тривалістю $\tau = (3 \dots 5) \times 60$ с; охолодження суміші до температури $t \leq 22 \dots 24^{\circ}\text{C}$; формування у вигляді батонів
А	Утворення готової страви «Паштет з печінки»	Передбачає кінцевий продукт з визначеними органолептичними показниками.

Результати органолептичної оцінки паштетів з печінки курячої з додаванням порошку з грибів (АВ) представлено у вигляді профілограми на рис. 2.

Таким чином, при застосуванні порошку з грибів (АВ) до маси печінки курячої слід вважати раціональним внесення порошку з грибів у кількості від 3,0 до 5,0% від маси печінки курячої.

Оптимальною кількістю порошку з грибів (АВ) у складі паштету слід вважати 5,0% до маси печінки курячої.

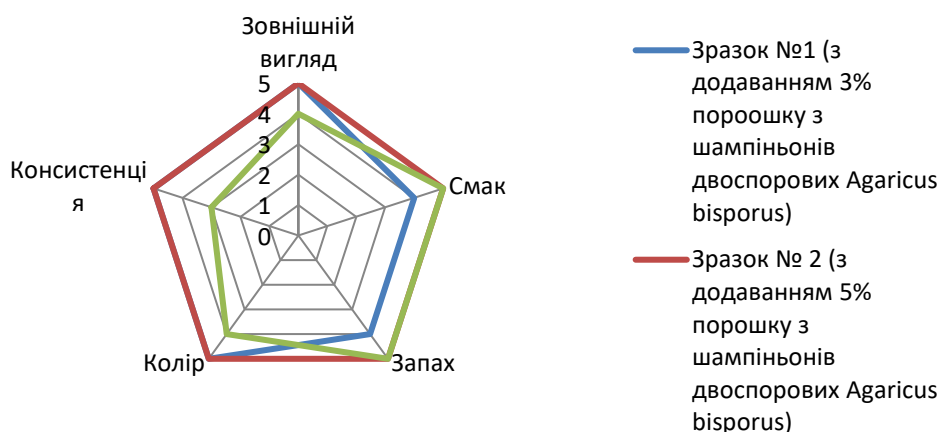


Рисунок 2. Результати органолептичної оцінки паштетів з печінки курячої з додаванням порошку з (АВ)

Порівняльна характеристика харчової цінності, вітамінного та мінерального складу паштету з печінки курячої та паштету з печінки курячої з додаванням порошку з грибів (АВ) 5 % до маси печінки курячої наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика харчової цінності, вітамінного та мінерального складу паштету з печінки курячої та паштету з печінки з додаванням порошку з грибів (АВ)

Паштет з печінки курячої		Паштет з печінки з додаванням порошку з грибів (АВ)	
Найменування поживної речовини	Вміст, г/100 г продукту	Найменування поживної речовини	Вміст, г/100 г продукту
Білки	11 г	Білки	15,3 г
Жири	9,6 г	Жири	9,7 г
Вуглеводи	8,4 г	Вуглеводи	8,45 г
Харчові волокна	0,8 г	Харчові волокна	1,37 г
Зола	2,3 г	Зола	2,5 г
Натрій, Na	630 мг	Натрій, Na	630 мг
Калій, K	174 мг	Калій, K	172 мг
Кальцій, Ca	27 мг	Кальцій, Ca	27 мг
Магній, Mg	14 мг	Магній, Mg	16 мг
Фосфор, P	187 мг	Фосфор, P	192 мг
Залізо, Fe	4 мг	Залізо, Fe	4,2 мг
A, PE	4,22 мг	A, PE	5,35 мг
β-каротин	0,56 мг	β-каротин	0,58 мг
B1, тіамін	0,16 мг	B1, тіамін	0,16 мг
B2, рибофлавін	1,14 мг	B2, рибофлавін	2,16 мг
PP	5,02 мг	PP	7,08 мг
C, аскорбінова	0,10 мг	C, аскорбінова	0,11 мг
Калорійність, ккал	165,0 ккал	Калорійність, ккал	175,5 ккал

Висновки. Таким чином, дослідження показують, що за



комплексом показників, які визначалися була розроблена рецептура паштету з печінки курячої з додаванням порошку з грибів (АВ) і встановлено, що з технологічної точки зору найбільш оптимальним є внесення його у рецептурну складову паштету в кількості 5,0% до маси печінки курячої. Зміна складу рецептурних компонентів забезпечує підвищення біологічної та харчової цінності паштету, збагачує харчовими волокнами, вітамінами та мінеральними речовинами рослинного походження. При цьому поліпшуються органолептичні та функціонально-технологічні, структурно-механічні властивості готового продукту. Паштет з курячої печінки з додаванням порошку (АВ) має високі поживні та смакові властивості за рахунок поєднання печінки курячої і рослинної сировини і може бути рекомендований для підприємств кейтерингового обслуговування.

Список використаних джерел

1. Мазаракі А. А. Технологія харчових продуктів функціонального призначення / за ред. М. І. Пересічного. 2-ге вид., переробл. та допов. Монографія К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. 1116 с.
2. Капрельянц Л. В., Хомич Г. А. Функціональні продукти: Тенденції та перспективи. *Харчова наука та технологія* 2012. № 4. С. 5.
3. Пасічний В. М. Перспективні напрямки виробництва м'ясних та м'ясо-рослинних напівфабрикатів. *Мясное дело*. 2018. №1. С.10–13
4. Костенко Є. Ю., Бутенко О. М. Дослідження комплексоутворюючих властивостей грибних порошоків стосовно іонів Pb^{2+} , Cd^{2+} і Hg^{2+} . *Наукові праці НУХТ* 2015. Том 21, № 1. С. 189–195.
5. Гащук О. І., Москалюк О. Є., Сімонова І. І. Удосконалення технології паштету в оболонці з використанням дієтичної добавки. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*. Серія: Харчові технології 2022, Том 24, № 97. С. 46–51.
6. Пасічний В. М., Жабіна О. В., Ястреба Ю. А. Удосконалення технології виготовлення паштетних консервів з білковими наповнювачами. *Одеська національна академія харчових технологій*. 2010 Вип. 38 (2). 219–222.
7. Кравченко М. Ф., Кублінська І. А. Розробка технології та комплексна оцінка якості емульсійного соусу грибного. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: технічні науки. 2018 Том 29 (68) Ч. 3 № 5. С. 26–32.
8. Кулик А. С., Бандур І. І., Булгаков І. В., Макогон С. В., Загорко Н. П. Розробка рецептури пресервів на основі бичка азовського та гливи звичайної. *Праці ТДАТУ*. 2018 Вип. 19. Т. 3. С. 251–261.
9. Кублінська І. А., Кравченко М. Ф., Лесишина Ю. О. Вітамінна активність порошку грибів *Flammulina velutipes*. «Молодий вчений».



2018 No 7 (59). С. 173–177

10. Патент на корисну модель № 95367. Україна. МПК А23L, 1/31, (2006.01). Паштет для геродіетичного харчування / Пешук Л.В., Гащук О.І., Маслюк О.Є., Гордієнко О.В.; заявник і власник патенту Національний університет харчових технологій. № 201406504; заявлено 11.06.2014; надрук. 25.12.2014, Бюл. №24. 4 с.

11. Патент на корисну модель № 53538. Україна. МПК (2009) А23L, 1/317, Спосіб виробництва м'ясних паштетів/ Пасічний В.М., Ястреба Ю.А.; заявник і власник патенту Полтавський університет споживчої кооперації України. № 2010 04182; заявлено 12.04.2010; надрук. 11.10.2010, Бюл. №19. 4 с.

12. Пат. 120650 України. Спосіб виробництва порошку грибного з печериць, шіітаке та фламуніни / Кублінська І.А., Кравченко М.Ф. № 120650/17; заявл. 02.06.2017; опубл. 10.11.2017. Бюл. No 21.

13. Бандура І. І. Дослідження особливостей інтродукції продуктивних штамів екзотичних грибів *Cyclospora aegerita* (V. Brig.) Vizzini та *Pleurotus eryngii* (DC.) Qué. / І. І. Бандура та ін. // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2017. Вип. 8, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-52.

14. Біологічно активна субстанція з імуномодулюючою активністю: пат. 117165 Україна, МПК (2006): А61К 31/00, А61К 36/00, А01G 1/04 (2006.01); № u201605549; заявл. 23.05.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.

15. Бабицька В. Г. Вплив умов глибинного культивування лікарського гриба *Ganoderma lucidum* (Рейши) на біосинтез полісахаридів / В. Г. Бабицька, Н. А. Бісько, І. Р. Клечак, Н. Л. Поєдинок, Т. С. Годосійчук, В. В. Щерба. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2009. № 2. С. 92–99.

16. Бісько Н. А. Колекція культур шапинкових грибів (ІВК) / Н. А. Бісько та ін. К.: Альтепрес, 2016. 120 с.

17. Здобнов А. І., Циганенко В. А., Пересічний М. І. Збірник рецептур страв і кулінарних виробів для підприємств громадського харчування. К.: А.С.К., 2010. 656 с.

18. Saarela M. Functional Foods: Concept to Product. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2016. 672 p.

19. Venturella G., Ferraro V., Cirlincione F., Gargano M. L. Medicinal Mushrooms: Bioactive Compounds, Use, and Clinical Trials. *International journal of molecular sciences*. 2021 Vol. 22, No 2. P. 634. <https://doi.org/10.3390/ijms22020634>

20. Sharifi-Rad J., Butnariu M., Ezzat S. M., Adetunji C. O., Imran M., Sobhani S. R., Tufail T., Hosseinabadi T., Ramírez-Alarcón K., Martorell M., Maroyi A., & Martins N. Mushrooms-Rich Preparations on Wound Healing: From Nutritional to Medicinal Attributes. *Frontiers in*



pharmacology, 2020. Vol. 11, 567518.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2020.567518>

21. Montalbano G. Evaluation of the antimicrobial, anti-inflammatory, regenerative and wound healing properties of the bracket fungus *Ganoderma lucidum*. 2018. PhD. Dissertation. 10.5204/thesis.eprints.116592

22. Elkhateeb W.A. What medicinal mushroom can do? *Chem. Res. J.* 2020. Vol. 5. P. 106–118

23. Frost M. Three popular medicinal mushroom supplements: A review of human clinical trials. 2016, *All Faculty Publications*. 1609.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

F. Pertsevoi, T. Fotina, O. Koshel, T. Marenkova
Sumy National Agrarian University

EXPANDING THE RANGE OF PATES ENRICHED WITH CULTIVATED MUSHROOM RAW MATERIALS FOR CATERING SERVICES

Summary

Catering services are becoming relevant, large-scale, constantly improving and developing with the introduction of the latest technologies in the hospitality industry. It is necessary to choose the right menu depending on the format of the event when performing catering services. Cold dishes and snacks in a wide range are ordered for banquets, buffets, and corporate celebrations. This can also be done in the format of catering. It is worth paying attention to the expansion of the range of cold dishes and functional snacks for further consumption in catering services.

One of the current trends is the creation of pâtés with a functional orientation through the use of plant ingredients. Among them, it is worth noting the biologically active complex of champignon powder *Agaricus bisporus* (AB), which contains vitamins, minerals and trace elements, fiber and proteins of plant origin. It is used as an antioxidant and has a therapeutic effect.

The addition of (AB) powder during the production of pate from chicken liver provides an opportunity to expand the range of functional products with original organoleptic and physicochemical properties.

The article presents the results of research on the use of (AB) powder in the technology of pate from chicken liver. It has been established experimentally when applying powder (AB) to the weight of chicken liver, it should be considered rational to add it in the amount of 3.0 to 5.0% of the weight of chicken liver. The optimal amount of (AB) powder in the composition of pate was established as 5.0% of the weight of chicken liver. The effect of (AB) powder on the parameters of the pate quality was studied.

The addition of (AB) powder to the composition of the pate mass had a positive effect on the chemical composition of the finished pate, saturating it with mineral elements, vitamins, fiber and vegetable proteins necessary for the human body. The feasibility of using (AB) powder in the technology of pate from chicken liver to expand the range of cold dishes of increased biological value has been proven. The developed pate from chicken liver with the use of (AB) powder can be implemented as a functional product for catering enterprises.

Key words: mushroom raw materials, *Agaricus bisporus*, mushroom powder, pate, chicken, cold dishes, liver, antioxidant effect, protein, catering, nutritional value.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-31

УДК 664.8.037.5:634.75

І. Л. Заморська, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-2767-1176

Уманський національний університет садівництва

e-mail: zil197608@gmail.com, тел.: 047-443-22-12

ВМІСТ ТА ФОРМИ ВОЛОГИ У ЗАМОРОЖЕНИХ ЯГОДАХ СУНИЦІ САДОВОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. У статті досліджено кріорезистентність, вміст та форми вологи у заморожених ягід суниці садової сорту Полка за попередньої обробки в розчинах мальтодекстрину DE 15-20 концентрації 1, 2, 3, 4, 5, 6 %.

Досліджено, що вміст вологи у свіжих ягодах суниці складав 92,5 %, з якої колоїдно-зв'язаної – 50,79 %, а осмотично-поглиненої – 41,71 %. Кріорезистентність заморожених ягід суниці складала 69,5-92,0 %, а масова частка вологи – 87,68-91,86 % за максимуму у варіанті з обробкою ягід у 6 %-му розчині мальтодекстрину.

Встановлено, що частка вологи колоїдно-зв'язаної достовірно залежала від концентрації розчину мальтодекстрину та тривалості зберігання замороженої суниці з максимумом – у варіанті з обробкою ягід у розчині мальтодекстрину з концентрацією 6 % – 49,81 %, та зниженням до кінця зберігання на 0,87 %. Натомість, частка вологи осмотично-поглиненої достовірно залежала лише від концентрації розчину мальтодекстрину, з рівнем 40,98 %-42,04 %, за неістотного її зниження впродовж зберігання.

Доведено, що за попередньої обробки ягід суниці в розчині мальтодекстрину 6 %-ї концентрації досягалося максимальне збереження вологи в ягодах.

Ключові слова: заморожування, суниця, мальтодекстрин, кріорезистентність, вміст вологи, форми вологи

Постановка проблеми. Підтримання продовольчої безпеки України полягає у стійкому забезпеченні населення продуктами харчування, в тому числі функціонального призначення, що реалізується за рахунок широкого застосування інноваційних технологій виробництва [1].

Найбільш ефективним способом вирішення проблеми забезпечення продуктами харчування, в тому числі плодово-ягідною продукцією є використання штучного холоду, що блокує



окиснювально-відновні процеси в клітинах плодів, пригнічує розвиток патогенної мікрофлори, сприяє збереженню біологічно-активних речовин [2].

Заморожені плоди і ягоди широко використовуються у виробництві консервної, кондитерської та продукції ресторанного господарства. Проте, їхня якість після дефростації може змінюватися, що зумовлено умовлені розміром кристалів льоду, що утворюються в процесі заморожування, їхнім розподілом у заморожених тканинах та характером ушкоджень кристалами структурних елементів тканин [3].

Доведено, що ушкоджуючу дію фізико-хімічних чинників на структуру плодово-ягідної сировини при заморожуванні можна знизити завдяки використанню кріопротекторів, які сприяють модифікації структури рідкої фази і характеру її кристалізації [4].

В якості кріопротекторів, що сприяють збереженню структури тканин плодів використовують розчини сахарози, хлориду кальцію, полісахаридів, зокрема нетрадиційних вуглеводів з функціональними характеристиками, що не спричиняють змін органолептичних властивостей продукції, серед яких поширеними є мальтодекстрини [5].

Мальтодекстрини отримують шляхом кислотного та/або контрольованого ферментативного гідролізу крохмалю і розглядають як полімери d-глюкози, з'єднані α -(1,4) та α -(1,6) зв'язками [6]. Їх широко використовують в харчовій промисловості завдяки високій розчинності, низькій в'язкості при високій концентрації сухих речовин, низькій відносній вартості, нейтральному смаку та аромату [7, 8]. Завдяки термічній стабільності та стійкості до заморожування [9], стабільності в кислих середовищах, добрій розчинності у воді, здатності запобігати окисненню, мальтодекстрини стали широко використовуваними плівкоутворювачами [8, 10]. Так, у якості покриття для кубиків яблук перед осмотичною дегідратацією та наступним заморожуванням, мальтодекстрин сприяв посиленню механічної міцності тканин, запобігав змінам забарвлення та біологічно-активних речовин продукту [11].

Аналіз останніх досліджень. Важливим критерієм придатності плодів і ягід до заморожування є висока вологозатримувальна здатність тканин [12]. Процес замерзання води під час заморожування супроводжується міграцією вологи та змінами теплофізичних і механічних властивостей продукції. Головним фактором, що зумовлює гальмування небажаних дифузних, хімічних, біохімічних і мікробіологічних процесів продукції – є зміна фазового стану води [13].

Лід, що утворюється спочатку в розчині навколо клітин – це один із пошкоджуючих факторів рослинної тканини, а другий – це дегідратація клітини, що викликається ростом кристалів цього



позаклітинного льоду [14]. Кристалізація вологи під час заморожування відбувається неоднаково, що зумовлено її перебуванням одночасно у вільній і зв'язаній формах. Фракції зв'язаної води мають низьку точку замерзання, що пов'язано з їхньою здатністю концентрувати велику кількість розчинних речовин, у тому числі іонів, що спричиняють формування високов'язкої білково-мінеральної суміші у компонентах цитоплазми і мембранних структурах клітин. Про закінчення процесу фазового перетворення води на лід свідчить кінцева температура кристалізації вологи [15].

Формулювання цілей статті (постановка завдання).

Оскільки якість заморожених плодів та ягід та їхня вологозатримувальна здатність зумовлена характером кристалізації вологи та співвідношенням її фракцій в клітинах, нашим завданням було встановлення вмісту та форм вологи, кріорезистентності заморожених ягід суниці садової, за попередньої обробки перед заморожуванням в розчині мальтодекстрину різної концентрації.

Основна частина. Дослідження проводили з ягодами суниці сорту Полка. Підготовку ягід до заморожування виконували згідно загальноприйнятих рекомендацій, що включали сортування, видалення чашолистиків і плодоніжок, миття та підсушування.

Для проведення досліджень використовували мальтодекстрин DE 15-20 (Польща). Задля встановлення впливу мальтодекстрину на смак ягід, проводили модельний дослід за оброблення ягід розчином з концентрацією 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 %. Контролем в досліді слугували попередньо не оброблені ягоди суниці.

В результаті органолептичної оцінки ягід модельного дослідження встановлено, що за обробки сировини в розчинах мальтодекстрину з концентрацією 7, 8, 9, 10 % спостерігалось формування стороннього присмаку, натомість, нижчі концентрації такого ефекту не спричиняли.

Оброблені та підсушені ягоди заморожували розсипом за температури мінус $30 \pm 1^\circ\text{C}$, фасували у пакети з поліетиленової плівки, призначеної для пакування харчових продуктів масою до 0,5 кг і зберігали впродовж 6-ти місяців за температури мінус $18 \pm 1^\circ\text{C}$.

В свіжих і заморожених ягодах визначали кріорезистентність за різницею маси заморожених і дефростованих ягід та виражали у відсотках [16], масову частку вологи – висушуванням до постійної маси [17], частку колоїдно-зв'язаної та осмотично-поглиненої вологи [18], фіксуючи показники після заморожування, трьох та шести місяців зберігання.

Статистичний аналіз виконували за допомогою програми StatSoft STATISTICA 10.0, Enterprise Single User (2011).

Свіжі ягоди суниці мали у своєму складі 7,5 % сухих речовин за вмісту вологи на рівні 92,5 % з якої колоїдно-зв'язаної – 50,79 %, а

осмотично-поглиненої – 41,71 %.

В результаті досліджень встановлено достовірну залежність показника кріорезистентності ягід суниці залежно від концентрації розчину мальтодекстрину для оброблення ягід та тривалості зберігання в замороженому стані (рис. 1).

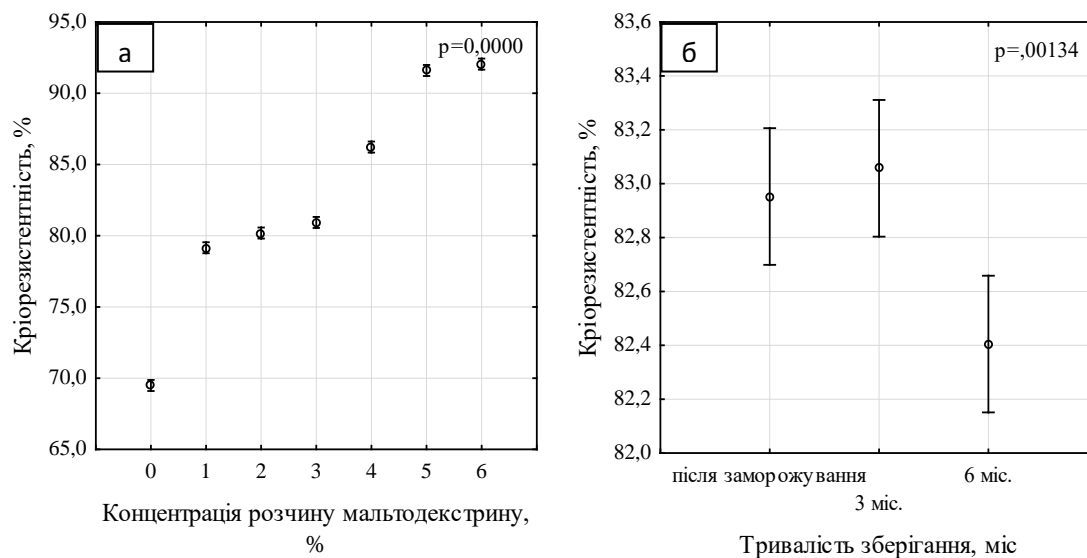


Рисунок 1. Кріорезистентність заморожених ягід суниці залежно від: а – концентрації розчину мальтодекстрину, б – тривалості зберігання, % (результати дисперсійного аналізу)

Кріорезистентність ягід суниці коливалася в межах 69,5-92,0 % сягаючи максимальних значень у варіанті дослід з обробкою ягід у 6 %-му розчині мальтодекстрину, що в 1,3 рази поступалося значенню аналогічного показника контрольного варіанту дослід та майже в 1,2 рази – за мінімальної концентрації розчину мальтодекстрину.

Залежно від тривалості зберігання, за усередненими даними, кріорезистентність ягід коливалася в межах від 82,40 до 83,05 %, сягаючи мінімуму після шести місяців зберігання ягід в замороженому стані. Слід відмітити, що на третій місяць зберігання кріорезистентність ягід дещо зросла, порівняно зі значенням одразу після заморожування, однак, перевищення склало 0,1 % та не було статистично достовірним.

Масова частка вологи в ягодах за результатами дисперсійного аналізу достовірно залежала від концентрації розчину мальтодекстрину, що використовувався для попередньої обробки ягід та тривалості зберігання. За усередненими даними масова частка вологи коливалася в межах від 87,68 до 91,86 %, за максимальної у варіанті дослід з використанням 6 %-вої концентрації

мальтодекстрину в розчині. В результаті досліджень масової частки вологи в ягодах виявлено тенденцію до збільшення вмісту вологи зі збільшенням концентрації мальтодекстрину в розчині.

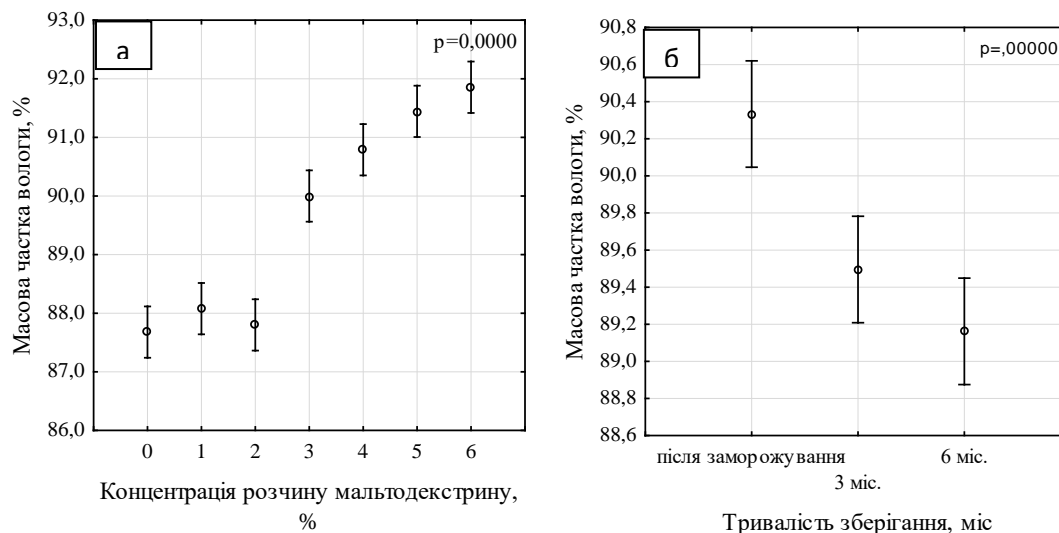


Рисунок 2. Масова частка вологи в заморожених ягодах суниці залежно від: а – концентрації розчину мальтодекстрину, б – тривалості зберігання, % (результати дисперсійного аналізу)

Слід відмітити прямий сильний кореляційний зв'язок між масовою часткою вологи в ягодах та здатністю до її утримання, з показником кореляції $r=0,79\pm 0,3$ (рис.3), що свідчить про підвищення кріорезистентності ягід зі зростанням концентрації мальтодекстрину в розчині.

З літературних джерел відомо [15], що під час заморожування змінюються співвідношення фракцій вологи зі зростанням кількості осмотично поглиненої при зменшенні частки колоїдно-зв'язаної вологи, що свідчить про не оберненість процесів в біоколоїдах протоплазми клітин з послабленням сили їхнього зв'язку з молекулами води та збільшенням вологовиділення під час дефростації продукції.

В результаті наших досліджень встановлено, що частка вологи колоїдно-зв'язаної достовірно залежала від концентрації розчину мальтодекстрину та тривалості зберігання замороженої продукції (рис. 4) за максимальної – у варіанті з обробкою ягід у розчині мальтодекстрину з концентрацією 6 % – 49,81 %, що на 3,1 % перевищувало аналогічне значення контрольного варіанту дослідження та на 0,97 % поступалося показнику свіжих ягід. Підвищення концентрації мальтодекстрину в розчині для обробки ягід супроводжувалося збільшенням рівня колоїдно-зв'язаної вологи.

За усередненими даними впродовж зберігання ягід суниці в замороженому стані частка колоїдно-зв'язаної вологи в них поступово

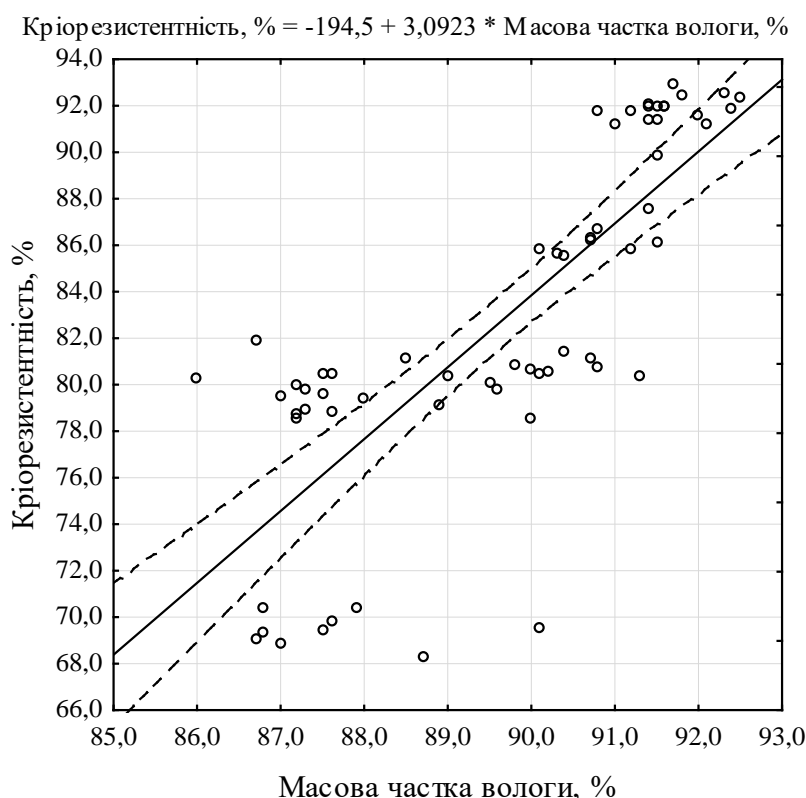


Рисунок 3. Зв'язок між масовою часткою вологи та кріорезистентністю заморожених ягід суниці залежно від концентрації розчину мальтодекстрину та тривалості зберігання

знижувалася і до кінця зберігання втрати склали, в середньому, 0,87 % (рис.5).

Частка вологи осмотично-поглиненої достовірно залежала лише від концентрації розчину мальтодекстрину, тоді як істотної різниці залежно від тривалості зберігання ягід не встановлено. Рівень вологи осмотично-поглиненої в ягодах коливався в межах від 40,98 % на контролі до 42,04 % у варіанті з максимальною концентрацією розчину мальтодекстрину, що поступалося у більшості випадків аналогічним значенням досліджуваного показника оброблених перед заморожуванням та свіжих ягід.

Впродовж зберігання ягід суниці в замороженому стані частка вологи осмотично-поглиненої за усередненими даними складала 41,35-41,64 %, за деякого її зниження впродовж зберігання.

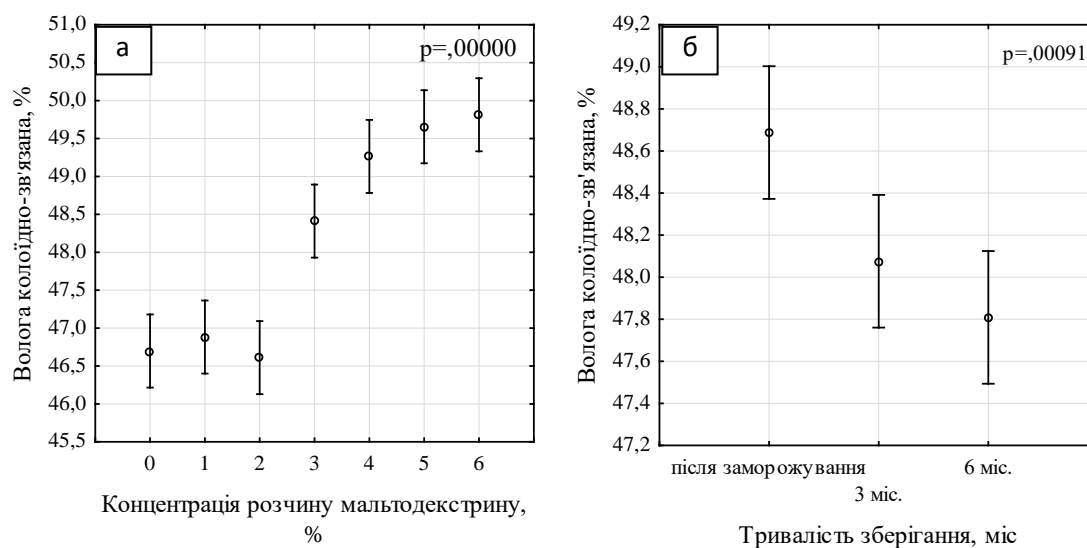


Рисунок 4. Волога колоїдно-зв'язана в заморожених ягодах суниці залежно від: а – концентрації розчину мальтодекстрину, б – тривалості зберігання, % (результати дисперсійного аналізу)

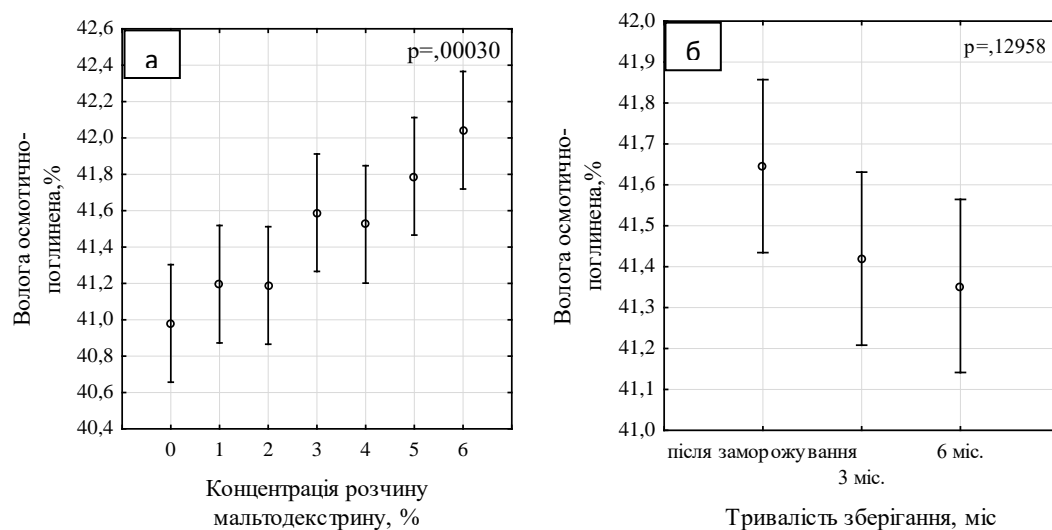


Рисунок 5. Волога колоїдно-зв'язана в заморожених ягодах суниці залежно від: а – концентрації розчину мальтодекстрину, б – тривалості зберігання, % (результати дисперсійного аналізу)

Висновки. Попередня обробка ягід суниці перед заморожуванням в розчині мальтодекстрину сприяє збереженню масової частки вологи в ягодах, підвищує здатність клітин утримувати вологу за рахунок збереження частки колоїдно-зв'язаної вологи. Кращі результати отримано за попередньої обробки ягід суниці в розчині мальтодекстрину 6 %-ї концентрації.

Список використаних джерел

1. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Харчування як основний



чинник збереження стану здоров'я населення. *Проблеми старіння и довголіття*. 2016. Т. 25, № 2. С. 204–214. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PSD_2016_25_2_4.

2. Смоляр В. І. Формування нової концепції харчування. *Проблеми харчування*, 2004. №3. С. 8–13.

3. Oszmiański J., Wojdyło A., Kolniak J. Effect of L-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze–thaw treatment on polyphenol content of frozen strawberries. // *LWT-Food Science and Technology*. 2009. №42(2). P. 581–586.

4. Сімахіна Г. О., Халапсіна С. В. Перспективи використання кріопротекторів в інноваційних технологіях заморожування плодово-ягідної сировини. *Матеріали ІХ Міжнародної конференції «Стратегія качества в промышленности и образовании»*. 31 травня – 7 червня 2013 р. (Варна, Болгария), С. 140–142.

5. Zamorska I.L. Theoretical explanation and development of the storage and canning technologies of strawberries. *Qualifying scientific work as manuscript*.

6. Du Q., Tang J., Xu M., Lyu F., Zhang J., Qiu Y., ... & Ding Y. Whey protein and maltodextrin-stabilized oil-in-water emulsions: Effects of dextrose equivalent. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 339. P. 128094.

7. Zhu J., Li X., Liu L., Li Y., Qi B., & Jiang L. Preparation of spray-dried soybean oil body microcapsules using maltodextrin: Effects of dextrose equivalence. 2022. *LWT*. Vol.154. P. 112874.

8. Xiao Z., Xia J., Zhao Q., Niu Y., Zhao D. Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2022. P. 120113.

9. Fioramonti S. A., Rubiolo A. C., Santiago L. G. Characterisation of freeze-dried flaxseed oil microcapsules obtained by multilayer emulsions. *Powder technology*. 2017. Vol. 319. P. 238–244.

10. Tkaczewska J. Peptides and protein hydrolysates as food preservatives and bioactive components of edible films and coatings-A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol.106. P. 298–311.

11. Khin M. M., Zhou W., Perera C. O. Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*. 2007. Vol.79(3). P. 817–827. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.02.046/

12. Белінська С. Факторний аналіз в управлінні якістю швидкозаморожених плодоовочевих продуктів. *Товари і ринки*. 2013. № 1. С. 5-15. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tovary_2013_1_2.

13. Солоницька І. В. Вивчення процесів заморожування і їх вплив на технологічний процес приготування тіста. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2010. №3. С.11–15.

14. Sirijariyawat A., Charoenrein S. Texture and pectin content of four



frozen fruits treated with calcium. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014. Vol.38(3). P. 1346–1355.

15. Белінська С. О., Орлова Н. Я., Китаєв О. І. Наукове обґрунтування режимів зберігання швидкозаморожених полікомпонентних плодоовочевих продуктів. Режим доступу http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Otkhv/2011_27/Belinska.pdf.

16. Найченко В. М., Заморська І. Л. Технологія зберігання і переробки плодів та овочів: навч. посіб. Умань: видавець «Сочінський», 2010. 328 с.

17. ДСТУ ISO 751:2004. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення сухих речовин, не розчинних у воді (контрольний метод). [Чинний від 2005-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 8 с.

18. Дослідницький практикум. Ч.1: Методи дослідження плодоовочевої та ягідної продукції. [М. Є. Сердюк та ін.]. Тавр. держ. агротехнол. ун-т ім. Дмитра Моторного. Мелітополь: Люкс, 2020. 369 с.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

I. Zamorska
Uman National University of Horticulture

MOISTURE CONTENT AND FORMS IN FROZEN GARDEN STRAWBERRIES FOR FUNCTIONAL USE

Summary

The quality of frozen fruits and berries is determined by the nature of moisture crystallisation and the ratio of its fractions in the cells. The cryoresistance, mass fraction and forms of moisture of fresh and frozen garden strawberries of the Polka variety were studied. Pre-prepared strawberries were treated in a solution of maltodextrin DE 15-20 (Poland) with a concentration of 1, 2, 3, 4, 5, 6 % before freezing, frozen at a temperature of $\text{minus } 30 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, packed in plastic film bags weighing up to 0.5 kg and stored for 6 months at a temperature of $\text{minus } 18 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

It was found that the moisture content of fresh strawberries was 92.5 %, of which colloidally bound moisture was 50.79 % and osmotically absorbed moisture was 41.71 %. The cryoresistance of frozen strawberries was at the level of 69.5-92.0 % with a maximum in the variant with the treatment of berries in a 6 % maltodextrin solution. It was proved that an increase in the concentration of maltodextrin in the solution for processing berries was accompanied by an increase in the level of colloidally bound moisture.

The mass fraction of moisture in frozen berries ranged from 87.68-91.86 % and significantly depended on the concentration of maltodextrin solution.

A direct strong correlation was found between the mass fraction of moisture in strawberries and the ability to retain it ($r=0.79\pm 0.3$), which indicates an increase in the ability of berry cells to retain moisture with an increase in the concentration of maltodextrin in the solution.



A reliable dependence of the proportion of colloiddally bound moisture on the concentration of maltodextrin solution and the duration of storage of frozen strawberries was proved, with a maximum - in the variant with the treatment of berries in a solution of maltodextrin with a concentration of 6 % - 49.81 %, and a decrease by the end of storage by 0.87 %.

It was found that the proportion of osmotically absorbed moisture significantly depended only on the concentration of the maltodextrin solution, with the level of osmotically absorbed moisture ranging from 40.98 % to 42.04 %, with a slight decrease during storage. The pretreatment of strawberries in a solution of maltodextrin with a concentration of 6 % achieved maximum moisture retention in the berries.

Key words: freezing, strawberries, maltodextrin, cryopreservation, moisture content, moisture forms.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-32

УДК 641.053.2:664.65

Igor Mazurenko¹, Doc. of Engin., Prof. ORCID: 0000-0003-2233-7563Yunbo Li², PhD, Assoc. Prof. ORCID: 0000-0002-6590-6044Shao Zhengzheng², PhD ORCID: 0000-0001-9776-133XYangui Xie¹, Lecturer ORCID: 0000-0001-6722-1105¹*Hunan University of Humanities, Science and Technology, Hunan, 417000 China*²*School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Henan 453003, China*

e-mail: 0487222489@ukr.net, tel.: 067-706-76-62

FLOUR AND CONFECTIONERY PRODUCTS FOR CHILDREN. REQUIREMENTS FOR QUALITY AND SAFETY INDICATORS

Summary. The issue of safety and quality of children's and general nutrition products has gained great importance among doctors of pediatricians, doctors of narrow specialization, scientists of various fields of science, as well as in domestic and international trade. The proposed range of flour and confectionery products for children is diverse. Domestic and foreign manufacturers offer products that are packaged in colored consumer packaging that interests the child. Behind such a marketing move are "hidden" components that are used in production and have a negative effect on the body of both a child and an adult.

The quality of products intended for children's nutrition is first of all a list of product properties that are able to satisfy the physiological needs of the child's body in food products, based on their chemical composition and energy value.

The results of research on raw materials and components, which are advisable to use in the production of flour and confectionery products for children, are presented. The negative or positive effect of products on the child's body has been established. The results of the research will form the basis of the development of regulatory and technological documents for the production of fundamentally new products for children.

Key words: candies, confectionery, cookies, flour, quality, safety, snacks, structure, texture.

According to the current cooperation documents signed by the Governments of China and Ukraine, international cooperation in the field of ensuring the proper quality and safety of baby food products is allowed,



which is carried out by participating in the work of international organizations, concluding international agreements on the development of new types of baby food products and promising technologies of its production, harmonization of requirements for the quality and safety of healthy food with relevant international requirements, exchange of information on measures used to ensure the quality and safety of baby food, including issues of implementing a risk analysis system at enterprises and control (regulation) at critical points (HACCP) [1-4].

Nutrition is one of the most important factors affecting the health of the population. It ensures the normal development of children, contributes to the prevention of diseases, prolongation of life and creates conditions for adequate adaptation of a person to the natural environment. Therefore, the issue of children's healthy nutrition is one of the most important in the implementation of the state's social policy. A successful solution to the problem of child nutrition depends on the creation of conditions for the production of high-quality and safe food products.

Food is the only source of vital substances: proteins, fats and carbohydrates, minerals, trace elements and vitamins necessary for the growth and formation of the child's body. Proper nutrition contributes to an active life and resistance of the body to the adverse effects of the external environment. Thanks to the breakdown products of food substances through complex chemical transformations in the body, there is a continuous synthesis of proteins and protein substances, lipids, carbohydrates, mineral and other complex compounds, necessary to ensure the stability and renewal of morphological structures, the formation of functionally active compounds - enzymes, hormones.

A constant volume of energy is required for the implementation of synthesis processes. Energy exchange, one of the main manifestations of vital activity, thanks to which growth and development is carried out, high orderliness of exchange processes and functional organization of biological systems is ensured. The body receives the energy it needs, which is formed during the breakdown of carbohydrates and fats, to a lesser extent, proteins, which are used in the body, mainly as a building material for each cell, the basis for chemical processes and plays one of the key roles in the immune system.

The age of the child affects the required amount of energy. The younger the child, the greater the influx of energy required to cover the energy costs associated with its intensive growth, development, metabolism and maintenance of basic vital functions. Due to the functional immaturity of the central nervous system and a number of other organs and systems, the high tension of general processes, the child's growing body quickly reacts to a lack or excess in the nutrition of certain food substances due to a change in the most important functions - a violation of physical and mental



development, a disorder of the functioning of organs that carry the main functional burden of ensuring homeostasis, weakening natural and acquired immunity. Therefore, nutrition should correspond to the composition, quantity and quality of all components - proteins, fats, carbohydrates, mineral salts, micro-elements and vitamins to the age-related physiological needs of the child's body. All food substances, according to their role in the body, are divided into two groups: essential and replaceable. It is known that essential nutrients are those that cannot be synthesized in the body at all or are synthesized in an amount insufficient to satisfy the need for them. Proteins, vitamins, some fatty acids (polyunsaturated), minerals and water are essential nutrients.

The World Health Organization (WHO) in its own research on the state of health of people in the world [5]. notes the interrelationship of the influence of the quality and safety of nutrition on the occurrence of a number of diseases that gradually transition into a chronic phase, fig. 1.

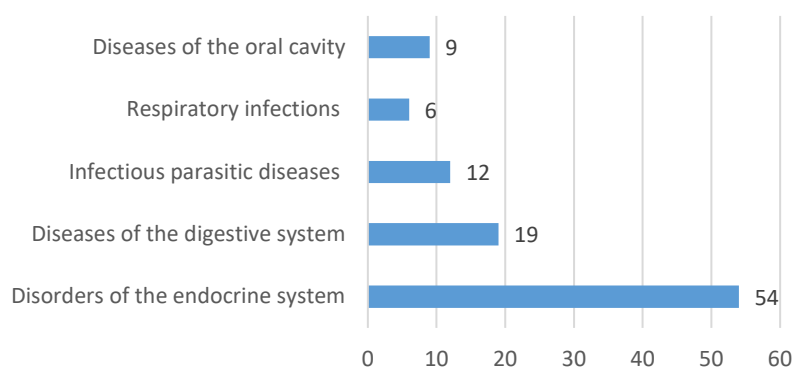


Figure 1. The influence of nutrition on the development of diseases in children and adolescents, %.

Scientists in the field of nutrition note that improper feeding of children leads to obesity, caries, and disruption of the proper functioning of the entire body. At the same time, lack of physical activity and negative eating habits affect the development of cardiovascular diseases and diabetes. It should be noted that negative effects are observed in children and adolescents of different ages regardless of skin color, social status, etc. [6 - 8].

The most common problem in the whole world is a disease of the endocrine system - obesity. Consumption among children of harmful foods, junk food (chips, salty crackers, sweet snacks, pizza) has increased, which has led to a significant increase in energy consumption due to "empty" calories. Over a significant period, the total daily energy consumption of children aged 2 to 6 years increased by 109 kcal (from 1475 to 1584). The epidemic level of childhood obesity is a big problem. However, in many cases, obesity can be prevented by the presence of specialized foods in the diet [7].



World experience shows that the so-called "snack" products with a low content of fats and added sugars should become alternative products for snacks for children and teenagers in the near future: cookies with a high fiber content and low fat and sugar content, whole grain cereal bars; low-fat snacks with low salt content, without preservatives and with natural flavors and colors.

Pediatricians and nutritionists have studied the potential impact of candy consumption on health risk factors in children and adults. Effects on body weight and disease risk indicators such as blood pressure, cholesterol and blood glucose levels have been studied. Evidence from cross-sectional studies challenges the notion that candy consumption is associated with an increased risk of cardiovascular disease or obesity in children and adults.

It has been established that moderate consumption of dark chocolate or cocoa can have a positive effect on health. This conclusion was based on a review of a significant amount of published research on the effects of cocoa on human cardiovascular function. A small amount of cocoa or chocolate consumption is associated with a number of positive effects on the state of the cardiovascular system. Clinical trials have confirmed short-term cardiovascular effects from consuming products rich in cocoa flavonoids.

In the production of flour and confectionery products for children, a wide range of components is used, which are not always useful and safe.

One of the main ingredients of confectionery products is fat. It participates in the formation of the characteristic structure of the product and its sensory characteristics included in the composition of the products.

The presence of fat in the product affects the shelf life of the product, rheological properties (softness, texture, structural integrity), technological properties (retention of air bubbles, heat exchange dough preparation, increase in shelf life) During the production of most types of flour confectionery, there is fat in which increased content of saturated fatty acids. Saturated fat consumption is believed to be associated with an increased risk of cardiovascular disease. Scientists in the field of nutrition and medicine recommend the desired consumption of fats in the amount of about 30% of the total caloric content of the diet. Saturated fats can account for no more than one third of them. It has been proven that the risk of cardiovascular diseases is reduced when replacing saturated fatty acids (FA) in food products with polyunsaturated (PAFA) with a sufficient amount of omega-3-PAFA and monounsaturated fatty acids (MAFA). Epidemiological studies carried out in a number of countries have proven a direct connection of trans isomers of fatty acids, the main source of which is hydrogenated fats, with cardiovascular diseases, breast cancer, shortening of the pregnancy period, disorders of the nervous system and vision in children, oncological diseases of the colon intestines, diabetes, obesity and allergies [6, 7].



It should be noted that the quality of the used fat significantly affects the nutritional value of the finished product, shelf life and stability during storage. During production, it is necessary to carry out input control on the main indicators of fat safety:

- fatty acid composition - shows the risk of changes in organoleptic parameters during storage as a result of oxidative and microbiological processes. According to the data of the fatty acid composition, it is possible to preliminarily estimate the rate of oxidative changes and identify the types of raw materials used;

- acid number - characterizes the degree of fat splitting and the presence of free fatty acids. The higher the acid number, the faster the fat spoiling process;

- induction period - an indicator that characterizes the stability of fat before oxidation processes and is expressed as the time interval between the moment when the fat sample reaches a given temperature and the moment when the rate of formation of oxidation products begins to increase rapidly. It is one of the methods of accelerated testing and a means of forecasting, which allows you to avoid long shelf life tests [9].

One of the main types of raw materials used in the production of traditional confectionery products is sugar. The recommended level of total daily intake of added sugar in the diet should not exceed 50 g per day, which is less than 10% of the caloric content of the diet at the rate of 2000 kcal per day for a person. These recommendations are included in the initiative of the World Health Organization (WHO), and are recommended for children older than 3 years and adults.

According to the data of the national examination of health and nutrition of the USA, the share of additional energy coming from added sugars was $14.3 \pm 0.2\%$ (in children from 2 to 8 years old), $16.2 \pm 0.2\%$ (in children and adolescents from 9 to 18 years old) and $13.1 \pm 0.2\%$ (in youth over 19 years old). The main sources of added sugars in the body of children and adolescents are sweet ready-made breakfast cereals, sweet bakery and confectionery products, drinks and yogurts [10].

The main ingredient of flour confectionery is high-grade wheat flour, the content of which in the recipe can vary from 55 to 65%. Wheat flour of the highest grade consists of finely ground particles of the central part of the endosperm and is practically free of bran (food fibers).

The production technology involves the loss of a large number of native vitamins and minerals, which are destroyed together with the peripheral parts of the grain. It has been proven that dietary fibers are an evolutionarily important component of food, play a significant role in normalizing the activity of the gastrointestinal tract, increase the mass of the muscle layer, affect the motor activity of the body, the rate of absorption of food substances in the small intestine, etc.



The use of flavorings and dyes is an integral part of the process of creating confectionery products. A big role here is played by traditions, habits, a sense of harmony that arises in the human body when eating food products with a certain pleasant taste and aroma. Most modern foods contain artificial flavors and colors that are originally chemicals. They are relatively cheap and more resistant to external influences compared to their natural counterparts.

It should be noted that the use of non-natural flavors, consistency and taste stabilizers, and thickeners in the production of products for children is prohibited. However, modern realities reflect otherwise. Food manufacturers are not always honest with consumers. This is due to a lot of competition in the market. To promote products, manufacturers use characters from children's movies for the sake of advertising, use inscriptions regarding the functionality of the product, do not fully indicate the composition of the product or the quantitative composition of the ingredients. To reduce the cost of the finished product, there are facts about the use of raw materials and auxiliary materials and components that are prohibited for the production of products for children.

The results of the conducted research will form the basis of further applied and fundamental research. Based on the received data, uniform technological requirements for quality and safety indicators will be created, which will be reflected in the regulatory and technological documentation for the production of flour and confectionery products for children.

References

1. Agreement on cooperation in the field of standardization, metrology, conformity assessment between the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine and the Main Directorate for Quality Control, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Access mode: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/index>
2. Law of Ukraine "On Children's Nutrition" as amended by Laws No. 2746-VI dated 02.12.2010, No. 5460-VI dated 16.10.2012 [Electronic resource] // Government portal. The only web portal of executive authorities of Ukraine. - Access mode: <http://www.kmu.gov.ua>
3. Program of Ukrainian-Chinese investment cooperation in the agro-industrial complex. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/index>
4. Regulation (EU) of the European Parliament and the Council of Europe "On sanitary and hygienic rules for the production of food products" dated April 29, 2004 No. 852/2004. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-04#Text
5. United Nations Children's Fund, UNICEF official website. Access mode: URL: <https://www.unicef.org>



6. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data : Pocket book of hospital care for children: guidelines for the management of common childhood illnesses – 2nd ed./2013 ISBN 978 92 4 154837 3 URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/81170/9789241548373_eng.pdf?sequence=1

7. Marinos Elia OrganizationOfNutritionalSupportWithinHospitals Monogrffia, BAPEN, August 2007. 33 p.

8. Kramarov S.O., Nadraga O.B., Pyra L.V., Pediatric Infectious Diseases: textbook et al. - 4th edition All-Ukrainian specialized education "Medicine", 2020, P-240

9. Kravtsiv R. Y., Paska M. Z., Oschypok I. M. Technology of fats: educational manual: Lviv, 2008. 112 p.

10. Mazurenko Igor, Shao Zhengzheng, Products for children with infectious diseases. Technologies and assortmen, Monograph. - Hunan University of Humanities, Science and Technology, China, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine, School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China, 2022. 296 p. ISBN 978-966-927-852-4

Стаття надійшла до редакції 21.02.2023 р.

I. Мазуренко¹, Yunbo Li², Shao Zhengzheng², Yangui Xie

¹Хунанський університет гуманітарних наук, науки і технологій, Хунань, Китай

²Школа харчових наук, Хенанський інститут науки і технологій, Хенань, Китай

БОРОШНЯНИ І КОНДИТЕРСЬКІ ВИРОБИ ДЛЯ ДІТЕЙ. ВИМОГИ ДО ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ

Анотація

Питання безпечності та якості продуктів дитячого та загального харчування набуло великої важливості серед докторів педіатрів, докторів вузької спеціалізації, вчених різних галузей науки, а також у внутрішній в міжнародній торгівлі. Запропонований асортимент продуктів борошняних та кондитерських виробів для дітей різноманітний. Вітчизняні та іноземні виробники пропонують продукти, які упаковані у кольорову споживчу тару, яка зацікавлює дитину. За таким маркетинговим ходом «сховані» компоненти які використані при виробництві та негативно впливають на організм як дитини так і дорослої людини.

Контроль за продуктами харчування – це обов'язкова регулятивна дія, яка здійснюється під час забезпечення виконання законів, стандартів та інших нормативних актів щодо продуктів харчування, державними або місцевими органами влади з метою захисту споживачів. Об'єктивний контроль сприяє безпечності всіх харчових продуктів під час виробництва, транспортування, зберігання, перероблення та розповсюдження, їх придатності до споживання, відповідності вимогам щодо безпечності та якості, а також гарантує те, що вони правдиво та ретельно промарковані.



Якість продуктів, які передбачені для харчування дітей це перш за все перелік властивостей продукту, які здатні задовольнити фізіологічні потреби організму дитини в продуктах харчування, виходячи з їх хімічного складу та енергетичної цінності. Паралельно встановлено, що не правельне харування, а саме використання у раціоні дитини блюд швидкого приготування та продуктів з використанням штучних барвників, загустовувчів, емульгаторів, стабілізаторів консистенції та смаку призводить до хронічних захворювань та порушенню правильної роботи усього організму. Негативний вплив відмічається у дітей та підлітків різного віку не залежно від кольору шкіри, соціального стану тощо.

Наведені результати досліджень сировини та компонентів, які доцільно використовувати при виробництві борошняних та кондитерських виробів для дітей. Встановлено негативний або позитивний вплив продуктів на організм дитини. Результати досліджень увійдуть в основу розроблення нормативних та технологічних документів на виробництво принципово-нових продуктів для дітей.

Ключові слова: безпечність, борошно, кондитерські вироби, печиво, снеки, структура, текстура, цукерки, якість.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-33

УДК 621.316.929

І. О. Попова, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-5429-8269

С. В. Чаусов, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-3811-9077

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,

e-mail: iryna.popova@tsatu.edu.ua, тел.: 098-376-55-19

e-mail: sergii.chausov@tsatu.edu.ua, тел.: 066-743-76-21

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИБОРУ ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Анотація. Під час експлуатації двигунів в мовах агропромислового комплексу кожен рік з ладу виходить до чверті асинхронних двигунів в зв'язку з різними експлуатаційними факторами, які не були враховані виробником. Найбільш уразливим елементом конструкції електродвигуна є його обмотка. На швидкість зносу ізоляції впливає ряд чинників, що, веде до збільшення температури обмотки та погіршення властивостей. В роботі розглядається пристрій захисту асинхронного двигуна на рівні: алгоритму роботи пристрою, структурної та принципової електричної схеми пристрою захисту асинхронного двигуна на базі мікроконтролера та сучасної апаратної бази при несиметрії напруги мережі і тривалого температурного перевищення температури статорних обмоток. Висунуті вимоги, яким повинен задовольняти пристрій захисту групи електродвигунів і розроблено його алгоритм роботи і принципова схеми на сучасній апаратній базі. Пристрій передбачає контроль фазних і лінійних напруг асинхронного двигуна, діагностування температури обмоток статора, сигналізацію аварійних режимів роботи двигуна.

Ключові слова: надійність експлуатації, математична модель, пристрій захисту, моніторинг, трифазний асинхронний двигун, датчик температури, структурна схема, принципова схема.

Постановка проблеми. Найбільшого застосування на сільськогосподарських підприємствах знаходять асинхронні трифазні двигуни з короткозамкненим ротором (АД), які надійні, прості і дешеві.

В сільськогосподарському виробництві використовують АД різних потужностей, але переважають електродвигуни потужністю 0,6-13 кВт, причому в цій групі найбільша кількість АД потужністю 1,5-5,5



кВт, а це більше 60 % від усіх АД, що використовуються, з них найбільша доля потужністю 1-3 кВт [1]. А електродвигуни потужністю до 20 кВт складають 96 % задіяних у АПК для виготовлення комбікормів, у зернопереробних комплексах, вентиляції, водопостачанні, зрошенні, пневмотранспорті та інше.

Не дивлячися не це, щорічно в сільському господарстві виходить з ладу 20–25 % АД від наявного парку [2]. Все це виникає не заважаючи на те, що АД, як правило, забезпечені пускозахисною апаратурою.

Основна причина виведення їх з ладу – аварійні режими: перевантаження, обрив фазного проводу і несиметрія напруги мережі (до 45 %), заклинювання і руйнування підшипникового вузла та інші. Зі сказаного слідує, що виникнення несиметрії фазних напруг і обрив фазного проводу та перегрів обмотки статора є однією з основних причин виходу з ладу асинхронних двигунів [2].

Висока аварійність асинхронних електродвигунів обумовлює необхідність вдосконалення існуючих або розробки нових засобів діагностики і захисту їх від аварійних режимів роботи на базі сучасної мікропроцесорної техніки.

Аналіз останніх досліджень. До особливостей експлуатації слід віднести перевантаження асинхронного двигуна за струмом, а до специфічних умов експлуатації - віднести низьку якість електроенергії, зокрема несиметрію напруги мережі. На стабільність і, особливо, симетричність напруги трифазної мережі впливає відносно велика довжина ліній електропередачі і змішане підключення трифазних і однофазних споживачів. Несиметрична система напруги на затискачах асинхронного двигуна призводить до виникнення напруги зміщення нейтралі, що викликає несиметрію фазних струмів, наслідком чого є збільшення фазних струмів. Такі експлуатаційні особливості створюють значні ускладнення при роботі асинхронних двигунів і, особливо, при виборі пристроїв діагностування їхніх режимів роботи й захисту від аварійних режимів [1].

Головна причина виходу асинхронних електродвигунів, в переважній більшості випадків, є пошкодження їх обмотки статора, руйнування ізоляції статорних обмоток із-за перегріву. Тому розробка і удосконалення пристроїв захисту від аварійного режиму роботи асинхронного двигуна є одним з шляхів вирішення проблеми їх експлуатаційної надійності.

Існуючі засоби захисту асинхронних двигунів доцільно класифікувати за параметрами, які контролюються чутливим органом. Діагностування здійснюється по:

- струму (максимальному, прямої, зворотної і нульової послідовності, куту зсуву фаз споживаних струмів і тепловій дії струму);



- напрузі (мінімальній, прямій, нульовій і зворотній послідовностей);

- температурі (обмоток статора, сталі статора і корпусу) [2, 3].

За принципом побудови пристроїв діагностування та захисту їх можна поділити на три групи.

До першої групи відносяться так звані спеціальні пристрої, що діагностують і захищають асинхронний двигун від одного аварійного режиму, наприклад, реле обриву фаз.

У другу групу входять універсальні пристрої (теплові реле, пристрої типів УВТЗ та ін.), які захищають двигун при різних аварійних ситуаціях. Вони контролюють один з параметрів асинхронного двигуна (силу струму, температуру обмотки й ін.), критичний для декількох аварійних режимів.

До третьої групи відносяться комбіновані пристрої, що дозволяють діагностувати і захищати двигуни при багатьох аварійних режимах. Це можна досягти, якщо контролювати кілька параметрів асинхронного двигуна [4,5]. Безумовно перевагу віддають комбінованим пристроям.

Використання сучасної цифрової мікросхемотехніки надає особливу актуальність розробці та впровадженню мікропроцесорного пристрою захисту асинхронних двигунів технологічних ліній [6-8].

Розроблений пристрій передбачає захист асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором від несиметричних експлуатаційних режимів та тривалого перевантаження за струмом.

Формулювання цілей статті. Проаналізувати особливості процесів, які відбуваються в обмотках асинхронного двигуна під час експлуатації. На підставі аналізу існуючих досліджень розробити структурну і принципову схеми захисного пристрою асинхронного двигуна, що передбачає його захист від перевантаження та аномальних режимів експлуатації.

Основна частина. Швидкість теплового зносу ізоляції асинхронного двигуна в сталому режимі роботи залежить від несиметрії напруги мережі, технічних даних АД і робочої машини, коефіцієнта завантаження робочої машини, виду її механічної характеристики, температури навколишнього середовища [9, 10]. При синтезі функціоналу пристрою слід передбачити, що пристрій захисту трифазного асинхронного двигуна буде відключати двигун від мережі при обриві фази, відхиленні фазної напруги (перекосі фаз) більш ніж на ± 30 В. і нагріві обмотки статора більше ніж 115°C (за умови застосування класу ізоляції F).

З огляду на сучасні тенденції розробки сучасного приладобудування захисний пристрій доцільно реалізувати на базі мікроконтролера із застосуванням цифрового вимірювального



перетворювача температури. Якщо відбувається виникнення аварійних режимів в кожній фазі і виникають перевищення температури обмотки двигуна, то дана ситуація повинна супроводжуватись включенням відповідних сигнальних світло діодів, і за необхідності, відключенням двигуна. При цьому для покращення вимірювання значень напруги слід передбачити використання прецизійного джерела опорної напруги, що забезпечить задану точність перетворення аналогових даних в цифрові.

Для вимірювання і порівняння використовуємо випрямлену напругу фаз відносно нульового проводу. Для живлення МК і інших мікросхем використане без трансформаторне джерело живлення. Для відключення АД від мережі в разі аварійного режиму передбачаємо проміжне реле, яке повинно бути приєднане до від вихідних портів мікроконтролеру через пристрої гальванічної розв'язки.

Розроблена блок-схема алгоритму функціонування, яка представлена на рисунку 1. Алгоритм роботи пристрою захисту наступний. Після включення мікроконтролера виконується ініціалізація його регістрів і включається керуючий вихід. Після чого проводиться зчитування значення опорної напруги.

Під час пуску двигуна або групи двигунів, можливі провали або стрибки напруги в фазах, які обумовлені пусковими струмами, тому пристрій захисту по напрузі починає працювати через одну хвилину після включення двигуна. Затримка реалізована шляхом послідовного включення таймера МК і двох дільників, кожний з яких має коефіцієнт ділення, наприклад, 30.

Далі послідовно виконується вимір напруги фаз А, В, С. Після кожного виміру фаза перевіряється на обрив. Якщо виміряна напруга дорівнює нулю, тобто спостерігається обрив фази, тоді вихід зразу відключається. Після чого слідує перевірка величини виміряної напруги у фазі на вихід за межі діапазону. Нормальне значення діапазону встановлюється в межах 190-250 В. Якщо величина визначеної напруги вийшла за діапазон 190-250 В, то включається лічильник помилок, який необхідний для підвищення завадостійкості пристрою. Таким чином забезпечується стійкість до різних випадкових викидів напруги. При декрементуванні восьмирозрядного лічильника від нуля до нуля його коефіцієнт ділення дорівнює 256. Якщо в середньому період проходження всієї програми 7 мс, час затримки вимикання двигуна приблизно 1,8 с. Для кожного порівняння напруги має місце свій автономний лічильник, з приводу цього якщо наступне вимірювання напруги прийде до норми, тоді даний лічильник обнулюється. Таким чином, для вимикання АД необхідно послідовно 256 помилок вимірювання. Після порівняння лінійної (міжфазної) напруги А-В, В-С, С-А, їх різниця перевіряється на перевищення заданого граничного значення ($\pm 30\text{В}$). Якщо несиметрія між лінійними



напругами перевищує задане граничне значення (± 30 В), тоді включається лічильник помилок.

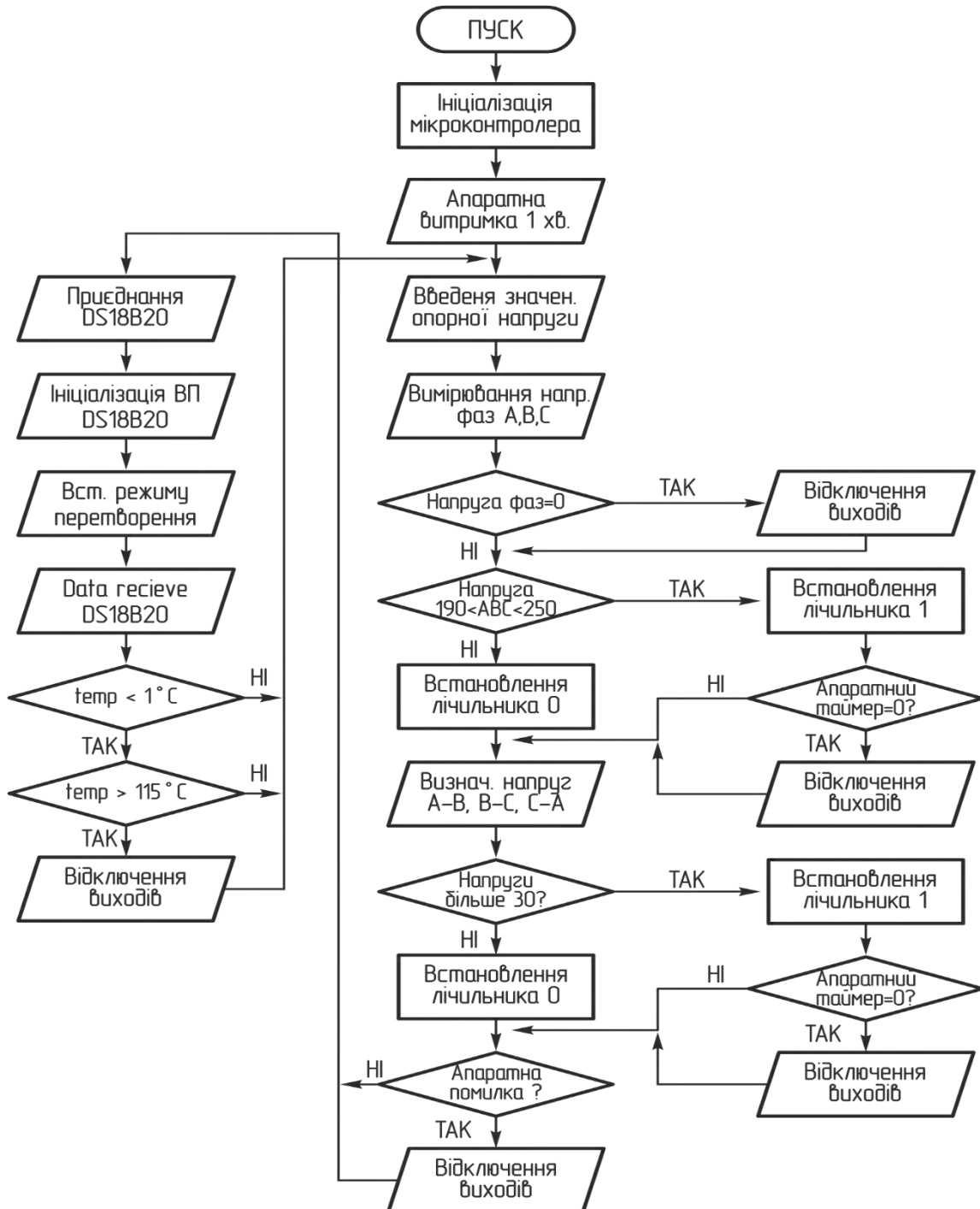


Рисунок 1. Блок-схема алгоритму роботи пристрою захисту трифазного асинхронного двигуна.

Вимикання виходу відбувається за алгоритмом аналогічно описаному вище, через 1,8 с. При вимиканні виходу встановлюється ідентифікатор помилки, який вимикається тільки після перезапуску МК кнопкою «Reset». При відсутності помилки підтверджується включення виходу і МК переходить до блока вимірювання температури



електродвигуна.

Визначення температури починається з ініціалізації вимірювального перетворювача температури і видачі команди дозволу перетворення. Після прийому даних від датчика температури, впродовж однієї секунди секунд (1 с), оскільки перші данні можуть бути недостовірні і потрібен деякий час для їх стабілізації, введена затримка часу початку порівняння. Оскільки обмотки двигуна мають певну теплову інерцію, то за такий короткий час обмотки двигуна не встигнуть істотно нагрітися. Таким чином подібна затримка не знижує якості захисту електродвигуна. Після відпрацювання часу затримки встановлюється ідентифікатор «однієї секунди», і кожне наступне вимірювання перевіряється на задане граничне перевищення температури ізоляції обмотки. Якщо температура перевищує граничне перевищення температури ізоляції обмотки, вихід виключається. Програма переходить до нового циклу вимірювання напруги по фазах.

Розробка структурної схеми пристрою. На основі алгоритму роботи пристрою захисту стає можливим розробити структурну схему пристрою, Пристрій повинен містити з наступні блоки: блок випрямлення напруги фаз, блоки дільників напруги фаз, згладжуючі фільтри; блок синтезу опорної напруги аналогово-цифрового перетворювача; первинний перетворювач температури обмоток; блок підстроювання; мікроконтролер керування; блок світлової індикації напруги та температури; блок гальванічної розв'язка кіл; блок керування двигуном; блок живлення мікросхем пристрою захисту

Напруга фаз L_1, L_2, L_3 спочатку випрямляється блоком випрямлення, потім знижується за допомогою дільників напруги. Згладжуючим конденсаторним фільтром прибираються вищі гармоніки напруги. Після чого значення напруги поступає на мікроконтролер, де відбуваються порівняння напруги згідно алгоритму. Блок світлової сигналізації спрацьовує в разі аварійної ситуації (відсутності напруги на фазах двигуна або невідповідності напруги заданим граничним значенням, тощо). На виході МК через гальванічну розв'язку кіл, виконану на оптосимістрі, включається пристрій керування двигуном. Його контакти включають і відключають двигун від трифазної мережі живлення. В структурі пристрою доцільно передбачити кнопку «Reset» для пере запуску контролера керування і включення електродвигуна після усунення аварійної ситуації. Для контролю температури фаз двигуна доцільно використати цифровий вимірювальний перетворювач температури, який необхідно вбудувати в обмотки двигуна. Для настройки величини температури обмоток, слід передбачити модуль підстроювання або можливість проведення цієї процедури при перепрограмування пристрою.

Розробка принципової електричної схеми пристрою. Пристрій



захисту повинен забезпечувати виконання наступних умов [9]:

- здійснення контролю напруги фаз А, В, С, а при відхиленні фазної напруги (перекосі фаз) в межах 19-250 В відключати його від електричної мережі;

- здійснення контролю лінійної напруги А-В, В-С, С-А, при відхиленні більш ніж на ± 30 В відключати його від електричної мережі;

- здійснення контролю температури статорної обмотки, при перевищенні гранично допустимого значення для класу ізоляції АД (наприклад, 115 °С) відключати його від електричної мережі;

- світлова сигналізація виникаючих аварійних ситуацій: відхилення напруги, обрив фази або перевищення температури обмотки статора граничнодопустимого для класу ізоляції АД.

Пристрій побудований на мікроконтролері (МК) PIC16F676 і цифровому вимірювальному перетворювачі температури DS1820 [12]. Виникнення аварійних режимів в кожній фазі і перевищення температури статорних обмоток двигуна супроводжується включенням відповідних сигнальних світлодіодів. В пристрої для виміру і порівняння використовується випрямлена напруга фаз відносно нульового проводу. Принципова електрична схема пристрою показана на рисунку 2. Для зниження напруги, що вимірюється на фазах використані дільники напруги, які реалізовані резисторами R1...R3 і R10...R12, які мають коефіцієнт ділення 1:100. Змінна напруга на фазах випрямляється однополуперіодним випрямлячем, що складається з діодів VD1...VD3 та стабілітронів VD7...VD9. Випрямлена напруга згладжується конденсаторним фільтром C4...C6 і поступає на входи RA0...RA2 МК DD2. У лінії зв'язку термодатчика DD1 з входом RC4 МК встановлений резистор R13.

Частота МК задається від внутрішнього генератора частоти 4 МГц. Частоту тактового генератора, поділену на чотири (1 МГц), можна спостерігати на виході RA4 (вихід 3 МК), контролюючи таким чином працездатність МК. Вихід RA3 МК через оптодіод U1 і симистор VS1 включає пускове реле K1. Його контакти K1.1...K1.3 здійснюють подачу напруги на електродвигун або виключають його. Світлодіоди HL1... HL4 сигналізують про виникнення аварійного режиму. Величини резисторів R6...R9 підбирають в залежності від вибраного типу світло діодів і необхідної яскравості світіння. На принциповій схемі прийняті світлодіоди типу КІП Д21-ПК.

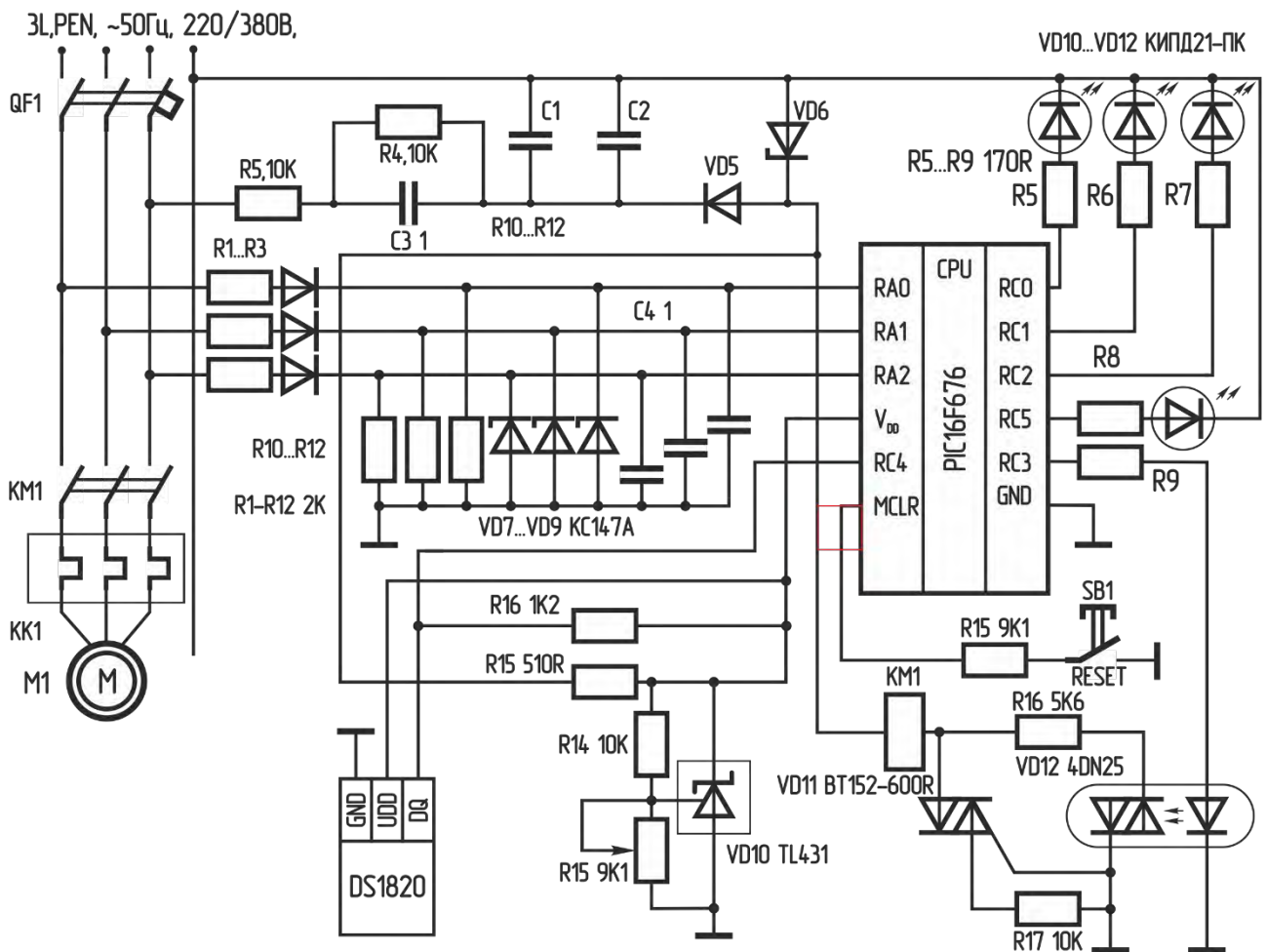


Рисунок 2. Структурна схема пристрою захисту.

Кнопка SB1 «Reset» необхідна для перезавантаження мікроконтролера і включення електродвигуна після усунення аварійного режиму. Для живлення схеми в мікроконтролера використане без трансформаторне джерело живлення з конденсатором C3. Конденсатор C3 типу K73-17 повинен мати допустиму напругу не менше 400 В. Для забезпечення необхідної точності вимірювання напруги в схемі використовується прецизійне джерело опорної напруги VD10 на базі TL431. Для підбора та регулювання значення опорної напруги в схемі застосовано резистор R15. З метою забезпечення заданої точності настройки опорної напруги даний резистор доцільно вибрати багатообертним. При цьому загальна величина значення опорної напруги може бути змінена співвідношенням резисторів дільника напруги R14 та R15.

Стабілітрони VD7...VD9 можна замінити стабілітронами типу KC147A. Якщо відсутня необхідність у виміру перевищення температури ізоляції обмотки, тоді датчик температури DS1820 можна не встановлювати (тоді буде відсутній захист електродвигуна від перегріву ізоляції), але лінія зв'язку в обов'язковому порядку повинна



залишатися навантаженою резистором R13.

Пристрій працює наступним чином. Після включення МК виконується ініціалізація його регістрів і включається керуючий вихід. Під час пуску двигуна або групи двигунів, можливі провали або стрибки напруги в фазах, які обумовлені пусковими струмами, тому пристрій захисту по напрузі починає працювати через одну хвилину після включення двигуна. Далі послідовно виконується вимір напруги фаз А, В, С. Після кожного виміру фаза перевіряється на обрив. Якщо виміряна напруга дорівнює нулю, тоді вихід зразу відключається. Потім слідує перевірка величини виміряної напруги у фазі на вихід за межі діапазону (190-250 В). Якщо це трапилось, то включається лічильник помилок МК, який затримує час вимикання двигуна приблизно 1,8 с. Для кожного порівняння в МК має місце свій лічильник, з приводу цього якщо наступне вимірювання напруги прийде до норми, тоді даний лічильник скадається на 0. Після порівняння лінійної напруги А-В, В-С, С-А, їх різниця перевіряється на перевищення заданого граничного значення (30 В). Якщо несиметрія між лінійними напругами перевищує задане граничне значення (30 В), тоді включається лічильник помилок. Вимикання АД відбувається аналогічно через 1,8 с.

Налагодження пристрою виконується без МК. Спочатку перевіряють напругу живлення МК, яке повинно бути 5,1 В. При іспитах VD4 замінювався п'ятьма екземплярами стабілітронів IN4733A, і всі вони задовольняли цій умові. Перед встановленням резисторів R10... R12 підбирають їхній номінал з точністю 1 %. При цьому не має значення відхилення від величини 2 кОм. Можна використовувати резистори опорами 1,9...2,1 кОм, головним є – забезпечити рівність величин опорів резисторів між собою.

Далі підбирають величини резисторів R1... R3 так, щоб на входах 11...13 МК постійна напруга дорівнювала вхідній напрузі поділеній на 100. При цьому на всі входи може бути подана напруга однієї фази. Практично можна підібрати величину одного резистора, а інші резистори встановлювати величиною, ідентичною підбраному. Це буде справедливо при ретельному підборі резисторів R10... R12. Після встановлення запрограмованого МК пристрій готовий до роботи.

Робота з пристроєм зводиться до аналізу стану світлодіодів при виникненні аварійних режимів. Якщо електродвигун відключився і при цьому ні один світло діод не світиться, то стався обрив фази. Якщо горить один з світло діодів АВ, АС, СА, то можливий вихід напруги за межі діапазону 190...250 В. При цьому перша літера позначення світлодіоду вказує аварійну фазу. При несиметрію напруги («перекіс фаз») надпис під світло діодом, що світиться, відповідає тім фазам, різниця напруги яких більше, ніж 30 В. Як правило, одночасно



включається два світло діода, наприклад, АВ і СА. В цьому разі напруга фази А має відхилення від напруги фаз В і С більш ніж на 30 В. Після спрацьовування пристрою та усунення аварійної ситуації електродвигун вмикається натисканням кнопки «Reset».

Висновки. На підставі проведених досліджень видно, що безперервним діагностуванням доцільно охопити як процеси асинхронних двигунів як при перевантаженні за струмом, так і теплові процеси в режимах несиметрії напруги мережі та пошкодженні фазного дроту. Розроблений пристрій захисний пристрій з використанням сучасної апаратної бази та наведених теоретичних досліджень дозволить збільшити строк службі асинхронного електродвигуна при виникненні несиметрії напруги, в разі неповнофазних режимів його роботи, зворотному чергуванні фаз, а також перевантаженні за струмом.

Список використаних джерел

1. Гурин В. В. Защита асинхронных трехфазных электродвигателей: учеб. пособ., ч.2. Минск: БГАТУ, 2011. 448 с.
2. . Кондратюк О.Ю., Егоров А.Б. Анализ аварийных режимов работы асинхронных двигателей к вопросу выбора их эффективной защиты /зб. наук. праць. Харьков: Укр. инж.-пед. академия, 2006. С. 108–116.
3. Крупенин Н. В., Голубев А. В., Завидей В.И. Новые возможности в диагностике электрических машин. Электричество. 2011. № 9. С. 45–48.
4. Микропроцессорные реле защиты для электродвигателей 6/10 кВ РДЦ-01-057-4, РДЦ-01-057-5. URL: <https://reلسis.ua/produktsiya/zashchita-dvigatелеj/rdts-01-057-4-5>. (дата звернення:17.10.2022).
5. M. Wolkiewicz, M. Skowron. Diagnostic system for induction motor stator winding faults based on axial flux. Power electronics and drives. 2(37), No. 2, 2017. Pp. 137–150. DOI: 10.5277/PED170204
6. Khadim M. S., Giri V. K. Fault diagnosis in induction motors by motor current signal analysis / International Journal of Electronics & Communication Technology. 2011. vol 2. Pp 114–119.
7. Gedzurs A. Temperature protection methods of induction motor /Research for rural development 2015, Latvia University of Agriculture, 2015. P. 258–263
8. Peresada S., Montanari M., Till A., Bolotnikov A., A speedsensorless indirect field-oriented control for induction motors: theoretical result and experimental evaluation / Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і



практика». Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2007. С.60–65.

9. Попова І. О., Курашкін С. Ф., Нестерчук Д. М. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип. 195. Харків : ХНТУСГ, 2018. С. 114–115.

10. Курашкін С. Ф., Попова І. О. Пристрій захисту трифазних асинхронних електродвигунів. Праці ТДАТУ. Вип. 20 .Т.4. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 126–135.

Стаття надійшла до редакції 24.12.2022 р.

I. Popova, S. Chausov

Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

**INCREASING THE PRECISION OF OPERATION OF THE
MICROPROCESSOR PROTECTION DEVICE FOR THE
THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTORS**

Summary

During the operation of engines in the conditions of an agro-industrial complex, up to a quarter of asynchronous motors from the existing quantity fail every year.

In order to increase the operational reliability of asynchronous electric motors with a short-circuited rotor and their resource conservation, to reduce losses of active power in the stator windings, the process of resource consumption of the insulation of an asynchronous motor with a short-circuited rotor in the case of asymmetry of the voltage of the rural network and when the temperature of the stator winding of the asynchronous motor is increased relative to the nominal temperature is investigated in the work as a result of long-term current overload.

The article considers the asynchronous motor protection device at the level of: mathematical modeling, device operation algorithm, structural and principle electrical circuit of the asynchronous motor protection device based on a microcontroller and a modern hardware base in the case of network voltage asymmetry and long-term temperature excess of the stator windings.

The device provides control of phase and line voltages of an asynchronous motor, diagnostics of the temperature of the stator windings, signaling of emergency modes of operation of the motor.

Key words: operational reliability, mathematical model, protection device, monitoring, three-phase asynchronous motor, temperature sensor, structural diagram, schematic diagram.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-34

УДК 620.9

О. Ю. Юрченко, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-3047-6654

Г. В. Барсукова, к.т.н, доц.

ORCID: 0000-0002-4261-2182

Сумський національний аграрний університет

e-mail: aleksyurchenko110917@gmail.com, тел.: 096-610-67-82

ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ КОМПЛЕКСНИМ ПІДХОДОМ

Анотація. Відновлення та обслуговування джерел живлення, в даному випадку, акумуляторних батарей – невід’ємна частина їх життєвого циклу. Від цього залежить їх термін роботи та якість електричної енергії, яку вони передають. Під якістю мається на увазі кількість заряд-розрядів, ємність тощо. Відпрацьований акумулятор має бути утилізованим, що сьогодні є дорогою опцією. Однак, альтернатива у вигляді відновлення акумулятора має одразу кілька переваг. Цим пояснюється, перш за все, унеможливлення негативного впливу на навколишнє середовище, менші фінансові затрати, можливість повторного використання енергетичного ресурсу. У даній роботі представлено метод відновлення акумуляторної батареї низьким струмом та паралельними заряд-розрядами. Результати експериментів довели ефективність використання такої методики для приведення в роботоздатний стан відпрацьованого та недієздатного акумулятора.

Ключові слова: акумулятор, трансформатор, сульфатація, з’єднання провідників, лампа, кислота.

Постановка проблеми. В умовах ХХІ століття, коли питанням зниження негативного впливу на навколишнє середовище віддають чи не найбільшу перевагу, особливе місце посідає вторинне використання тих чи інших енергоресурсів. До речі, питання вторинного використання стосується не лише енергоресурсів, а і будь-яких речовин, порід, матеріалів тощо. Слід зауважити, що можливість такого вторинного використання не завжди має своє місце через відсутність як обладнання для відновлення енергоресурсу, так і фінансової складової.

Сучасних користувач техніки щодня бачить безліч пристроїв, де джерелом живлення є акумуляторна батарея. Однак, вихід з ладу такого елемента може звести нанівець роль пристрою через неможливість його запуску і подальшого використання.

Нерідко причиною виходу з ладу акумуляторної батареї є



невикористання її протягом довгого періоду часу. Скажімо, трьох-чотирьох років. Такого періоду часу достатньо для того, або акумулятор, наприклад, світильника повною мірою перейшов у неробочий стан, що буде показано нижче в методології проведення досліджень даної роботи. Стосується це не лише акумуляторних батарей освітлювальних пристроїв, а і автомобільних акумуляторів і т.п.

Сульфатація – це, свого роду, стан акумуляторної батареї, за якого робоча поверхня даного акумулятора пластин покривається шаром сульфатної плівки. Причиною цьому може бути глибокий розряд, за якого напруга на акумуляторі зменшується. А це може бути наслідком, якраз тривалого невикористання, у тому числі випаровування електроліту, коли пластини залишаються сухими і вкриваються плівкою.

Тому, питання відновлення акумуляторної батареї є актуальним завданням з точки зору як зниження негативного впливу на навколишнє середовище (утилізація використаних АКБ), так і з точки зору фінансової складової – закупка нового акумулятора.

Аналіз останніх досліджень. Розширення можливостей енергетики, особливо альтернативної, може призвести до значного скорочення використання традиційних джерел енергії, а також зменшення забруднення навколишнього середовища [1]. Кількість відпрацьованих акумуляторів, що постійно зростає, викликала зростаючі побоювання з приводу ризику поставки сировини для виробництва акумуляторів і впливу відпрацьованих акумуляторних батарей на навколишнє середовище. Переробка акумуляторів є ідеальним рішенням для створення багатства з відходів, але розробка технологій переробки акумуляторів вимагає значних зусиль. Нещодавно пряме відновлення відпрацьованих акумуляторів зробило замкнутий цикл циркуляції електротехнічних матеріалів завдяки прямому використанню деградованих активних матеріалів як сировини для виробництва свіжих активних матеріалів. Таким чином, його основне стале використання меншої кількості хімічних речовин і витрат на енергію все більше привертає увагу спільноти акумуляторів [2]. Крім того, відновлення електроліту рідко розглядається в сучасних методах переробки акумуляторів, а скоріше випаровується та неконтрольовано розкладається під час етапів попередньої обробки. Проте контрольоване та безпечне видалення електроліту є неминучим і дуже важливим для галузі переробки для мінімізації впливу процесів переробки на навколишнє середовище шляхом запобігання серйозним загрозам, спричиненим легкозаймистими, токсичними та небезпечними компонентами електроліту [3].

Актуальність питання відновлення акумуляторних батарей



виправдовується не лише з точки зору відновлення самих АКБ, а і електроліту для них. Останнім часом відновлення електроліту привертає увагу науковців і промисловців, і було досліджено кілька підходів, таких як екстракція надкритичною рідиною, екстракція розчинником і вакуумна дистиляція. В літературі описано, що коливання ємності можуть істотно повпливати на точність прогнозування розрядної ємності батареї. Основна причина коливання ємності, ймовірно, пов'язана з перерозподілом заряду, коли батарея більше не заряджається або не розряджається. Потім батарея прагне відновити новий стан електрохімічного балансу, що представлений як відновлення поляризації [4]. Тому, результати досліджень показують, що загальні витрати на збір і переробку сильно залежать від доступності батарей в майбутньому, при цьому передові витрати перевищують передові доходи, коли доступність відпрацьованих батарей знижується [5]. Для прикладу, літій-іонні акумулятори багаті цінними металами (кобальтом і літієм), які мають високу вартість переробки. Існуючий процес, в основному, реалізує вилучення кобальту, але все ще має недоліки в безшкідливості утилізації фтороутворюючого електроліту, додаткових та інших органічних речовин, селективному вилученні літію та малозатратному вилученні кобальту. У зв'язку з цим було розроблено новий процес повної регенерації відпрацьованих батарей за допомогою екологічно безпечного піролізу та гідрометалургійної обробки [6]. Гідрометалургійний процес є традиційним методом переробки цінних металів з відпрацьованих акумуляторів [7]. Як правило, відпрацьовані АКБ розбирають і подрібнюють для отримання катодного порошку, який містить більшу частину цінних металів. Однак, представлені в роботах [8-10] методи відновлення акумуляторів показують ефективність та результат для їх повторного використання.

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є визначення параметрів перебігу процесу відновлення акумуляторної батареї малим струмом, серед яких:

- час перебігу процесу;
- параметри системи;
- пристрої, необхідні для здійснення процесу;
- опис усього процесу відновлення акумуляторної батареї з зображеннями як схем, так і реакцій.

Основна частина. Процес відновлення акумуляторної батареї є досить складним процесом з точки зору того, що зняття сульфатації відбувається протягом тривалого проміжку часу, а можливості демонтажу пластин немає. Тому, серед небагатьох способів зняття сульфатації на пластинах акумуляторної батареї є спосіб впливу на них малим струмом з паралельним її розрядом.

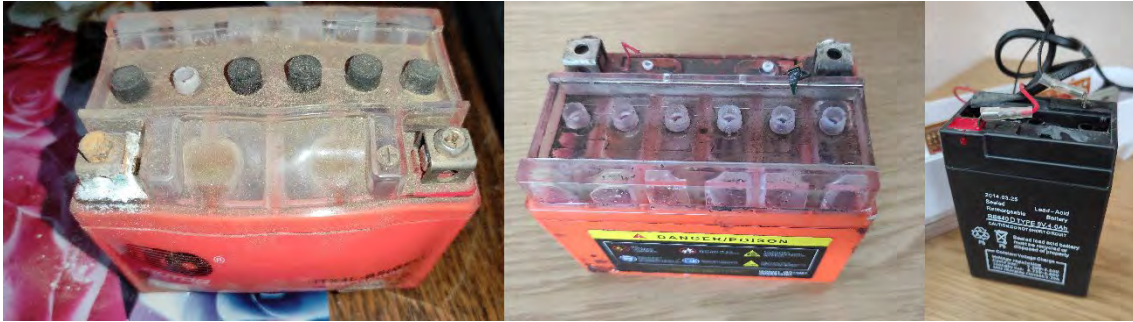


Рисунок 1. Досліджувані АКБ

Як було указано вище, сульфатація є складними відкладенням на платинах акумуляторної батареї. Дослідження електроліту, узятого з такого акумулятора показали рідину із наявними в ній відносно дрібними частинами (рисунок 2А). Розміри таких частин склали 0,2 – 0,4 мм. Однак, окремі з них мали розміри до 1 мм. Очевидно, що найбільш легкі та краще відокремлювані частки від'єдналися від «сульфатованих» пластин, зображених а рисунку 2Б в процесі видалення електроліту і лише окремі з великих часток (до 1 мм) від'єдналися внаслідок фізичного впливу на них.

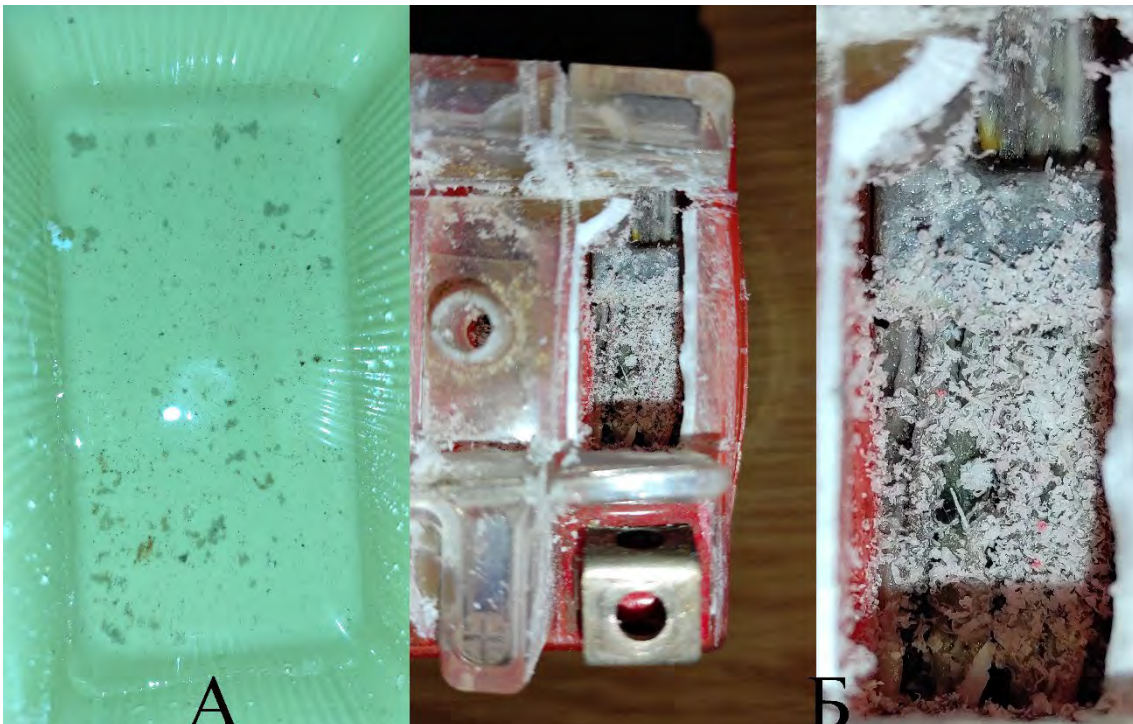


Рисунок 2. Досліджуваний відпрацьований акумулятор. А – електроліт; Б – сульфатовані пластини АКБ

Для проведення експериментальних досліджень по відновленню акумуляторної батареї використано акумулятор RB640D 6V 4A

(рисунки 3А) світильника ЛБА 3923 (рисунки 3Б) компанії ІЕК.

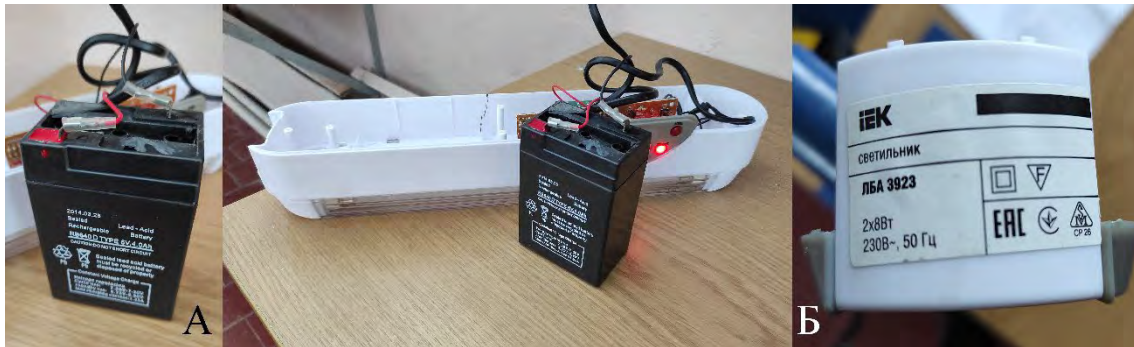


Рисунок 3. А – акумуляторна батарея RB640D; Б – світильник ІЕК ЛБА 3923

Очевидною ознакою нероботоздатності акумуляторної батареї, зображеної на рисунку 3А, була відмова роботи світильника. При першому візуальному огляді АКБ виявлено сульфатацію пластин, що помітно навіть неозброєним оком, враховуючи те, що акумулятор повністю закритий за винятком пробок. Попередні заміри напруги показали взагалі нульові показники. В результаті додавання електроліту, напруга на клеммах акумулятора зросла до показника 5,93В. Подальші спроби заряду акумулятора за допомогою пристрою зі світильника не призвели до жодних результатів.

Методика відновлення акумуляторної батареї може бути різною. Проте, в результаті численних експериментів проведених в лабораторних умовах виявлено, що найбільш ефективним способом є паралельні заряд та розряд акумуляторної батареї. Як було вказано вище, жодна зі спроб заряду не була ефективною.

Наступним етапом експериментального дослідження була спроба розряду батареї. Звичайно, тієї ємності, що була наявною на той момент, для роботи світильника було недостатньо, але можливість підключення і хоча би мерехтіння порівняно слабшої лампи була, що і підтверджено експериментальними дослідженнями. Підключення лампи 6,3В на проміжок 15 хвилин призвело до падіння напруги на клеммах до 4,1В, що було достатнім для проведення наступної серії зарядів акумулятора. Нижче, на рисунку 4, показано графік падіння напруги на клеммах акумулятора за проміжок 15 хвилин з навантаженням у вигляді лампи 6,3В.

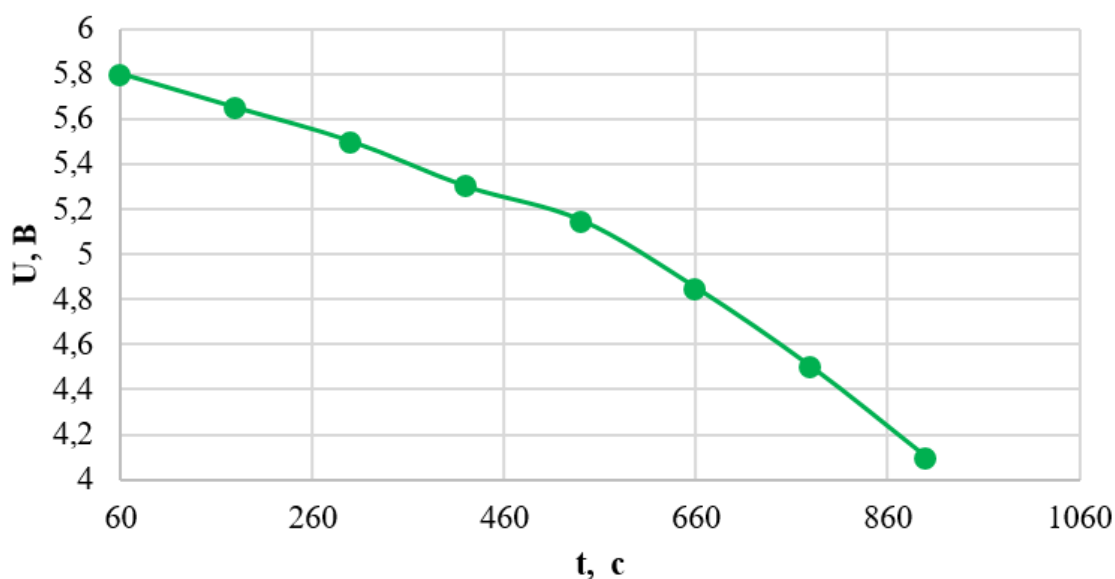


Рисунок 4. Графік падіння напруги на акумуляторі на проміжку 15 хв

Із рисунку 4 видно, що падіння напруги відбувалося зі збільшенням швидкості перебігу процесу. Як висновок до проведеного етапу дослідження можна було б указати те, що даний розряд акумулятор був точкою відліку в процесі відновлення. Після розряду до 4,1В підключення акумулятора до стаціонарного зарядного пристрою світильника майже не змінює напругу. Відбувається малошвидкісний заряд, якого недостатньо для світіння світильника.

Як було вказано вище, комплексний підхід базується на одночасних заряді і розряді акумулятора протягом довгого проміжку часу за малої сили струму. Такий процес досягається підключенням мало потужного, зібраного власноруч трансформатора, навантаження у вигляді одразу двох ламп та лабораторного трансформатора. Розглянемо роль і місце кожного з вказаних елементів більш детально. Зарядний пристрій трансформаторного типу малої потужності хоч і є ефективним для використання з малим струмом, але за мету ставиться отримання струму 0,2 – 0,4А, чого не можна було ним досягти. З цією метою використовується лабораторний автотрансформатор. Підключені одразу дві лампи дають одночасний розряд акумулятору в процесі заряду. Одну з ламп – 6,3В підключено послідовно, так як зарядний пристрій 12В, а вмикання лампи в схему на клемі «-» забезпечило отримання напруги на затискачах зарядного пристрою 6,5В.

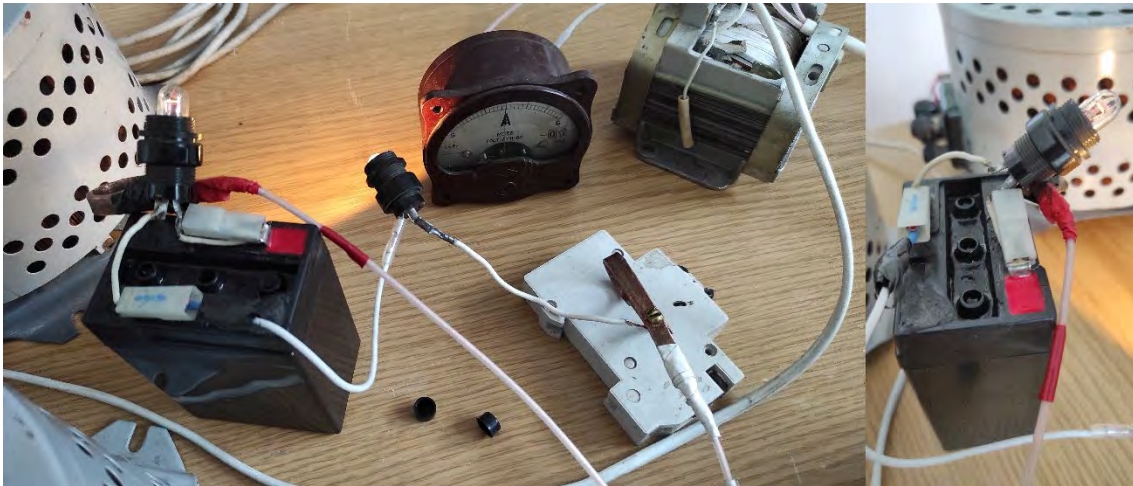


Рисунок 5. Зібрана експериментальна установка

Заряд акумулятора з паралельним його розрядом здійснювався протягом 20 днів за сили струму $0,2 - 0,4\text{A}$. Відмінною ознакою процесу відновлення було зменшення падіння напруги кожного дня, в порівнянні з попереднім за проміжок часу 10 год, доки зарядний пристрій було вимкнено.

Слід зауважити, процес заряду навіть за сили струму $0,2 - 0,4\text{A}$ супроводжувався постійним виділенням бульбашок з банок акумулятора.

На рисунку 7 показано процес виділення бульбашок у момент заряду акумулятора. Згодом, швидкість такого процесу було зменшено за рахунок установки додаткової лампи, що була, свого роду, навантаженням. Процес знизився одразу у 4 рази, однак повністю не припинився.

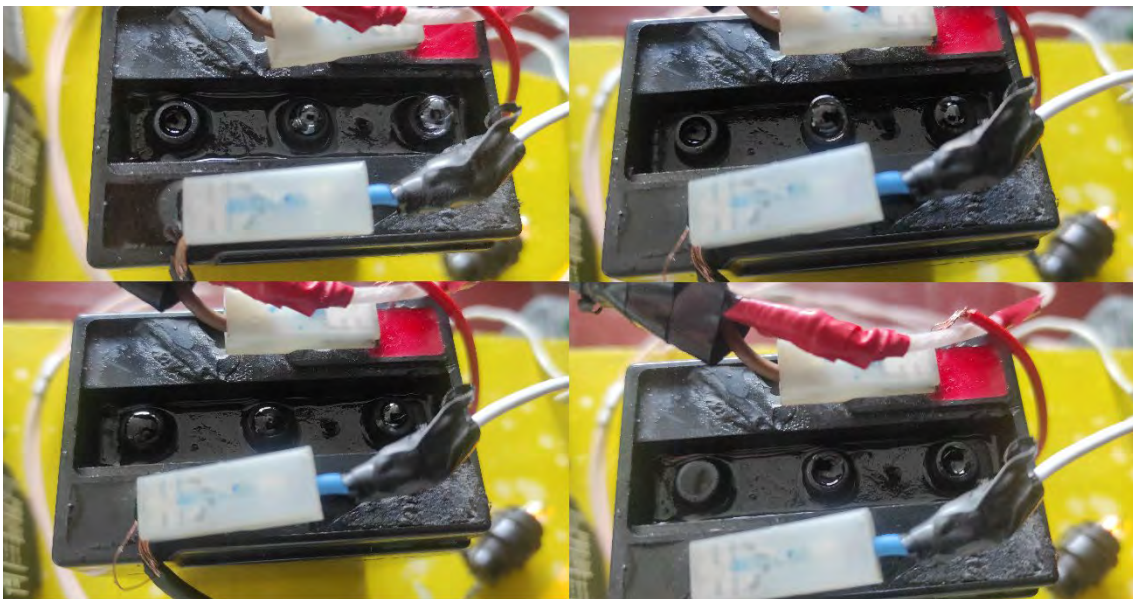
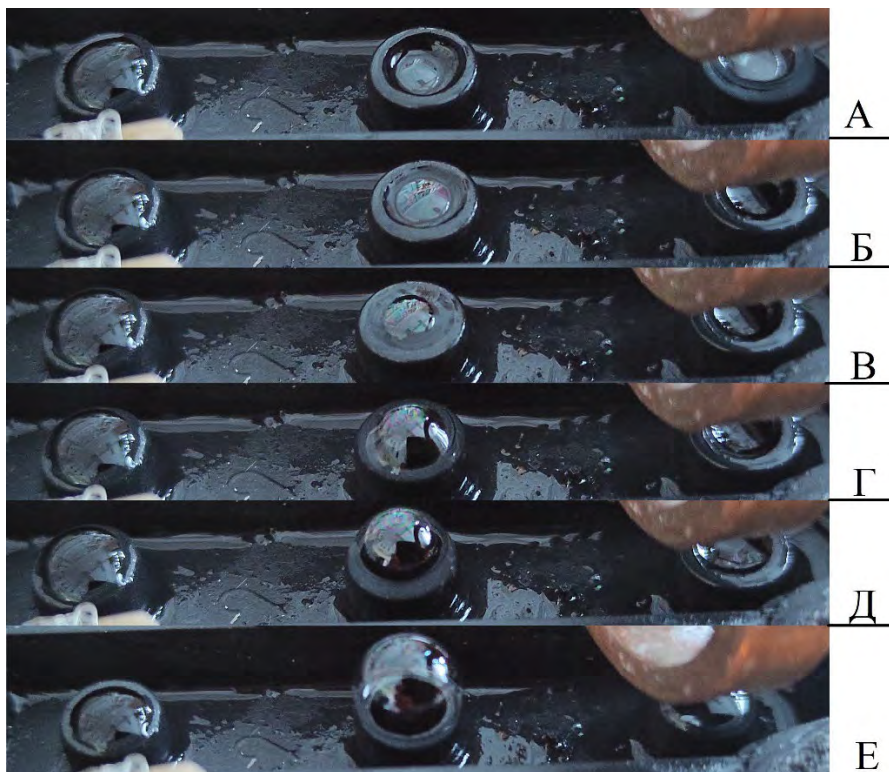


Рисунок 6. Виділення бульбашок



А – 5 сек.; Б – 10 сек.; В – 15 сек.; Г – 20 сек.; Д – 25 сек.; Е – 30 сек.

Рисунок 7. Цикл 30 сек. виділення бульбашок при заряді АКБ

Таблиця 1

Показники відновлення акумуляторної батареї

Доба, № п/п	Показання вольтметра заряд/розряд, В	Падіння напруги, В
1	5,95/5,4	0,55
2	5,98/5,4	0,58
3	6/5,5/5,5	1
4	6,02/5,6	0,42
5	6,02/5,7	0,32
6	6,05/5,8	0,25
7	6,05/5,9	0,6
8	6,08/5,98	0,15
9	6,09/6	0,09
10	6,1/6	0,1
11	6,17/6,10	0,07
12	6,28/6,18	0,1
13	6,35/6,23	0,12
14	6,4/6,3	0,1
15	6,4/6,3	0,1
16	6,45/6,37	0,08

Продовження таблиці 1

17	6,45/6,4	0,05
18	6,5/6,4	0,1
19	6,5/6,41	0,09
20	6,5/6,45	0,05

Протягом усього часу проведення дослідження відбулося зменшення падіння напруги, тобто мимовільного самостійного розряду.

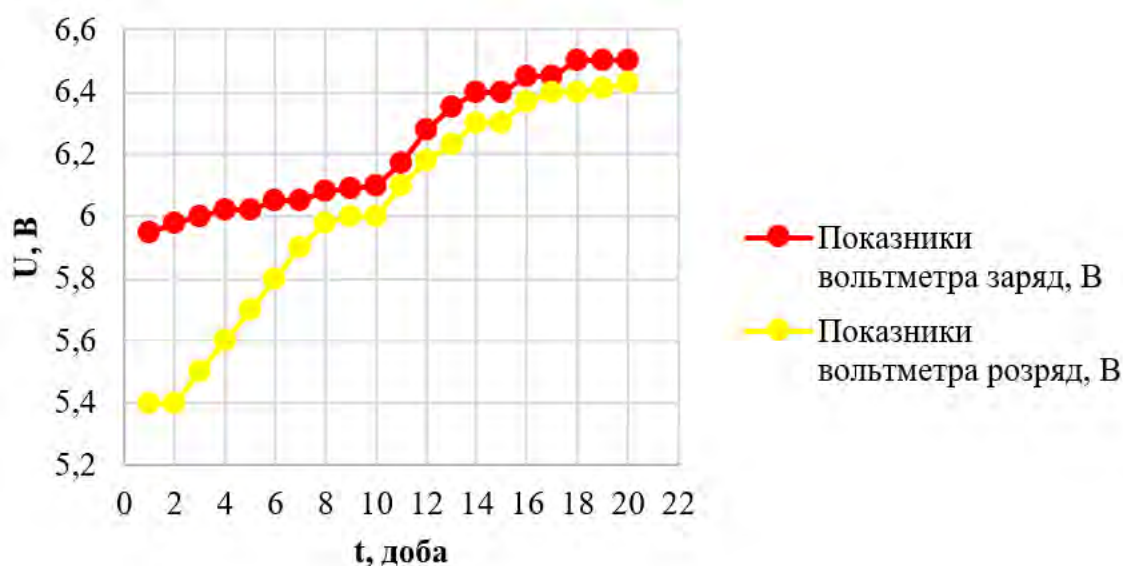


Рисунок 8. Графік заряд-розрядів акумулятора

Графіки, представлені на рисунку 8, показують перебіг реакції відновлення акумулятора з точки зору сприйняття ним заряду та мимовільного його розряду щодня за проміжок часу 14 годин – заряд, 10 годин – вимкнений стан. З даних двох залежностей можна зробити висновок щодо відновлення роботоздатного стану акумулятора виходячи з отримання двох паралельних залежностей по заряду і розряду, а також вирівнювання лінії заряду на показнику 6,5В.

Графік падіння напруги, зображений на рисунку 9, маючи пульсуючі зміни, набуває більш прямого значення, що означає те, що у акумулятора, починаючи із восьмої доби експериментів, значно зменшився показник розрядів, тобто, у даному випадку, мимовільного самостійного розряду. Для порівняння, за першу третину часу експериментів розряд акумулятора сягав показника 1В, що є критичним для акумуляторної батареї з напругою 6В.

Після 15 днів експерименту встановлено, що напруга на клеммах акумулятора одразу після заряду 14 годин складала 6,5 В, а за проміжок 10 годин мимовільного розряду, - знижувалася до 6,45 В. Одразу, візуально помітно значно меншу сульфатацію на банках і можливість

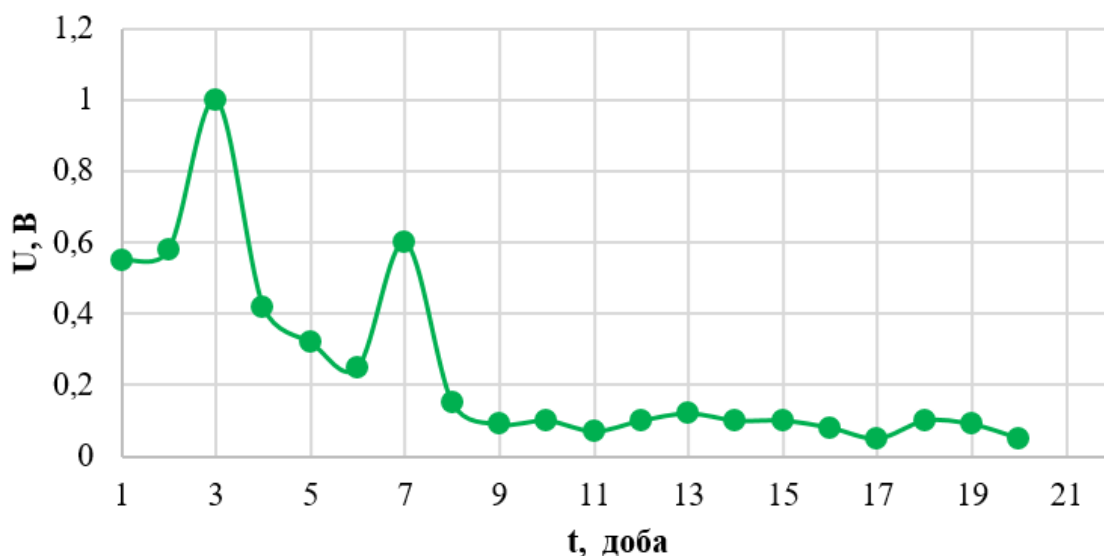


Рисунок 9. Графік падіння напруги на акумуляторі на проміжку 20 діб

роботи світильника від даного акумулятора. Звичайно, до ідеального стану даний акумулятор відновити було б проблематично, але методика довготривалого заряду з паралельним розрядом акумуляторної батареї показала результат відновлення АКБ до повністю робочого стану.

Висновки. Отже, в ході експериментальних досліджень встановлено та підтверджено можливість відновлення акумуляторних батарей шляхом паралельних заряд-розрядів протягом тривалого проміжку часу. Зростає термін робочого циклу акумуляторної батареї та зменшується негативний вплив на навколишнє середовище через питання утилізації використаних акумуляторів і фінансової складової на закупку нового обладнання.

Список використаних джерел

1. Юрченко, О. Ю., Барсукова, Г. В., Тимошенко, Г. А. (2022). Розробка лопаті вітроенергетичної установки для районів з низькою швидкістю вітру. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*, (2(48)), С. 94–100. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.14>
2. Jiawei Wu, Mengting Zheng, Tiefeng Liu, Yao Wang, Yujing Liu, Jianwei Nai, Liang Zhang, Shanqing Zhang, Xinyong Tao. Direct recovery: A sustainable recycling technology for spent lithium-ion battery. *Energy Storage Materials*. Vol. 54, January 2023, P. 120–134 <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2022.09.029>
3. Zachmann, N., Petranikova, M., Ebin, B. Electrolyte recovery from spent Lithium-Ion batteries using a low temperature thermal treatment process. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 118, 25 February 2023, P. 351–361 <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.11.020>



4. Tong, Z., Miao, J., Mao, J., Wang, Z., Lu, Y.J. Prediction of Li-ion battery capacity degradation considering polarization recovery with a hybrid ensemble learning model. *Energy Storage Materials*. Vol. 50, September 2022, P. 533–542 <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2022.05.026>

5. Iloeje, C. O., Xavier, A. S., Graziano, D. J., Atkins, J., Sun, K., Cresko, J., Supekar, S. D. A systematic analysis of the costs and environmental impacts of critical materials recovery from hybrid electric vehicle batteries in the U.S. *iScience*, Vol. 25, Issue 9, 16 September 2022, 104830 <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104830>

6. Tao, R., Xing, P., Li, H., Sun, Z., Wu, Y. Recovery of spent LiCoO₂ lithium-ion battery via environmentally friendly pyrolysis and hydrometallurgical leaching. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 176, January 2022, 105921 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105921>

7. Zhang, Y., Wang, W., Fang, Q., Xu, S. Improved recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by efficient reduction roasting and facile acid leaching. *Waste management*. Vol. 102, 1 February 2020, P. 847–855 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.045>

8. Ye, Y., Shi, Y., Saw, L.H., Tay, A.A. Simulation and evaluation of capacity recovery methods for spiral-wound lithiumion batteries. *Journal of Power Sources*, Vol. 243, 1 December 2013, P. 779–789 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.06.083>

9. Colclasure, A. M., Li, X., Cao, L., Finegan, D. P., Yang, C., Smith, K. A. Significant life extension of lithium-ion batteries using compact metallic lithium reservoir with passive control. *Electrochimica Acta*, Vol. 370, 20 February 2021, 137777 <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.137777>

10. Koleti, U. R., Zhang, C., Malik, R., Dinh, T. Q., Marco, J. The development of optimal charging strategies for lithium-ion batteries to prevent the onset of lithium plating at low ambient temperatures. *Journal of Energy Storage*. Vol. 24, August 2019, 100798 <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100798>

Стаття надійшла до редакції 20.03.2023 р.

O. Yurchenko, H. Barsukova
Sumy National Agrarian University

DETERMINATION OF QUANTITATIVE INDICATORS FOR ECONOMIC ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF CULTURAL EQUIPMENT

Summary

Restoration and maintenance of power sources, in this case, batteries, is an integral part of their life cycle. Their service life and the quality of the electrical energy they transmit depend on this. Quality refers to the number of charge-discharges, capacity, etc.



A used battery must be disposed of, which is an expensive option today. However, the alternative in the form of battery recovery has several advantages. This explains, first of all, the impossibility of negative impact on the environment, lower financial costs, and the possibility of reusing the energy resource. This work presents a method of battery recovery with low current and parallel charge-discharges. The results of the experiments proved the effectiveness of using such a technique to bring a used and disabled battery into working condition. The use of a battery charger, two lamps acting as a charge source and a laboratory autotransformer make it possible to connect an electric circuit. The result is a reduction of sulfation in the battery, an increase in its reliability and time of uninterrupted use. The work describes the entire technological process, which took place over 20 days, and shows the main stages of the restoration of the accumulator of the lamp of the IEK company. With the help of photofixation, it is possible to visually see the course of the main reactions that are characteristic of this method of battery recovery. The tables and graphs in the article show the progressive changes in the operation of the battery, in particular, the increase in voltage, the decrease in spontaneous self-discharge, and the differences in these indicators. Subsequently, a fully working rechargeable battery for the lamp was obtained, which until then had already been considered worn out.

Key words: battery, transformer, sulphation, connection of conductors, lamp, acid.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-35

УДК 621.31:504.03

В. С. Волошин, д. т. н., проф.

ORCID: 0000-0002-9922-5618

О. Ю. Азархов, д. м. н., доц.

ORCID: 0000-0002-5309-7702

Приазовський державний технічний університет

e-mail: alexazarhov@gmail.com, тел.: 050-560-13-31

РОЛЬ ЕКОСИСТЕМИ «ЛЮДИНА» В ЕНЕРГООБМІНІ НА ПЛАНЕТІ

Анотація. В роботі розглянуті можливості людини в аспекті її енергетичної діяльності, як невід'ємної частини екосистеми нашої планети. Надані причини, за якими людину слід прийняти, як один з принципово відмінний від природних, механізм, що дозволяє концентрувати енергію Сонця на Землі, накопичувати її в таких формах, які не підпадають ані до фотосинтезу, ані до біологічного розкладання, до тектоніки та ін. Припущено, що з енергетичної точки зору функція людини має двоєдиний зміст, що залежить від стану термодинамічної рівноваги всієї системи: використовуючи зовнішні джерела енергії задля своїх потреб, людина знаходиться в стані термодинамічної неврівноваженості з навколишнім середовищем, а використовуючи внутрішню енергію тіла задля забезпечення свого існування, організм людини знаходиться в стані, близькому до термодинамічної рівноважності. Такий підхід може бути одним з пояснень унікальних та несхожих на інший живий світ здібностей людини на цій планеті.

Ключові слова: енергетична діяльність людини, екосистема, концентрація енергії на планеті, термодинамічна рівноважність.

Постановка проблеми. Посилаючись на місію людини на Землі, його унікальні особливості і здібності, що різко відрізняються від усього іншого живого світу планети, як би навіть підкреслюючи своє позаземне походження, необхідно виділити його історично обґрунтовані можливості щодо участі в енергетичному обміні між планетою і навколишнім космічним простором.

Аналіз останніх досліджень. Сонячна енергія вкрай важлива для людини, втім, як і для всього живого на цій планеті. Відомо, що Земля отримує від Сонця теплову і світлову енергію, яка досягає поверхні, приблизно $3,85 \cdot 10^{24}$ кДж на рік. Тут і далі порівняльні цифри ми будемо використовувати з посиланням на джерела [1-11], в той час як



числовим розбіжностям в деяких випадках ми дамо оціночну характеристику, в тому числі, за даними, отриманими в ході наших досліджень. Ми не враховуємо енергію впливу Місяця і радіоактивних розпадів.

Отже, за 4,5 млрд років на Землю прийшло близько $17,3 \cdot 10^{33}$ кДж сонячної енергії (табл. 1). Ця енергія, в основному тепло і світло, в цілому практично не має природного потенціалу для поліпшення її якості. В результаті тільки 16% сонячної енергії що надходить щорічно, поглинається відомими системами на землі (атмосфера всіх шарів, океани, поверхня планети, надра, загальна біологічна маса), і більше 80% залишає Землю, йдучи в космічний простір, і не бере участі в організаційних процесах на планеті.

Таблиця 1

Оціночні данні щодо обміну сонячною енергією (тепловою та світловою) на планеті Земля.

№№ п/п	Характеристика	Абсолютна величина. кДж	Відносна величина, %
1	Кількість сонячної енергії, що досягла поверхні Землі за всю історію її існування	$17,3 \cdot 10^{33}$	-
2	Кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік.	$3,85 \cdot 10^{24}$	-
3	Сумарні втрати сонячної енергії планетою Земля за всю її історію	$13,86 \cdot 10^{33}$	-
4	Сонячна енергія, що залишається на планеті протягом року	$6,2 \cdot 10^{23}$	16
5	Те ж саме за весь час існування Землі	$2,8 \cdot 10^{33}$	-
6	Теплова і світлова енергія Сонця, що втрачається планетою протягом року	$3,08 \cdot 10^{24}$	84
7	Енергія Сонця, освоєна рослинами за допомогою фотосинтезу протягом одного року	$1,8 \cdot 10^{21}$	0,29
8	Енергія Сонця, освоєна на планеті фітопланктоном протягом одного року	$9,3 \cdot 10^{21}$	1,5



Продовження таблиці 1

9	Сонячна енергія, зосереджена у вуглеводнях (розвідані дані)*	$7,5 \cdot 10^{22}$	12,1
10	Енергія Сонця, яка використовується людиною на планеті протягом року	$4,8 \cdot 10^{21}$	0,77

*- за весь період накопичення (цифра наводиться з урахуванням розрізень у періодах накопичення вуглеводнів у Природі і термінах її використання людиною.

Природа, наскільки це дозволяє фізична реальність, не може терпіти ірраціональності. Виключно дефіцитна енергія Сонця, яка дає життя всьому живому, по ідеї, повинна залишатися на планеті в більшій мірі як інструмент структурування і природного різноманіття. Але ресурси природи тут можуть бути не безмежними.

Природа має свої і особливі механізми перетворення і зберігання сонячної енергії. Наприклад, це величезна зелена біомаса рослин, що акумулює енергію сонця за допомогою фотосинтезу, що поглинає приблизно $1,8 \cdot 10^{21}$ кДж в рік, або 0, 29% всієї сонячної енергії, виробленої на планеті. Тільки фітопланктон в екосистемах океану здатний протягом року накопичувати до $9,3 \cdot 10^{21}$ кДж сонячної енергії і давати початок багатьом харчовим ланцюжкам в океані (див. табл. 1).

Або локалізація сонячної енергії шляхом синтезу вуглеводнів в сумарній кількості $7,5 \cdot 10^{22}$ кДж розвіданих запасів вугілля, нафти, газу. Перетворення речовин і прихованої в них енергії за допомогою процесів розпаду біомаси, концентрації мінералів за допомогою тектонічних рухів в надрах і на поверхні Землі. Такі механізми існують дуже обмежено, але є і досить ефективними. Але цього, мабуть, недостатньо і їх актуальність для освоєння природної різноманітності надзвичайно висока. Можливо, саме тому природне різноманіття породило таку субстанцію, як мисляча людина.

Формулювання мети статті. Довести припущення про унікальну місію людини, що пов'язана з її впливом на енергетичні обміни та засвоєння сонячної енергії на планеті Земля.

Основна частина. Можна зробити спонтанне припущення, що загальна мисляча субстанція людини, унікальна в середовищі всіх інших живих істот на планеті, має свою унікальну ж місію, пов'язану з енергетичними обмінами на нашій планеті. Місія, яка не може бути реалізована жодною іншою з існуючих екосистем на Землі. Спробуємо показати це (рис. 1).

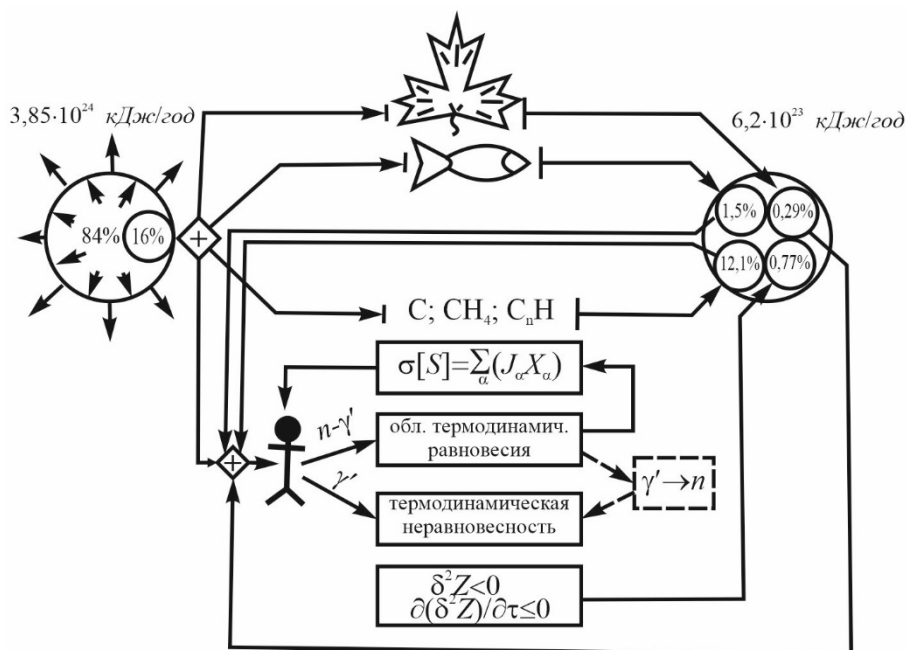


Рисунок 1. Модель реалізації сонячної енергії на планеті Земля та участь у ній людини (цифра вуглеводню оціночна, стосується їх розвіданих сумарних об'ємів)

У своїй діяльності людина використовує 0,77% всієї енергії Сонця, яку освоює планета Земля. Але вже в сукупності з усім їх акумулюванням, в тому числі і ядерними накопиченнями, цей відсоток збільшується в десятки і сотні разів, роблячи діяльність людини порівнянною з сукупними технологіями фотосинтезу рослин на Землі і навіть перевищуючи їх.

Природа здавна йшла до виникнення людини як джерела і механізму концентрації енергії. Травоядні тварини, які більшу частину часу їдять рослинну їжу, довго перетравлюють її для підтримки свого метаболізму. Хижаки, спробувавши жертву на смак, отримують швидко і в достатній кількості білків, щоб протягом 3-5 днів не вимагати поповнення енергії. Але цього було замало. Повинна була з'явитися людина, якій також був потрібен білок для підтримки власного енергетичного потенціалу. Але, в той же час, величезна кількість мікроелементів з рослинної їжі знадобилася для розвитку і підтримки мозку і центральної нервової системи зовсім особливого типу, щоб з'явився не просто об'ємний мозок, а мисляча істота, яке потребувало нервових відчуттів, інтелекту і здатності до змін у природному середовищі.

Створивши істоту у вигляді людини, що має організовану заради процесів мислення субстанцію, Природа протягом тисячоліть витримувала послідовні етапи його розвитку, починаючи від збирання і полювання, відкриваючи перед прото-людиною свої багатства і поки



ще не розраховуючи на його майбутню енергоентропійну місію. І тільки після того, як людина, освоївши вогонь в вогнищі як поза біологічну енергію, придбала потребу в більшій кількості їжі, ніж йому давали традиційні для того часу методи, вона стала переходити до обробітку земель, одомашненню тварин з метою сезонного і більш тривалого накопичення їжі, Природа стала отримувати від людини те, заради чого, можливо, вона була створена як мисляча істота - Homo sapiens. А саме, використовувати опосередковану енергію Сонця, на самперед у вигляді рослинної і тваринної їжі, отриманої з її допомогою, а потім, у вигляді культурних злаків і приручених трав'янистих спочатку для себе, а потім і для інших представників свого роду, що призвело до появи торгівлі, грошей, промисловості, економічного розвитку та ін.

Втім Природа послідовно відкривала для людини, яка мислить свої запаси корисних копалин у вигляді металевих та ін. руд, а пізніше і запаси енергії від падаючої води і вітру, від теплоти водяної пари, від енергії, накопиченої у вигляді підземних вуглеводнів. Все це є приховані запаси сонячної енергії. Людина навчилася перетворювати її, послідовно, в нагріті тіла, в поступальні і обертальні механічні рухи. Він створював машини, яких раніше в природі не існувало. З мінеральних речовин він створює об'єкти, які просто не могли б з'явитися без його участі - від пірамід абсолютно правильної форми до гармонійних і стійких будівель, машин, заводів, посівних полів, штучних пасовищ і літаків. При цьому кожне з цих штучних речовин, предметів, матеріалів стає володарем зовсім іншого, більш високоорганізованого енергетичного потенціалу, отриманого в результаті мінімізації ентропії, в тому числі і за рахунок людської праці [12]. Як приклад можна привести вуглеводневі матеріали, поліетилен, пластмаси тощо. Це те, що за допомогою людини зосередило в собі певну енергію організованості, і не вивільняє цю енергію протягом багатьох сотень або навіть тисяч років, опираючись власному постексплуатаційному (як відхід) розкладанню. Без властивого тільки людині розуму і навичок такі речовини на Землі навряд чи з'явилися б. Людина навчилася за допомогою цих, вже штучних, предметів і машин створювати більш складні системи організації матерії і речовин, поступово залучаючи в свою діяльність все більшу кількість енергії від Сонця, перетворюючи її в нові енергонакопичувальні системи, що, в свою чергу, сприяло новим скупченням сонячної енергії, що надходить з небес, не даючи їй відійти до космічного простору і, таким чином, працювати на благо самої планети.

Все, коли-небудь створене або побудоване людиною, так чи інакше є результатом організації матерії, речовин, який є спрямованим на зниження зростання ентропії системи. Таким чином, в



розпорядженні Природи і людини, завдяки його знанням, досвіду, розуму, зосереджений величезний енергетичний потенціал, в основі якого лежить енергія Сонця, яке коли-небудь потрапляло на Землю. В тому числі, за рахунок таких видів енергії, як організовані: електрична, інерціальна, ядерна та ін., яких, в організованому вигляді, до того на планеті не було.

Для Природи нашої планети людина і її 8-мільярдне співтовариство подібних людей, поступово перетворилося в реальний механізм розвитку сонячної енергії, який забезпечує цю планету надовго всім, що дозволяє їй зберігати різноманітність видів життя - атмосферу, запаси води і мінералів, підтримувати необхідні параметри клімату в його різноманітті, створювати все нові харчові ланцюжки для підтримки життя багатьох істот, що, в свою чергу, підтримує різноманіття видів живої і взаємопов'язаної проміж собою неживої матерії на планеті Земля, роблячи її унікальною в доступному для огляду космічному просторі.

Слід зазначити, що багато що в людському світі, зокрема, в фізіології людини, в суспільстві, пристосоване до енергетичних перетворень.

Антропометричний розвиток людини все більше набував цілеспрямованості, в основі якої лежали її майбутні можливості в області «приборкання» енергії Сонця, вкрай важливої для майбутнього планети. Тим самим підтверджуючи, крім усього іншого, своє енергетичне призначення. Зокрема, прямоходіння, отримання хапальних та важільних функцій у звільнених руках, розвиток їх моторики та ступенів свободи, зв'язку з розвитком головного мозку, поява таких функцій для рук, які дали можливість, врешті-решт, створити все, що існує тільки завдяки людині. Все це, за великим рахунком, забезпечувало концентрацію великих обсягів, раніше неорганізованої енергії Сонця, тим самим виконуючи місію людини що розглядатиме тут.

Навіть простий розрахунок показує [13], що людина наділена надлишковим внутрішнім енергетичним потенціалом в порівнянні з його витратами на метаболізм і гомеостатично рівноважний стан організму. Включаючи витрати на роботу мозку і всієї нервової системи.

Розглядаємої мети (синергізму) сприяють також організаційні структури, в яких знаходиться суспільство. Наприклад: держава є синонімом створення. Армія, війни є синонімом руйнування. І те, і друге є енергетичними системами, функції яких різні. Але людина не може жити поза таких систем. І тільки в системі він здатний виконувати свою антиентропійну функцію. Чим сильніше держава, тим вище його загальний енергетичний потенціал, який становить створюється



масами.

Агресивність, війни, зокрема є проявом надлишкової енергії в суспільстві, спрямованої, в кінцевому результаті, на збільшення загальної ентропії і зниження енергії для творення, для її збереження на планеті. Війна - це реалізація підвищених потреб людини в дії, в енергії. Але при цьому загальний енергетичний потенціал воюючих сторін знижується, причому в найкоротші терміни. Всі дії під час війни носять руйнівний характер. А Будь яка деструкція у відношенні до енергії є причиною різкого збільшення ентропії системи.

М. Веллер правильно зазначив, що сутність людини на базовому рівні зосереджена між його об'єктивною енергетичною складовою, як будь-якої фізичної системи у Всесвіті і, з іншого боку, суб'єктивним психофізичним компонентом, заснованим на діяльності його нервової системи. Така підкреслена двоєдиність об'єктивного і суб'єктивного робить людину дуже зручним і, як показала історія, дуже продуктивним суб'єктом, з точки зору самої Природи.

Людина - це система, яка енергетично існує об'єктивно, на рівні дій і суб'єктивно, на рівні відчуттів. Всі дії людини, які не пов'язані з підтриманням обміну речовин, здійснюються в основному за рахунок зовнішніх джерел енергії. Виняток становить м'язова енергія, яку важко відокремити в енергетичному плані від енергії для підтримки стану організму. Всі вони, так чи інакше, є похідними від енергії Сонця. А всі відчуття людини з енергетичної точки зору пов'язані з внутрішньою енергією самої людини і мало залежать від зовнішньої енергії, яку вона використовує.

Таким чином, людина представляється як двоєдина термодинамічна система, яка на рівні термодинамічної нерівноважності за рахунок зовнішньої енергії виконує дії, а на рівні, близькому до термодинамічного рівноваги, за рахунок внутрішньої енергії, використовує виникаючі суб'єктивні відчуття (див. рис. 1).

1. У стані термодинамічної нерівноваги використовується енергія зовнішніх джерел, завдяки якій виконуються об'єктивні дії. Базою такої термодинамічної нерівноважності є суттєва розбіжність в параметрах енергетичної можливості самої людини і енергетичних потребах задля того, що задовольнити всі ті дії, що потребує мозок. Чим більше зовнішньої енергії в розпорядженні людини, тим більші дії він може здійснити. Зовнішня енергія в розпорядженні стародавньої людини - це, перш за все, енергія приручених тварин: коня, бика. І його дії відповідні: прості будинки, дороги, примітивні поля для обробітку рослин, пересування верхи на конях. Зовнішня енергія з інших джерел послідовно: від вітру (млина), пари, вуглеводнів, атома - і дії людини більш організовані і системні, послідовно: самохідні возки, паровози, автомобілі, літаки, атомні електростанції та ін.



2. В стані, близькому до термодинамічної рівноваги системи, використовується внутрішня енергія організму, завдяки якій центральна нервова система формує суб'єктивні відчуття. Чим більше внутрішня енергія людини, яку отримують з їжею (кількість і якість, білкова калорійна або вегетаріанська низькокалорійна), тим більше відчуттів у людини.

Таблиця 2

Особливості взаємних перетворень та накопичення деяких видів енергії

№№	Вид енергії		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	2.1 Механічна			+	⊕	+	+	⊕	+	+
2.	Пружня		⊕		⊕	-	-	+	-	-
3.	Теплова		⊕	+		+	+	⊕	+	+
4.	Хімічна		+	-	⊕		-	+	-	+
5.	Електростатична		+	-	-	-		+	-	+
6.	Електродинамічна		⊕	-	⊕	+	+		+	⊕
7.	Магнітодинамічна		+	-	-	-	-	-		+
8.	Електромагнітна		+	-	+	-	-	⊕	-	

⊕- перетворення енергії з практичним застосуванням;

+ – можливе пряме перетворення;

- – відсутність трансформації.

Такий механізм, обумовлений тим, що він відсутній у більшості біологічних істот, дозволяє отримати певне різноманіття способів перетворення сонячної енергії і її похідних в структуровану систему концентрації цієї енергії. Таким чином, людину слід прийняти, як один з принципово відмінних від природних, механізм, що дозволяє концентрувати енергію Сонця на Землі, накопичувати її в таких формах (табл. 2), які не підпадають ані до фотосинтезу, ані до біологічного розкладання, до тектоніки і т. д. Людина була унікально здатна отримувати нові енергоємні матеріали і способи їх перетворення, про які планета раніше не знала. Він масово використовує відомі і створює нові джерела енергії, раніше невідома на планеті, але в якій, так чи інакше, відстрочено в часі, зосереджена енергія Сонця. Все це, так чи інакше, є використаною людиною сонячною енергією, яка в самих різних часових проміжках прийшла на Землю, але вже виявилася концентрованою в найрізноманітніших, але високоенергоємних станах.



В основі цього механізму лежить праця людини, яка з'єднує його відчуття та дії, як двуєдиність суб'єктивного та об'єктивного і є їх похідною. Саме людська праця стає одним з основних джерел мінімізації ентропії на Землі.

Людина з таких позицій має можливість за допомогою розуму, своїх відчуттів, своєї фізичної, а дещо пізніше і інтелектуальної праці, здійснювати дії, що сприяють мінімізації зростання природної ентропії, будучи джерелом багатьох штучних організаційних процесів на Землі. При цьому в такій організації задіяна величезна кількість матеріальних речовин в якості сировини і джерел енергії. Заради такої організації людина, яка, ще раз додамо, переслідує тільки свої суто людські цілі, використовуючи свій розум, придумує безліч технологічних процесів, в результаті яких з'являються все нові вироби, речі, матеріали, які раніше не були відомі природі в принципі. І вони не могли з'явитися без участі людини. Але в цих речах і матеріалах, так чи інакше, є організована по-своєму специфічним чином енергія Сонця, яка в найрізноманітніші періоди часу прийшла на Землю і тільки через людський розум не зникла, а зосередилася в тому, що не могло б з'явитися і існувати без людини. Ця енергія залишається на планеті, використовується на благо цієї планети, і не втрачається в космічному просторі.

Уже на етапі освоєння вогню, процесів організованого горіння людина прийшла до висновку, що існують такі способи збереження цього тепла, при яких горіння одиниці органічного палива може давати більше або менше теплової енергії, в залежності від того, наскільки організованим є джерело горіння, наскільки ізольоване місце теплопостачання (печера, житло, побудоване з каменю, дерева, глини), наскільки людина сама може утримувати таке тепло, користуючись індивідуальним одягом різних типів тощо.

Далі, освоївши теплові машини, людина придумав коефіцієнт корисної дії, який показав, наскільки ефективно він використовував цю теплову енергію. За великим рахунком, для Природи цей показник відображав здатність людини забезпечити збереження на планеті певної частки сонячної енергії, що з'явилася в різний час на Землі.

Таким чином, Природа створила невичерпне джерело штучних, тобто рукотворних, способів накопичення сонячної енергії на Землі. Це, мабуть, одне з головних природних призначень людини і його розуму.

Розум тут представлений як здатність людини організовувати процеси залучення і перетворення практично необмеженої кількості зовнішньої енергії на Землі, але, в принципі, у Всесвіті. Останнє ще не є остаточним, але, судячи з перших кроків людини в космосі, це може мати підтвердження.



Є побоювання, що ми не зможемо точно підрахувати, скільки саме сонячної енергії на Землі було отримано і використано людством за весь час свого існування, у вигляді біологічної (рослинної і тваринної) їжі, організованого руху тяглових тварин, падаючої води і вітру, парових поршнів і лопатей турбін, енергії горючого вугілля і нафти, деревини і газу, електричної енергії і енергії атома, що розпадається, морських припливів і підземного тепла, тощо. Вся ця кількість енергії Сонця, це те, що людина повинна перетворити в організовану матерію, тим самим залишивши її на планеті і систематизувавши цю планету більш прийнятним для Природи способом. Більш того, сьогодні наука навіть методами екстраполяції не може точно відповісти на питання: скільки людей було на планеті Земля за весь час існування *Homo Sapiens*. Така складна задача не може бути вирішена статистичними методами. Результат тут можна тільки оцінити.

Такий розрахунок також може бути дуже обтяжливим і неточним. Тому простіше прийняти всю концентровану енергію Сонця, яку людина використовувала в усі часи за умовну одиницю. Позначимо її як $E_S = 1$. І таким чином можливо робити оціночні розрахунки щодо цієї величини. Повну енергію, яка залишається на планеті у вигляді всього створеного людиною в цей момент часу, уявимо як $E_{\text{факт}}$. Далі. Людині потрібно не просто щось створити, а зуміти це зберегти. Тому умовні «експлуатаційні витрати» у вигляді енергії, витраченої на підтримку всього створеного, ми позначаємо як $E_c(\tau)$. Ця цифра завжди буде відноситися до якогось періоду часу, протягом якого відбувається збереження. І, звичайно, за час свого існування людина змогла зруйнувати частину того, що вже було створено раніше, або використовувати вже накопичену Природою енергію Сонця у вигляді, наприклад, вуглеводнів. Енергія, витрачена на руйнування (наприклад, війни) вже створеного або використання природних енергетичних ресурсів, позначимо як E_r . Нас можуть зацікавити пропорції, в яких існують ці види накопиченої енергії. Тут ми можемо оцінити їх лише в якомусь засвоєваному діапазоні, який береться виходячи з логіки даного питання.

Отже, якщо $E_S = 1$, то все, що зараз існує з усього створеного раніше людиною, повинно бути $E_{\text{факт}}^{\text{min}} < E_{\text{факт}} \ll 1$. Але емпірично можна звузити цей діапазон до $0,4 < E_{\text{факт}} < 0,8$ з великими купюрами на всілякі історичні події. Витрати енергії на амортизацію всього створеного, також з великим запасом, будуть братися в межах $0,1 < E_c(\tau) < 0,6$. І, нарешті, опосередковані концентрації того, що зруйновано або використовується людиною особисто для своїх потреб, позначимо в діапазоні $0,01 < E_r < 0,4$. У таких діапазонах, ще раз повторим, досить умовних, спробуємо оцінити активність людини в тій

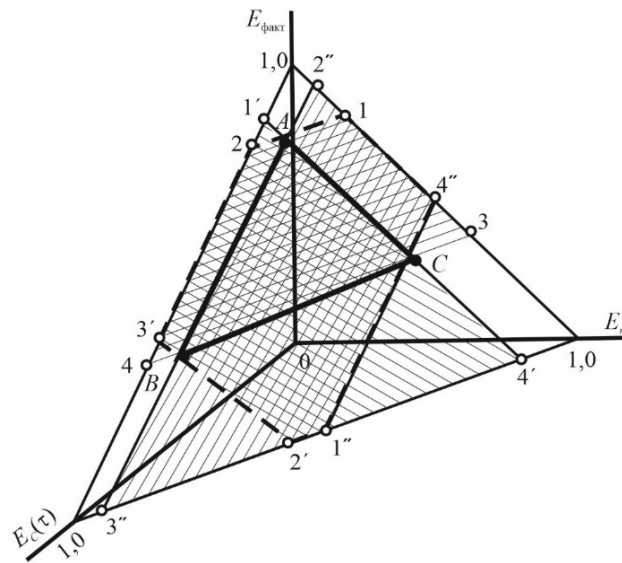


Рисунок 2. Одинична поверхня переваг в енергетичних взаємодіях людини і результатів його праці.

його частині, яку від нього очікує Природа, тобто в яких пропорціях і яку частину енергії зберегло людство в штучних системах, створених його працею.

В одиничних координатах $E_{\text{факт}}, E_c(\tau), E_r$ побудуємо поверхню (рис. 2), описану рівнянням (1):

$$E_S = 1 = E_{\text{факт}} + E_c(\tau) + E_r. \quad (1)$$

У ньому область трикутника ABC відображає пропорційну взаємодію всіх трьох перерахованих вище компонентів пошуку. Область, позначена як $A, 2, 3', B, 2', 1'', C, 4'', 1$ без урахування зазначеної ABC , містить трапецієподібні області, які відображають бінарну взаємодію кожної пари шуканих параметрів. Площі цих фігур легко обчислюються за координатами кожної із зазначених точок.

Відтак:

Область ABC відображає $E_{\text{факт}} \cup E_c(\tau) \cup E_r$ і дорівнює $0,26 \text{ (од.)}^2$

Область $C, 4'', 1, A$ відображає $E_{\text{факт}} \cup E_r$ і дорівнює $0,16 \text{ (од.)}^2$

Область $A, 2, 3', B$ відображає $E_{\text{факт}} \cup E_c(\tau)$ і дорівнює $0,09 \text{ (од.)}^2$.

Область $B, 2', 1'', C$ відображає $E_c(\tau) \cup E_r$ і дорівнює $0,17 \text{ (од.)}^2$

Таким чином, відношення площ, пропорційних сконцентрованої на них енергії, до її максимального значення, що визначається площею всієї одиничної тривимірної поверхні $1,1,1$ в координатах, $E_{\text{факт}}, E_c(\tau), E_r$ рівних $0,855 \text{ (од.)}^2$, становить:

- для показника ABC - $0,26/0,855 \rightarrow 30,4\%$. Це означає, що, за



оцінками, тільки 30,4% всього того, що створила людина за всю свою історію, служить Природі сьогодні, як штучно концентрована енергія Сонця. Цей показник не є високим. Аналогічно:

- для показника $C, 4'', 1, A - 0,16/0,855 \rightarrow 18,7\%$. Іншими словами, людина витратила 18,7% концентрованої енергії на створення того, що потім було знищено;

- для показника $A, 2, 3', B - 0,09/0,855 \rightarrow 10,5\%$. Тобто трохи більше 10% концентрованої енергії витрачається на підтримку того, що існує сьогодні на планеті, як справа рук людини;

- для показника $B, 2', 1'', C - 0,17/0,855 \rightarrow 19,9\%$. І, нарешті, близько 20% створеної ним енергії людина витратила на руйнування або втрату того, що ним було створено раніше.

Висновки. Таким чином, у всьому, що створено людиною, було 30,4% + 18,7% + 10,5% = 59,6% енергії Сонця, яка використовувалася в тому чи іншому вигляді і у відносних одиницях. Ця енергія використовувалася, в кінцевому результаті, для мінімізації ентропії, тобто нові форми енергії збережені на Землі як фактор її організованості, як результат діяльності людини нарівні з іншими механізмами: створенням ландшафтів, морів та інших геологічних процесів, поряд з фотосинтезом і харчовими ланцюгами в біологічному світі та ін. Ще 19,9% енергії, яка так чи інакше потрапила у володіння людини, було витрачено даремно або було втрачено з плином часу і не може бути віднесена до синергізму. Решта енергії, що сприймається людиною (трохи більше 20%) як похідна від сонячної енергії, відноситься до його внутрішнього енергоспоживання самого організму, за рахунок чого, у тому числі, центральна нервова система людини забезпечує цю синергію. Такий підхід може пояснити унікальність екосистеми «Homo Sapiens» на нашій планеті.

Список використаних джерел

1. Волошин В. С. К вопросу о роли человека в экосистеме «Земля». *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. 7-ома міжнародна науково-практична конф.* Харків-Алушта. 2011. С. 23–27.

2. Haraldstad K. et al. A systematic review of quality of life research in medicine and health sciences. *Quality of life Research.* 2019. Т. 28. С. 2641–2650.

3. Dudley B. et al. BP statistical review of world energy 2022. *British Petroleum Statistical Review of World Energy*, Bpplc. editor, Pureprint Group Limited, UK. 2022.

4. Rahman M. M. et al. Assessment of energy storage technologies: A review. *Energy Conversion and Management.* 2020. Т. 223.

5. Cheng H. Future earth and sustainable developments. *The Innovation.* 2020. Т. 1. № 3.



6. Avancini D. B. et al. Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of cleaner production*. 2019. Т. 217. С. 702–715.
7. Sikorski T. et al. A case study on distributed energy resources and energy-storage systems in a virtual power plant concept: Technical aspects. *Energies*. 2020. Т. 13. №. 12. С. 3086.
8. Хрисанфорова Е. Н., Мажуга П. М. Очерки эволюции человека. Киев.: Наукова думка, 2021. 136 с.
9. Manabe S., Wetherald R. Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. *Journ. Atmospheric Sciences*. 2022. V. 24. P. 241–259.
10. Schroder K. P., Smith R. C. Distant future of the Sun and Earth revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2008. V. 386. P. 155–163.
11. Еськов Е. К. Эволюция Вселенной и жизни. Энергетический баланс Земли. Адамант Моторс, Чернигов, 2015. URL: https://studref.com/497984/geografiya/energeticheskiy_balans_zemli. (дата звернення: 17.03.2023).
12. Avancini D. B. et al. Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of cleaner production*. 2019. Т. 217. С. 702–715.
13. Волошин В. С., Азархов А. Ю. Сравнительный анализ термодинамики организма человека с позиций отходообразования в сопоставлении с искусственными технологиями. *Вісник ПДТУ. Технічні науки. Зб. наук. праць*. 2019. Вип. 39. С. 175–185.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2023

V. Voloshin, A. Azarhov
Priazovskiy State Technical University, Mariupol

THE ROLE OF THE «MAN» ECOSYSTEM IN ENERGY EXCHANGE ON THE PLANET

Summary

The work considers the capabilities of man in the aspect of his energy activity and, as an inalienable part of the ecosystem of our planet, paying attention to his anthropological, social and thinking abilities. It has been suggested that the common thinking substance of man, unique in the environment of all other living beings on the planet, has its own unique mission associated with energy exchanges on our planet. It is confirmed that a person in his activity carries both an objective component, in the form of the actions that he performs, and a subjective psychophysical component, which depends on the work of the nervous system and the brain and is responsible for its sensations. The reasons why a person should be accepted as one of the fundamentally different from natural ones are provided by a mechanism that allows concentrating the energy of the Sun on the Earth, accumulating it in such forms that do not fall either to photosynthesis or biological decomposition, to tectonics, etc. It is assumed that from an energy point of view, human function has a two-part meaning, depending on the state of



thermodynamic equilibrium of the entire system. Using external energy sources for his needs, a person is in a state of thermodynamic imbalance with the environment. And using the internal energy of the body to ensure its existence, the human body is in a state to thermodynamic equilibrium. The anthropometric and social aspects of this issue are considered in terms of relativity to human energy activity. The mind is presented here as the ability of a person to organize the processes of attracting and transforming an almost unlimited amount of external energy on Earth, reducing the continuous entropy of the planet. This is a city that cannot be realized by any other of the existing ecosystems on Earth. This approach may be one of the explanations for the unique and unlike another living world of human abilities on this planet. Quantitative indicators of such activities have been added in relation to all the energy that a person on Earth can master.

Key words: energy and human activity, ecosystem, Energy concentration on the planet, Thermodynamic equilibrium.



УДК 62-72

В. Б. Гулевський, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1434-9724

Ю. О. Постол, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0749-3771

В. В. Мигуля

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

E-mail: vadym.hulevskyi@tsatu.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН

Анотація. Змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР) – технічні рідини, як правило, складні багатокомпонентні системи, призначені в основному для змащування й охолодження металообробних інструментів і деталей, сприяють зниженню зносу інструментів і підвищенню точності оброблюваних деталей (у процесі обробки матеріалів, охолоджуючі рідини виконують, крім того, ряд інших функцій: змивають абразивний пилю і стружку, захищають від корозії оброблювані деталі, інструмент і обладнання, покращують санітарно-гігієнічні умови праці). Застосовуючи нові прогресивні склади ЗОР і сучасні способи їх подачі (гідро аеродинамічні, напірно-струминні, ступінчасті), можна значно зменшити висоту мікрорівномірностей шліфувальної поверхні в результаті поліпшення умов взаємодії зерен шліфувального круга з деталлю, зниження контактної температури в зоні шліфування, усунення вібрацій тощо [1-3].

Однією з основних причин, що впливають на якість шліфованих поверхонь деталі або заготовки, є забруднення ЗОР [3, 4]. Забруднення може відбуватися при подачі, зберіганні, заливці їх в гідросистему, експлуатації, а також внаслідок розпаду самої рідини. Джерелами забруднення можуть бути: неабразивний осад - він забиває щілини фільтрів, кислоти, що роз'їдають поверхню гідрообладнання, шлак засмічує рідини, вода емульгує змащувально-охолоджувальні рідини, частки металу є каталізаторами розкладання та окислення; пісок утворює абразивне середовище.

В даний час застосовуються способи очищення, вартість яких і витрати на обслуговування безперервно зростають у міру ускладнення верстатного обладнання, появи нових прогресивних технологій, збільшення вимог якості продукції, що випускається. Стабільність



чистоти ЗОР залежить від надійності роботи пристроїв, які здійснюють очищення рідини від шліфувального шламу.

Тому актуальним завданням є вдосконалення процесів очищення забруднених змащувально-охолоджувальних рідин, а також розробка систем з високим ступенем очищення.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальні рідини, очищення, відновлення, проектування системи керування, система автоматизованого проектування.

Постановка проблеми. Вибір технологічної схеми очищення та регенерації ЗОР – одна із складних та відповідальних операцій. При цьому слід враховувати всі фізико-хімічні та мікробіологічні особливості водних емульсій, а також правильно вибрати подальший напрямок використання ЗОР після очищення чи регенерації, оскільки це визначає економічні та матеріальні витрати на певних операціях [5].

У системах очищення ЗОР винаходять нові, більш екологічні та ефективні способи видалення забруднень, з'являються нові матеріали для фільтрів, удосконалюється насосне обладнання, запірна арматура, тощо [5-8].

Організація очищення ЗОР на ремонтних підприємствах може проводитись за двома основними напрямками:

- централізоване очищення на великих ремонтних заводах та ремонтних цехах. Централізований пункт регенерації забезпечується відпрацьованими ЗОР, що надходять безпосередньо від верстатів;
- децентралізована (індивідуальна) регенерація, що здійснюється безпосередньо на верстатах ремонтних підприємств.

На рисунку 1 представлено схему централізованого очищення ЗОР. Схема передбачає 2-ступеневу очистку шляхом відстоювання та флотації.

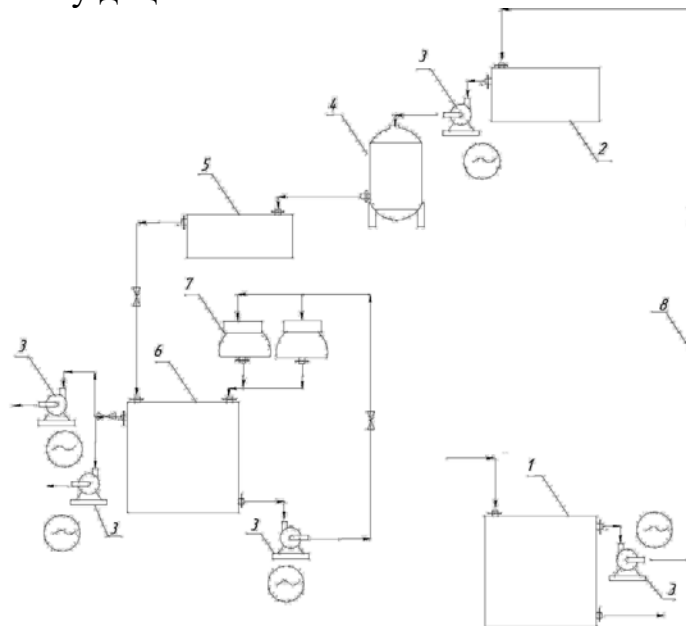
На рисунку 2 представлена схема децентралізованого (індивідуального) очищення ЗОР.

Щодо якості, контролю, досконалості методів очищення централізована система має явні переваги перед децентралізованою.

Однак ця система має і суттєві недоліки, такі як необхідність транспортування ЗОР, як забруднених, так і очищених, на значні відстані. Також забруднення ЗОР сторонніми домішками, наприклад консистенційними мастилами, мийними матеріалами тощо, ускладнює очищення навіть при використанні методів глибокого очищення.

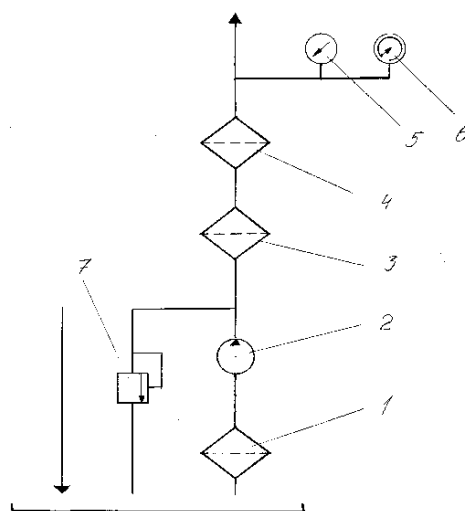
Технологічним процесом очищення ЗОР на ремонтних підприємствах може керувати система керування. Така система, що реалізує оптимальний варіант керування повинна мати властивість функційності, тобто в цілому забезпечувати оптимальний перебіг процесу або роботу установки в автоматичному чи автоматизованому

режимі й економічну доцільність.



1 – горизонтальний відстійник; 2 – напірний бак; 3 – насос для ЗОР; 4 – проміжний бак; 5 – флотатор; 6 – збірка для ЗОР після флотації; 7 – фільтр; 8 – система трубопроводів.

Рисунок 1. Схема централізованого очищення ЗОР



1 – приймальний сітчастий фільтр; 2 – насос; 3,4 – магнітні фільтри; 5 – манометр; 6 – реле тиску; 7 – зворотний клапан.

Рисунок 2. Схема індивідуальної системи очищення ЗОР

На стадії проектування системи керування технологічним процесом важливо мати можливість створити схему електричну принципову, яка дає найповніше уявлення про склад і принцип роботи і визначає повний склад приборів, апаратів і пристроїв (а також зв'язків між ними), дія яких забезпечує вирішення задач керування, регулювання, захисту, вимірювання і сигналізації.



Це завдання вимагає застосування вузлових елементів схеми шляхом підбору силової та комутаційної апаратури. Вибір, як правило, здійснюється за заданим набором придатних елементів промислового виробництва і типових схем. Велика номенклатура існуючого електрообладнання здатна вирішити практично всі завдання технологічного процесу відновлення.

В даний час основним підходом до розробки схеми є суб'єктивні знання і досвід проєктувальника, які завжди характеризуються незавершеністю і фрагментарністю, що впливає на якість проєктованої системи. Тому в процесі розробки виникає необхідність перевірити правильність проєктних рішень.

Аналіз останніх досліджень. Одним із шляхів зміни існуючих підходів до розробки системи керування технологічним процесом очищення ЗОР є використання систем автоматизованого проєктування (САПР). САПР програми для енергетиків займають особливе становище серед інших продуктів, оскільки представляють прогресивні індустриальні технології, безпосередньо спрямовані на найбільш стратегічні галузі виробництва [9].

Застосування комплексних систем автоматизації з використанням сучасної обчислювальної техніки значно підвищує ефективність проєктування очисних систем, мінімізує ймовірність виникнення різноманітних аварійних ситуацій.

На сьогоднішній день досить багато пропозицій програмного забезпечення САПР від різних розробників, яке дозволяє інженерам вирішувати як досить загальні, так і спеціалізовані завдання [10]. САПР здатні реалізувати технологію наскрізного циклу підготовки та виготовлення складних промислових конструкцій, складання креслень та іншої супровідної документації. Багато програм включають різноманітну базу, готові макети, які потрібно лише доповнити. Усі елементи, що знаходяться у бібліотеці, відповідають стандартам ЄСКД.

Використання найскладніших систем не завжди доцільно через високі вимоги до інформаційних ресурсів необхідних для їх функціонування. Тому існує багато систем низького рівня, які виконують операції, що належать до процесу розробки.

Формулювання мети статті. Метою статті є визначення можливостей проєктування систем очищення забруднених зм'ячувально-охолоджувальних рідин з використанням програмного забезпечення систем автоматизованого проєктування.

Основна частина. Симулятор PC_SIMU є однією з найбільш часто використовуваних технічними фахівцями програм для моделювання різних технологічних процесів. Крім можливості моделювати електричні та електромеханічні схеми, існують різні елементи для створення простого двовимірного процесу.

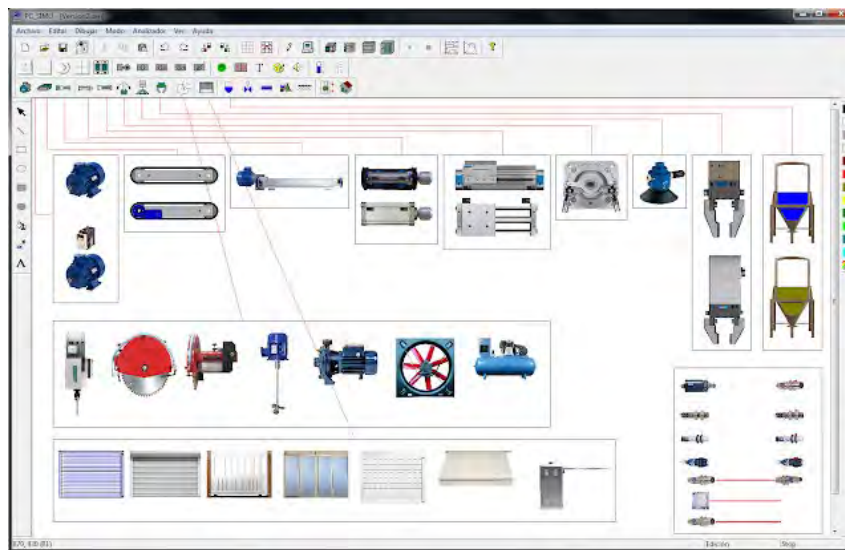


Рисунок 3. Симулятор PC_SIMU

Програма дозволяє спроектувати промислову установку, яка включає велику кількість елементів, як електричних, так і механічних і навіть пневматичних, для повного моделювання простих промислових процесів. У програмі є кілька об'єктів, які вже налаштовані раніше, для цього просто потрібно звернутися до входів/виходів.

Деякі елементи, які можливо включити, це перемикачі, кнопки, селектори, клавіатури, попередні селектори, кінцеві вимикачі, датчики наближення, інфрачервоні бар'єри, світлодіоди, дисплеї, двигуни, конвеєрні стрічки, циліндри або бункери для рідин і твердих речовин, труби тощо. Щоб вибрати об'єкт, просто необхідно активувати відповідну кнопку на панелі інструментів і розмістити його в робочій області.

Для завершення креслення для моделювання доступні такі об'єкти креслення, як лінії, прямокутники, еліпси тощо. які не можна розглядати як входи/виходи. Мета полягає в тому, щоб включити деякі елементарні графічні функції для покращення зовнішнього вигляду.

Програмне забезпечення CADe_SIMU [11] призначене для проектування та моделювання електричних кіл. CADe_SIMU — це дуже легке програмне забезпечення (близько 5 МБ), здатне імітувати електричні схеми керування, які можна запрограмувати для виконання різноманітних завдань автоматизації, налаштованих відповідно до потреб технологічного процесу.

Використання CADE_SIMU спільно з PC_SIMU дозволяє розширити можливості моделювання, де технічні елементи можуть взаємодіяти зі схемою керування.

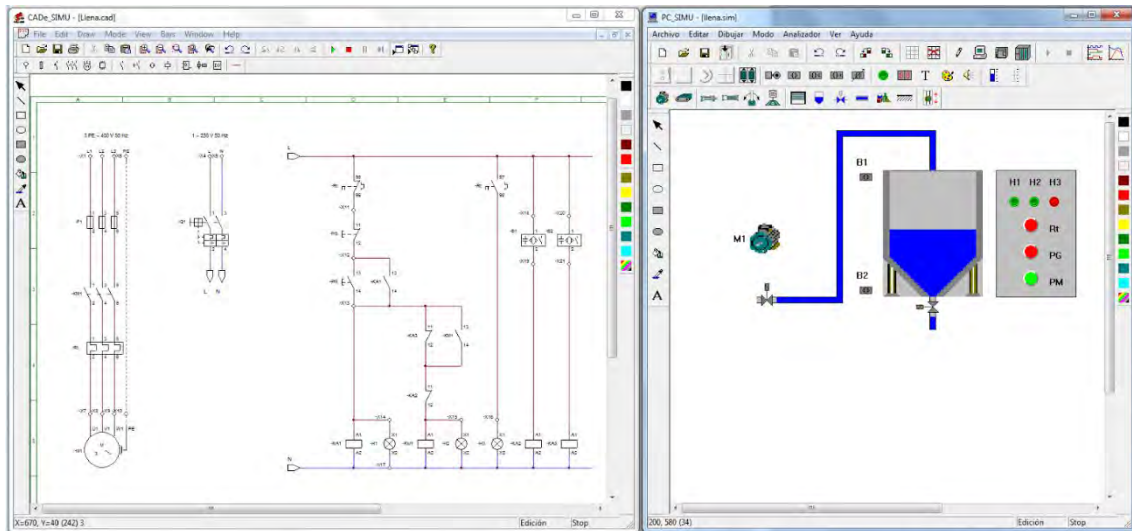


Рисунок 4. CADE_SIMU спільно з PC_SIMU

Висновки. Через відсутність сучасних технологій у технологічному процесі ремонту деталей автомобіля підприємства відстають у своєму розвитку та стають нездатними випускати конкурентоспроможну продукцію.

У такій ситуації одним із найбільш ефективних напрямів удосконалення процесів очищення забруднених змащувально-охолоджувальних рідин, а також розробка систем з високим ступенем очищення є впровадження сучасних САПР.

На підставі проведеного аналізу можна сформулювати перспективи використання програмного забезпечення CADE_SIMU спільно з PC_SIMU для вирішення завдань удосконалення систем очищення.

Список використаних джерел

1. Lodhi APS, Kumar D (2020) Natural ingredients based environmental friendly metalworking fluid with superior lubricity. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp A* 613:126071. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.126071>
2. Nadolny K., Kieraś S., Sutowski P. Modern Approach to Delivery Coolants, Lubricants and Antiadhesives in the Environmentally Friendly Grinding Processes. *Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech.* 8, 639–663 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00270-y>
3. Гулевский В. Б., Кузнецов И. О., Кузнецова А. В. Особенности ремонта деталей автомобилей. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* 2013. Вип. 13, т.5. С. 135-139. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/9850>
4. Просвірнін В. І., Гулевський В. Б., Савченков Б. В. Аналіз забруднень мастильно-охолоджувальних рідин при відновленні деталей транспортної техніки // *Вісник ХНТУСГ.* Харків, 2008. Вип. 69.



C. 162-167. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/5106>

5. Zhang T, Ruan JK, Cheng W. Research Progress of Cutting Fluid Wastewater Treatment Technology. *Chin J Environ Eng.* 2020;14(09): 2362–2377.

6. Гулевський, В., Постол, Ю., Яценко, В. (2019). Удосконалення конструкції електромагнітного відстійника для очищення технічних рідин від механічних домішок. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 19(3), 163-168. Retrieved із <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/253>

7. Zhang Q, Yu CJ, Fang J, Xu HY, Jiang QL, Yang SK, Wang WK (2017) Using the Combined Fenton-MBR Process to Treat Cutting Fluid Wastewater. *Pol J Environ Stud* 26(3):1375–1383. <https://doi.org/10.15244/pjoes/68229>

8. Ma S, Kim K, Huh J, Kim DE, Lee S, Hong Y (2018) Regeneration and purification of water-soluble cutting fluid through ozone treatment using an air dielectric barrier discharge. *Sep Purif Technol* 199:289–297

9. Venkata Rao, R. (2011). *Advanced modeling and optimization of manufacturing processes: international research and development*, Springer, London.

10. What is CAD (Computer Aided Design)? Definition, Types, and Applications веб-сайт. URL: <https://www.spiceworks.com/tech/devops/articles/what-is-cad/> (дата звернення: 27.03.2023).

11. July Andrea, Gomez Camperos, Haidee Yulady Jaramillo, Sir Alexci Suárez Castrillón. Cade Simu As A Simulation And Learning Tool For Programmable Logic Controllers. *Journal of Positive Psychology & Wellbeing* 2023, Vol. 7, No. 1, 919–926. URL: <https://journalppw.com/index.php/jppw/article/view/15780>

Стаття надійшла до редакції 28.03.2023 р.

V. Hulevskiy, Y. Postol, O. Kovalev, V. Myhulia
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF AUTOMATED DESIGN OF LUBRICATING-COOLING FLUIDS CLEANING SYSTEMS

Summary

Lubricating-cooling fluids (LCF) are technical fluids, as a rule, complex multi-component systems, designed mainly for lubrication and cooling of metalworking tools and parts, contribute to reducing tool wear and increasing the accuracy of processed parts (in the process of processing materials, coolants perform, in addition to in addition, a



number of other functions: wash away abrasive dust and shavings, protect processed parts, tools and equipment from corrosion, improve sanitary and hygienic working conditions). Using new progressive compositions of lubricating and cooling liquids and modern methods of their supply (hydro-aerodynamic, pressure-jet, stepped), it is possible to significantly reduce the height of micro-uniformities of the polished surface as a result of improving the conditions of interaction between the grains of the grinding wheel and the part, reducing the contact temperature in the grinding zone, eliminating vibrations, etc.

It is known that great difficulties arise in the abrasive treatment of parts restored by surfacing, spraying, and other metal surfacing methods. These difficulties are due to the uneven allowances, the instability of the properties of the deposited metal and other factors that worsen the working conditions of the abrasive tool. At the same time, one of the main reasons affecting the quality of the restored surfaces of the part is the level of contamination of lubricating and cutting fluid with mechanical impurities. One of the main reasons affecting the quality of polished surfaces of a part or workpiece is the contamination of lubricating and cooling fluids.

Contamination can occur during supply, storage, pouring them into the hydraulic system, operation, as well as due to the breakdown of the liquid itself. The sources of pollution can be: non-abrasive sediment - it clogs filter slots, acids that corrode the surface of hydraulic equipment, slag clogs fluids, water emulsifies lubricating and cooling fluids, metal particles are catalysts for decomposition and oxidation; sand forms an abrasive environment.

The stability of the purity of lubricating and cooling fluids depends on the reliability of cleaners that clean the fluid from grinding sediment. Currently, cleaning methods are used, the cost of which and maintenance costs are continuously increasing as machine equipment becomes more complicated, new advanced technologies appear, and the requirements for the quality of manufactured products increase.

Therefore, it is urgent to improve the processes of cleaning contaminated lubricating and cooling liquids, as well as to develop systems with a high degree of cleaning.

Key words: lubricating-cooling fluids, cleaning, restoration, control system design, automated design system



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-37

УДК 621.22

М. І. Бабич, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1295-4162

С. В. Коробка, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4717-509X

Львівський національний університет природокористування

e-mail: m.babych@ukr.net, тел.: 097-763-58-32

МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТУРБИНИ ТА ДЕРИВАЦІЙНОГО КАНАЛУ МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ УМОВ ГІРСЬКОЇ РІЧКИ

Анотація. В статті представлено методику дослідження параметрів гідроелектростанції для малих гірських річок. Обґрунтовано що для даного регіону доцільним є використання гідроспоруд дериваційного типу без застосування гребель та водосховищ. Обґрунтовано критерій оптимізації – прибуток від виробленої та реалізованої електроенергії в загальну мережу за «зеленим» тарифом, що дозволяє знайти оптимальний варіант для забезпечення максимального освоєння потенціалу річки та зменшення затрат на виробництво електроенергії. Розроблено алгоритм досліджень, який є основою для статистичного імітаційного моделювання віртуальної системи «мікро-ГЕС – річка» в результаті якого можливо обґрунтувати параметри гідроелектростанції для умов досліджуваної річки.

Ключові слова: річка, мікрогідроелектростанція, дериваційний канал, гідротурбіна, оптимізація.

Постановка проблеми. За перші місяці війни в Україні виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії значно скоротилось. Зокрема на півдні обсяги його впали на 40 %. При цьому на заході відпуск відновлюваної енергії виріс на 70%, за рахунок сонячних та вітрових електростанцій. Незважаючи на зростання виробленої «зеленої» електроенергії на заході, існує проблема забезпечення стійкості об'єднаної енергосистеми України. Адже через бойові дії на сході та півдні зупинені маневрові енергоблоки теплоелектростанцій, які виконували функції балансування та акумулювання енергії для забезпечення стійкості системи. На даний момент сонячні та вітрові електростанції такої задачі не вирішують. Ці проблеми вирішуються за рахунок освоєння стабільнішої гідроенергії.

За даними «Укргідропроєкту» гідропотенціал малих річок України



складає 2 млн. кВт, з яких 30 % зосереджено у Карпатському регіоні [3]. Малі гідроелектростанції (МГЕС), без значного шкідливого впливу, можуть стати важливою складовою енергозабезпечення для регіонів Західної України, а для деяких районів Чернівецької і Закарпатської областей – джерелом повного енергозабезпечення. Для ефективного освоєння гідроенергетичного потенціалу річок, насамперед необхідно розробити методики обґрунтування параметрів мікрогідроелектростанцій (мікро-ГЕС) в конкретних умовах.

Аналіз останніх досліджень. На сьогоднішній день є багато праць присвячених обґрунтуванню параметрів гідроелектростанцій (ГЕС) на річках, адже даний напрям наукових досліджень розвивається протягом століть. Однак більшість робіт, зокрема [5, 8, 9], присвячено обґрунтуванню параметрів гідрообладнання великих ГЕС, розташованих на рівнинних річках, для створення напору яких використовують водосховища. У [5] описані відносні переваги гідроагрегатів різних типів для різних умов і робочих режимів. Дане дослідження стосується високонапірних турбін з напором від 200 до 800 м для рівнинних річок. Результати його можна використати лише частково, оскільки в нашому дослідженні використовується мікро-ГЕС, яка не потребує менших напорів.

У роботі [6], дослідження спрямовані на визначення оптимального місця розташування і потужності мікро-ГЕС для умов Ірану. Дана робота є цікавою з позиції електрозабезпечення автономного споживача у важкодоступних районах. Дослідження в [7] присвячене перспективам використання мікро-ГЕС для електрозабезпечення віддалених споживачів Узбекистану. Хоча у роботі здійснене обґрунтування гідроагрегату у складі пропелерної гідротурбіни та асинхронного генератора, однак методика є дуже загальною та більше стосується процесу перетворення гідравлічної енергії потоку рідини в електричну енергію, зокрема узгодження асинхронного генератора з гідротурбіною.

Цікавою є робота [8], де авторами обґрунтовано, що для того щоб гідроенергетика стала частиною сталого майбутнього, необхідно залишити в минулому ГЕС з великими греблями, які своїми водосховищами підтоплюють значні території, необхідно використовувати екологічні установки, зокрема МГЕС та мікро-ГЕС, які не порушують екологію водотоків, рибне господарство та життя людей, а також поєднувати їх виробництво з іншими відновлюваними джерелами енергії.

У [9] представлені результати дослідження та удосконалена методика розрахунку водовідвідних споруд низького напору ГЕС зі встановленою поперечно-реактивною гідротурбіною, що актуально для електропостачання малих споживачів електроенергії в Центральній



Азії. Недоліком даного дослідження є відсутність прив'язки до конкретної річки, а також не обґрунтовано який саме тип турбіни необхідно застосовувати. Також методика не враховує вартісної складової.

Досить ґрунтовні дослідження проведені в роботі [10], зокрема обґрунтовано використання різних типів турбін в залежності від гідрологічних характеристик річки, та прийнятих умов роботи мікро-ГЕС. Результати можна застосувати лише частково, оскільки в роботі розглядається застосування греблі для створення напору.

Таким чином, для ефективного використання гідроенергетичного потенціалу малих річок необхідне застосування підходів, поєднаних єдиною методологією з використанням системного підходу. Насамперед необхідно розкрити особливості роботи мікро-ГЕС в умовах малих гірських річок та обґрунтувати їх системні функціональні показники та критерії оптимізації.

Формулювання мети статті. Метою даного дослідження є розроблення відповідних методик, які давали б змогу обґрунтувати параметри мікро-ГЕС, зокрема гідротурбіни та дериваційного каналу в умовах гірської річки. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати тип мікро-ГЕС для освоєння гідропотенціалу гірських річок;
- розкрити та обґрунтувати системні функціональні показники мікро-ГЕС в умовах малих річок;
- обґрунтувати критерії оптимізації параметрів мікро-ГЕС;
- розробити алгоритм дослідження віртуальної системи «мікро-ГЕС – річка».

Основна частина. На сьогодні немає єдиної світової класифікації щодо того, які ГЕС належать до малої гідроенергетики. У більшості країн, як і в Україні, малі гідроелектростанції (МГЕС) потужністю до 10 МВт, з яких мікро-ГЕС до 0,2 МВт, і міні ГЕС до 1 МВт.

В Україні нараховується 152 МГЕС, проте в Карпатському регіоні, до якого відноситься Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська і Чернівецька області, знаходиться лише 20 МГЕС, що дуже мало зважаючи на гідропотенціал регіону [3].

Для обґрунтування типу мікро-ГЕС, насамперед необхідно охарактеризувати особливості гірських річок на яких вони будуть використовуватись. Цим річкам притаманний гірський характер, їх схили є стрімкими, а долини є глибокими та вузькими. Тому для даних умов ефективною є застосування дериваційної схеми створення напору. Значні ухили русла дозволяють отримати високий напір за незначної довжини дериваційного каналу. При цьому непотрібно будувати греблю, яка може спричинити значне підтоплення території.



Крім схеми створення напору, важливим є обґрунтування типу гідроагрегату, основним елементом якого є гідротурбіна. Гідротурбіну вибирають за витратою води та створеним напором. При цьому гідротурбіна налаштована на певний діапазон робочих витрат води. При дериваційній схемі це важливо, адже за відсутності водосховища ми можемо розраховувати лише на мінливий природний стік води.

Для гірських річок Карпатського регіону необхідна така гідротурбіна, яка працює на високих напорах та малій кількості води. При цьому діапазон робочих витрат має бути досить широким. Даним вимогам відповідає радіально-осьова турбіна Френсіса, яку ми будемо використовувати у даному дослідженні.

Для того щоб мікро-ГЕС ефективно функціонувала необхідно узгодити параметри гідротурбіни з гідрологічними характеристиками річки. Таке узгодження дозволяє обґрунтувати параметри мікро-ГЕС.

Гідротурбіна ефективно функціонує за обґрунтованих потужності, напору і витрати води. Наприклад розрахункова витрата води q в створі річки, повинна знаходитись у робочому діапазоні мінімальної q^{\min} і максимальної q^{\max} витрати води турбіни, тобто $q^{\min} \leq q \leq q^{\max}$. Аналогічно з робочим напором H , який має бути в межах $H^{\min} \leq H \leq H^{\max}$. Тоді вироблена потужність мікро-ГЕС $P \leq P^{\max}$.

Для дериваційної схеми створення напору робочий напір H визначимо з виразу, м:

$$H = H^{\text{бр}} - h_w, \quad (1)$$

де $H^{\text{бр}}$ – статичний напір бруто, м; h_w – втрати напору у дериваційному каналі, гідроелектростанції тощо, м.

Для ефективної роботи гідротурбіни необхідно постійно забезпечувати її водою. Для мінливої витрати води, необхідно щоб більшість днів у році витрата води у річці попадала в діапазон витрат гідротурбіни. В конкретний момент часу витрату води q у досліджуваному створі річки визначимо:

$$q = \bar{Q} - q_e, \quad (2)$$

де \bar{Q} – миттєве значення витрати води у досліджуваному створі річки, м³/с;

q_e – витрата води, яку не можна використовувати згідно екологічних вимог, м³/с [1, 4].

Потужність P залежить від режиму роботи мікро-ГЕС, який залежить від витрати води в конкретний момент часу. Якщо витрати води $q < q^{\min}$ тоді потужність $P = 0$. Якщо $q^{\min} \leq q \leq q^{\max}$ тоді потужність мікро-ГЕС порахуємо, кВт:



$$P = g \cdot q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G . \quad (3)$$

Якщо $q > q^{\max}$ тоді потужність P рівна номінальній потужності прийнятої гідротурбіни, тобто $P = N_n$ [2].

Отримавши значення потужності можна визначити виробіток електроенергії W , кВт·год:

$$W = P \cdot t , \quad (4)$$

де t – тривалість роботи мікро-ГЕС, год.

Порахувавши річний виробіток електроенергії W , можна визначити собівартість електричної енергії c_e виробленої на мікро-ГЕС, грн/кВт·год:

$$c_e = \frac{B}{W} , \quad (5)$$

де B – частка річних відрахувань вартості мікро-ГЕС, грн/рік.

Важливим моментом є вибір та обґрунтування критерію оптимізації. У дослідженні планується, що мікро-ГЕС буде працювати на електричну мережу, оскільки виробництво електричної енергії є значним, крім цього основні параметри мікро-ГЕС можуть регулюватись електромережею, зокрема частота, напруга і струм. Зважаючи на постанову НКРЕКП «Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену генеруючими установками споживачів, у тому числі енергетичних кооперативів, встановлена потужність яких не перевищує 150 кВт», № 1960 від 30.12.2022 року, відповідно до якої держава зобов'язується закуповувати вироблену електроенергію за ціною 607,47 коп/кВт·год (без ПДВ), прибуток Π від реалізованої електроенергії в загальну мережу визначимо:

$$\Pi = W \cdot (c_z - c_e) , \quad (6)$$

де Π – річний прибуток, грн/рік;

c_z – показник зеленого тарифу, грн/кВт·год;

c_e – собівартість виробленої електроенергії, грн/кВт·год.

Обґрунтування параметрів мікро-ГЕС та їх кількості здійснюють на підставі перебору всіх можливих варіантів їх розміщення на досліджуваній річці. Оскільки таких варіантів може бути дуже багато, в залежності від довжини річки, розв'язання цієї задачі можливе на підставі статистичного імітаційного моделювання. Використовуючи розроблену методику обґрунтування параметрів турбіни і дериваційного каналу, нами запропоновано алгоритм дослідження



віртуальної системи «мікро-ГЕС – річка», укрупнена схема якого представлена на рис. 1.

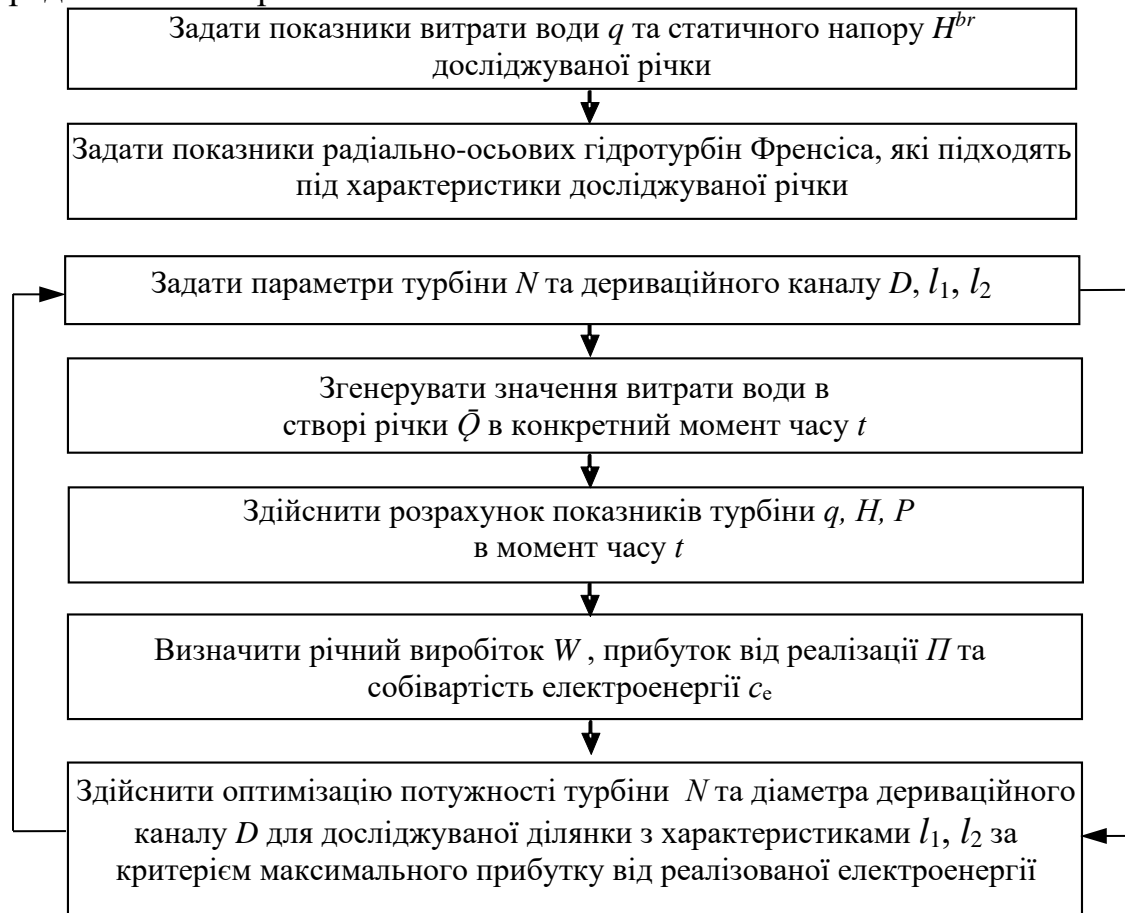


Рисунок 1. Укрупнена схема алгоритму дослідження віртуальної системи «мікро-ГЕС – річка»

Як бачимо з наведеної схеми, насамперед необхідно задати попередньо визначені показники досліджуваної річки – статичний напір H і витрату води q .

Наступним кроком є введення показників досліджуваних гідроагрегатів, а саме робочих діапазонів витрат води q^{\min} і q^{\max} та робочих напорів H^{\min} і H^{\max} , коефіцієнта корисної дії, вартості гідрообладнання тощо.

Одним з основних елементів мікро-ГЕС в умовах гірської річки є дериваційний канал, який характеризується діаметром D та довжиною – у моделі з відмітками початку l_1 і кінця l_2 . Тому на цьому етапі задаємо параметри деривації і максимальну потужність турбіни N .

Далі генеруємо випадкове значення витрати води \bar{Q} у створі річки в конкретний момент часу t для визначення витрати води q , робочого напору H і виробленої потужності P гідроагрегату.

Оскільки в дослідженні поставлена задача максимального освоєння гідроенергетичного потенціалу річки, та використовуючи як



критерій прибуток від реалізації виробленої електроенергії, порівнюємо отримані показники функціонування мікро-ГЕС і здійснюємо оптимізацію потужності турбіни N та діаметра дериваційного каналу D для досліджуваної ділянки з характеристиками l_1, l_2 .

Висновки. Обґрунтовано, що для гірських регіонів необхідно використовувати гідропоруди без водосховищ, зокрема дериваційного типу. Застосування даної схеми створення напору дає змогу ефективніше використати потенціал гірської річки з мінімальним екологічним впливом та меншими капіталовкладеннями. Застосування прибутку від виробленої електроенергії в якості критерію, дозволяє відшукати оптимальний варіант для забезпечення максимального освоєння гідроенергетичного потенціалу та зменшення затрат на виробництво електроенергії. Розроблені методика та алгоритм обґрунтування гідротурбіни та дериваційного каналу є основою для статистичного імітаційного моделювання віртуальної системи «мікро-ГЕС – річка» в результаті якого можливо обґрунтувати параметри мікро-ГЕС для реальних характеристик досліджуваної річки.

Список використаних джерел

1. Бабич М. І. Обґрунтування стохастичної складової проектного середовища в проектах систем виробництва електроенергії на малих річках. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2015. № 19. С. 7–12.

2. Боярчук В., Бабич М., Кригуль Р., Шолудько Я. Дослідження функціональних та вартісних показників малих гідроелектростанцій. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2013. № 17. С. 281–286.

3. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. *Відновлювальна енергетика*. 2016. № 3. С. 50–56.

4. Васько П. Ф., Мороз А. В., Бриль А. О, Ібрагімова М. Р. Екологічні аспекти розвитку гідроенергетики в Україні. *Відновлювальна енергетика*. 2018. № 2. С. 57–69.

5. Миронов К. А., Олексенко Ю. Ю. Обґрунтування вибору типу високонапірної гідротурбіни при її проектуванні. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати*. Харків. : НТУ «ХПІ», 2016. №41(1213). С. 79–83.

6. Ghadimi A., Razavi F., Mohammadian B. Determining optimum location and capacity for micro hydropower plants in Lorestan province in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, № 8. P. 4125–4131. DOI:10.1016/j.rser.2011.07.003

7. Ismailov A. I., Samatov N. A., Bakhramov Sh. K., Rayimdjanov B. N., Sharipov I. F. Substantiation of parameters of hydro turbines of



microhydroelectric stations with an asynchronous generator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 12th-14th May 2021, Tashkent, Uzbekistan*. Vol. 868. DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/868/1/012025>

8. Moran E., Lopez M., Moore N., Müller N., Hyndman D. Sustainable hydropower in the 21st century. *PNAS*. 2018. Vol. 115 (no. 47). P. 11891–11898. DOI: <https://www.pnas.org/doi/suppl/10.1073/pnas.1809426115>

9. Zakharov Y. Y. Method of calculation of water-diverting structures of low-head hydroelectric power plant for power supply of small power consumers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1211. DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1211/1/012012>

10. Nasir B. A. Design Considerations of Micro-Hydro-Electric Power Plant. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 50. P. 19–29. DOI: [10.1016/j.egypro.2014.06.003](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.003)

Стаття надійшла до редакції 10.04.2023 р.

M. Babych, S. Korobka
Lviv National Environmental University

METHOD OF SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF HYDRO TURBINES AND THE DERIVATION CHANNEL OF MICROHYDROELECTRIC STATIONS FOR THE CONDITIONS OF THE MOUNTAIN RIVER

Summary

The article presents the method of researching the parameters of a microhydroelectric station for small mountain rivers. It is substantiated that for this region it is expedient to use hydroelectric structures of the derivation type without the use of dams and reservoirs. It was established that for mountain rivers it is advisable to use a Francis radial-axial turbine, the parameters of which must be coordinated with the hydrological characteristics of the river.

It is proposed that the hydroelectric power station works on the general electric grid, since the production of electrical energy can be significant, and the main parameters of the hydroelectric power station can be regulated by the electric grid, in particular the frequency, voltage and current. A methodology for calculating the main indicators of a hydroelectric power plant, in particular its capacity, annual production and cost of electricity, is proposed. The optimization criterion is substantiated - the profit from the produced and sold electricity to the general network at the "green" tariff.

The substantiation of the parameters of micro-hydroelectric station and their number must be carried out on the basis of a selection of all possible options for their placement on the studied river. Since these options can be hundreds, and sometimes even thousands, depending on the length of the river, it is suggested to use statistical simulation modeling to solve this problem. A research algorithm has been developed, which is the basis for statistical simulation modeling of the virtual system "micro-HES - river", as a result of which it is possible to justify the parameters of the hydroelectric power plant for the conditions of the studied river.

Key words: river, microhydroelectric station, derivation channel, hydro turbine, optimization.



УДК 621.3:620.96

І. П. Радько, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4235-3969

В. А. Наливайко, к.т.н.

ORCID ID: 0000-0002-6297-9045

О. В. Окушко, к.т.н.

ORCID ID: 0000-0002-1894-5294

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: ivan_radko@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ВИРОБНИЧІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Анотація. В статті розглянуті актуальні питання впровадження енергозберігаючих заходів у виробництво підприємств, для яких питання енергозбереження є одним з основних шляхів зниження витрат та підвищення конкурентоспроможності продукції. Розкрито суть енергозбереження та її вплив на підвищення ефективності виробничої діяльності, визначено шляхи поліпшення використання енергоресурсів.

Встановлено взаємозв'язок енергозбереження та енергоефективності, оскільки в основному енергозбереження є основним фактором підвищення рівня ефективності використання енергетичних ресурсів, а енергоефективність, хоч і є дещо ширшим поняттям, але включає в себе не лише напрями прямого енергозбереження, але і непрямі заходи, що призводять до зменшення споживання енергоресурсів.

Ключові слова: енергозбереження, енергозберігаючі технології, підприємство, виробництво, енергоефективність, ефективність виробничої діяльності.

Постановка проблеми. Необхідність реалізації пріоритетної політики з енергозбереження, пов'язана, в першу чергу, з дефіцитом паливно-енергетичних ресурсів, зростанням вартості видобутку, глобальними екологічними та економічними проблемами, а також загальною обстановкою, що наразі є в Україні. Важливим завданням сучасних промислових підприємств є ресурсозберігаюче їх використання та підвищення ефективності їх використання на всіх етапах виробництва. Велику увагу необхідно приділяти розвитку сучасних технологій і впровадженню організаційно-технічних і економічних заходів щодо підвищення енергоефективності, а також вкладанню інвестицій в розвиток сучасних енергозберігаючих



технологій, що забезпечать конкурентоспроможність виробництв підприємств і створять передумови для розвитку у майбутньому [1, 2, 3, 4].

Незважаючи на велику кількість науково-технічних розробок в електроенергетичній галузі, питання щодо визначення і вдосконалення оптимальних шляхів впровадження енергоефективних заходів у виробничу діяльність підприємств різної форми господарювання залишаються наразі актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Енергетична криза, що була в 70 роках минулого століття у всьому світі, викликала різке подорожчання енергоносіїв і призвела до усвідомлення необхідності цілеспрямованої політики держав всього світу у напрямку енергозбереження [3, 5]. Ця усвідомленість призвела до необхідності досягнення високих і надійних показників енергозабезпечення, розробки заходів щодо зменшення залежності від імпортованих енергоресурсів та створення відповідної законодавчої бази щодо енергозбереження.

Визначення самого поняття наразі є енергозбереження, так наприклад, у Законі України «Про енергозбереження» зазначено, що енергозбереження – це діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), спрямована на раціональне використання та економне споживання первинної та перетвореної енергії та природних енергетичних ресурсів у народному господарстві та забезпечення енергозбереження, яка реалізується з використанням техніко-економічних і правових методів [5]. В той же час, деякі автори вважають, що енергозбереження – це процес, під час якого зменшується потреба в енергетичних ресурсах на одиницю кінцевого корисного ефекту від їх використання, тобто це процес раціонального використання енергетичних ресурсів та залучення відновлюваних джерел енергії до господарського обігу для забезпечення енергоефективності економічного розвитку та покращення соціальної ситуації в країні, а також збереження екосистеми та невідновлюваних джерел енергії для майбутніх поколінь» [6, 7].

Отже, можна констатувати, що енергозбереження – це є сукупність наукових, організаційних, екологічних, економічних та технологічних заходів, які спрямовані на раціональне та безпечне використання енергетичних ресурсів з метою зниження їх витрат при виробництві продукції, наданні послуг та досягненні різних соціально-економічних ефектів від їх використання.

З аналізу різних наукових досліджень можна зробити висновок [8, 9, 10, 11], що існують різні підходи до визначення цього поняття «енергозбереження», а саме енергозбереження як діяльність, як складова частина управління, як процес та як кінцевий результат.

Аналізуючи наведені дослідження, можна констатувати, що



незважаючи на різні підходи, більшість дослідників прямо чи опосередковано ототожнює поняття «енергозбереження» з підвищенням енергоефективності, що є можливим лише у разі організації на кожному підприємстві ефективної енергозберігаючої політики.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є сутність енергозбереження та визначення його впливу на підвищення ефективності виробничої діяльності.

Основна частина. Проведення політики енергозбереження у промисловості повинно ґрунтуватися на результатах економіко-енергетичного обстеження всіх виробничих і невиробничих ланок. Нині основним фактором формування енергоефективності промислових підприємств є створення ефективно діючої системи менеджменту з енергозбереження [12, 13, 14, 15,]. Ця система повинна мати в собі технічну та організаційно-економічну складові. Технічна складова повинна ґрунтуватися на підвищенні ефективності самого виробництва та зниженні енергоємності продукції, що виробляється, за рахунок впровадження відповідних заходів з енергозбереження та сучасних технологій виробництва, скорочення втрат енергоресурсів і заміщення енергоносіїв впровадженням альтернативних джерел енергопостачання.

Організаційно-економічна складова повинна ґрунтуватися на формуванні на підприємстві служби енергоменеджменту, діяльність якої повинна бути спрямована на забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів і базуватися на отриманні енерготехнологічної інформації за допомогою сучасних систем обліку і вимірювання, а також перевірки, аналізу ефективного використання енергетичних ресурсів та впровадженні енергозберігаючих заходів [16, 17, 18].

Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2050 р., яка базуватиметься на цільових показниках розвитку економіки у відповідності до Національної економічної стратегії на період до 2035 року [19], а також на міжнародних зобов'язаннях, взятих Україною – в першу чергу, в рамках Угоди про Асоціацію України з ЄС та Паризької кліматичної угоди, прогнозований потенціал енергозбереження країни становитиме у 2030 р. 318,4 млн. т у.п., що майже у півтора рази перевищує наявний рівень споживання первинної енергії. Впровадження заходів технологічного та структурного енергозабезпечення дасть змогу на 51,3% зменшити рівень енергоспоживання у 2030 р. – з 621 млн. т у.п. за наявного рівня енергоефективності до 302,7 млн. т у.п. за прогнозованого рівня [5, 7]. Сама Енергетична стратегія України передбачає створення умов для сталого розвитку національної економіки, зокрема



наближення енергетичного сектору до кліматичної нейтральності.

В той же час, систему енергоменеджменту не потрібно ототожнювати лише із завданнями скорочення витрат енергоресурсів. В першу чергу, її цілями повинен стати більш глобальний характер та визначення сучасних тенденцій розвитку як самої електроенергетичної галузі, так і інших галузей господарювання. А саме, енергозабезпеченість, тобто наданням якісних енергетичних ресурсів за умов їх безперебійного постачання, енергодоступністю, енергоресурси повинні мати ринково обґрунтовану ціну за умов енергоощадливості споживачів та енергоприйнятливості, забезпеченням мінімального впливу на екологію.

Отже, можна виділити такі основні завдання системи енергоменеджменту, що пов'язані з енергозбереження [20, 21].

- забезпечити підвищення рівня ефективності технологічних процесів на виробництві та розширення обсягів і асортименту продукції за рахунок впровадження енергозберігаючого обладнання;
- визначення, економічна оцінка, розробка та впровадження енергозберігаючих заходів;
- створення інструментаріїв споживання, контролю та аналізу енергоносіїв для виявлення потенційно можливих шляхів щодо заощаджень, а, отже, і зниження собівартості готової продукції;
- зменшення негативного впливу виробничих процесів та використання енергетичних ресурсів на навколишнє природне середовище.

Виходячи із завдань системи енергоменеджменту, основними її функціями, які пов'язані з управління процесом енергозбереження на підприємстві повинні стати наступні [22, 23]:

1. визначення енергоємності для кожного виду продукції, виявлення застережень для підвищення ефективності використання енергоресурсів; аналіз можливостей використання енергозберігаючих технологій та обладнання;
2. формування цільових параметрів енергозбереження та розробка цільових заходів щодо зниження рівня енергоємності підприємства;
3. залучення працівників усіх рівнів до процесу енергозбереження на виробництві та впровадження системи матеріального стимулювання їх за підвищення рівня енергозбереження на підприємстві;
4. впровадження та постійна перевірка ключових показників енергоефективності виробництва.

Реалізація принципів енергозберігаючої політики в діяльності виробничих підприємств сприятиме підвищенню їх енергоефективності, яка сама по собі є головним фактором



ефективності промислової діяльності самих підприємств [10, 12, 24, 25]. Це означає, що впроваджуючи енергоефективне господарювання на виробництві можна досягти найбільших результатів при найменших витратах на виробництво. Крім того, ефективність є економічною категорією, оскільки показує переваги економії енерговитрат, які закладено у кінцевий продукт виробництва.

Нашими дослідженнями встановлено, що кінцевим результатом підвищення ефективності будь-якого підприємства є підвищення продуктивності його праці, зниження матеріало-, енерго- та трудомісткості. Тобто, практичне забезпечення ефективності менеджерської відповідальності шляхом раціонального освоєння енергетичних ресурсів забезпечується стабільним механізмом енергозбереження або вносяться зміни у механізм енергозбереження в економічну систему в цілому та ефективність і функціонування зокрема [26, 27].

Враховуючи аналіз проведених досліджень можна констатувати, що основними принципами енергозберігаючої політики повинні стати наступні:

1. принцип пріоритетності мети енергетичної системи, метою якої є виробництво продукції (надання послуг) з мінімальними питомими енерговитратами;

2. принцип повноти задоволення потреб в енергетичних ресурсах має на меті забезпечення енергетичними ресурсами, виробництво, в таких обсягах за яких енергетичний чинник щонайменше лімітував обсяги самого виробництва, тобто він повинен компенсувати нестачу енергоресурсів за рахунок впровадження сучасних енергетичних технологій;

3. принцип максимізації енергоефективності виробництва, полягає у плануванні виробничої структури виробництва таким чином, щоб воно здійснювалося за рахунок питомої енергоємності, тобто зменшення енергоємності виробництва відбувалося за рахунок структурних змін, спрямованих на оптимізацію обсягів самого виробництва за критеріями енергоефективності;

4. принцип ефективності розподілу енергетичних ресурсів полягає в тому, що енергоресурси, які є в недостатній кількості, необхідно розподіляти пропорційно відповідно до виробничої необхідності;

5. принцип зацікавленості виробників має на меті оцінку результатів діяльності суб'єктів господарювання, впровадження системи стимулювання працівників, вона також повинна враховувати наслідки енерговитрат, рівень енергоємності виробництва тощо;

6. принцип адекватності виробничих факторів та енергозбереження, полягає у відповідності до вимог обладнання,



технології та управління виробництвом у підвищенні енергоефективності технологічних процесів.

Враховуючи, що на економічну ефективність виробництва впливає підвищення цін на енергоносії, а, отже, призводить і до зростання собівартості виробленої продукції можна констатувати, що раціональне використання енергоресурсів, а також впровадження в систему енергопостачання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії сприятиме як зниженню собівартості виробленої продукції так і збереженості екологічної складової. Це, в свою чергу, дозволить збільшити обсяги виробництва продукції, підвищити її якість і конкурентоспроможність, а також зменшити енергетичні витрати.

Аналіз досліджень дає змогу констатувати, що енергозбереження та енергоефективність взаємопов'язані, оскільки в основному енергозбереження є основним фактором підвищення рівня ефективності використання енергетичних ресурсів, а енергоефективність, хоч і є дещо ширшим поняттям, але включає в себе не лише напрями прямого енергозбереження, але і непрямі заходи, що призводять до зменшення споживання енергоресурсів [10, 11, 28].

Таким чином, можна констатувати, що на економічну ефективність виробництва продукції впливають ріст цін на енергоносії, що призводить до збільшення витрат на виробництво, раціональне використання енергоресурсів і використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії, які сприяють зменшенню витрат на виробництво продукції. Враховуючи це, можна стверджувати, що енергозбереження і енергоефективність є взаємозв'язаними, оскільки здебільшого енергозбереження є головним чинником підвищення рівня ефективності використання енергетичних ресурсів.

В той же час, енергозбереження, головним чином, спрямоване на зменшення споживання енергії, а енергоефективність зумовлено ефективним витрачання енергії.

Для забезпечення енергозбереження на підприємствах необхідно впровадити наступні заходи: комплексне застосування економічних стимулів; визначення джерел і напрямів фінансування; створення бази для реалізації економічних заходів, ведення платні за нераціональне використання енергетичних ресурсів тощо.

Ефективність енергозбереження у виробництві буде досягається тільки із зростанням використання наявних енергетичних потужностей підприємства, оновленням основних засобів, застосуванням ефективного менеджменту, запровадженням сучасних технологій виробництва, застосуванням нових видів енергії та енергоносіїв [26, 28].

Таким чином, оптимальним напрямком енергозбереження та дотримання енергетичної, а отже, і економічної ефективності



виробництва, для підприємств, буде обсяг продукції, за якого граничні витрати енергоресурсів на його виробництво дорівнюють граничній енергоцінності виробленої продукції. Це означає, що у виробничому процесі збільшення енерговитрат виправдане до тих пір, поки вони не перевищать величину енергоцінності продукції, отриманої від їх використання, що забезпечить конкурентоспроможність продукції підприємства.

Висновки. У статті досліджено сутність поняття «енергозбереження», встановлено взаємозв'язок з енергоефективністю, визначено відмінності в трактуванні зазначених понять, запропоновано заходи з енергозбереження, які сприятимуть підвищенню ефективності виробничої діяльності підприємств.

У цілому підвищення енергоефективності призводить до зниження витрат на енергоносії, підвищення рентабельності, покращення якості продукції, зростання конкурентоспроможності та вартості підприємства, а загалом – до створення позитивного іміджу промислового підприємства. При цьому процес раціонального енергоспоживання доцільно розглядати в межах функціонування системи енергетичного менеджменту підприємства

Список використаних джерел

1. Севастьянов Р. В. Проблеми та перспективи енергозбереження на промислових підприємствах. Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності: зб. наук, праць. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2013. Вип. 1. Т. 2. С. 107–110.

2. Wen X., Cao H., Hon B., Chen E., Li H. Energy value mapping: A novel lean method to integrate energy efficiency into production management. *Energy*. Vol. 217, 15 February 2021, 119353

3. Лут М.Т., Волошин С. М., Окушко О. В. Сучасні проблеми енергозбереження. «ЦП «КОМПРИНТ». К. 2020. 524 с.

4. Cooremans C., Schönenberger A. Energy management: A key driver of energy-efficiency investment? *Journal of Cleaner Production*. Vol. 230, 1 September 2019, P. 264–275

5. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, «НЕК «Укренерго», Науково-технічний центр електроенергетики. Аналіз ефективності використання енергоресурсів у розвинених зарубіжних країнах і залежність від їх імпорту. URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektyvnist_energ_resursiv.pdf

6. Dorahakia S., Dashtia R., Shakerb H. R. Optimal energy management in the smart microgrid considering the electrical energy storage system and the demand-side energy efficiency program. *Journal of Energy Storage*. Vol. 28, April 2020, 101229



7. Майсснер Ф., Науменко Д., Радеке Й. Підвищення енергоефективності в Україні: зменшення регулювання та стимулювання енергозбереження. Інститут економічних досліджень та політичних консультацій. Берлін-Київ, 2012 р. URL: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/German_advisory_group/2012/PP_01_2012_ukr.pdf

8. Johansson M. T., Thollander P. A review of barriers to and driving forces for improved energy efficiency in Swedish industry – Recommendations for successful in-house energy management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 82, Part 1, February 2018, P. 618–628

9. Schulze M., Heidenreich S. Linking energy-related strategic flexibility and energy efficiency – The mediating role of management control systems choice. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 140, Part 3, 1 January 2017, P. 1504–1513

10. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В., Антипов Є. О., Міщенко А. В. Проблеми енергозбереження у житлово-комунальному господарстві України. Collection of scientific papers «SCIENTIA», July 15, 2022; Berlin, Germany, 2022/7/15, P. 101–104.

11. Tronchina L., Manfren M., Nastasic B. Energy efficiency, demand side management and energy storage technologies – A critical analysis of possible paths of integration in the built environment / *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 95, November 2018, P. 341–353.

12. Афанасьев М. В., Салашенко Т. І. Стратегія підвищення енергоефективності промисловості регіону: теоретико-методичні аспекти формування: [монографія]. Харків: ХНЕУ, 2014. 284 с.

13. Blumberga D., Vigantsa H., Cilinskisa E., Vitolinsa V., Borisova I., Khabdullin A., Khabdullinc A., Khabdullinac Z., Khabdullinac G., Veidenbergsa I. Energy Efficiency and Energy Management Nexus. *Energy Procedia*. Vol. 95, September 2016, P. 71–75.

14. Javied T., Rackow T., Franke J. Implementing Energy Management System to Increase Energy Efficiency in Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*. Vol. 26, 2015, P. 156–161.

15. Maya G., Barletta I., Stahl B., Taisch M. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. *Applied Energy*. Vol. 149, 1 July 2015, P. 46–61

16. Szargut J. Low energy heating systems – when can they be profitable. IEA Energy conservation in building and community systems program. *Executive committee meeting*. Technical day presentation – Krakow – Nov/ 7, 2001.

17. Rocha P., Siddiquia A., Stadlercd M. Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy



- measures. *Energy and Buildings*. Vol. 88, 1 February 2015, P. 203 – 213
18. Жильцов А. В., Лут М. Т., Наливайко В. А., Радько І. П., Міщенко А. В., Антипов Є. О., Окушко О. В. Автоматизовані модульні теплові пункти для систем теплопостачання ВНЗ [Монографія]. К.: «Видавничий центр НУБіП України, 2021. 365 с.
19. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245239564&cat_id=245239555
20. Закон України «Про енергозбереження» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/74/94>.
21. Про енергетичну ефективність: Закон України від 17 груд. 2020 р. №4507. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70687
22. ISO 50006:2016 (ISO 50006:2014, IDT). Energy management systems. Measuring the level of achieved / achievable energy efficiency using basic levels of energy consumption and energy efficiency indicators. General provisions and guidelines.
23. ISO 50015:2016 (ISO 50015:2014, IDT). Energy management systems. Measurement and verification of the level of achieved/achievable energy efficiency of organizations. General principles and guidance.
24. Дерев'яно Д. Г., Зайченко С. В., Беспала Н. Г. Методи оцінювання доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності будівель комунальної сфери. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 1. С. 38–45. ISSN 1813-5420.
25. Єнін П. М., Швачко Н. А. та ін. Теплопостачання: теплові мережі та споруди. К.: ТОВ “Поліграф плюс”, 2010. 328 с
26. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В., Міщенко А. В., Антипов Є. О. Підвищення заходів з енергоефективності та енергозбереження у вищих навчальних закладах. *Наук. вісн. НУБіП*, Вип № 283. 2018. С. 275–280. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/view/11434>
27. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В. Енергоефективність – один з головних чинників конкурентоспроможності університету. Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференція пам'яті В. В. Овчарова: зб. наук. праць. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 104–105.
28. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В. Підвищення енергоефективності систем теплопостачання в навчальних закладах. *Науковий вісник ТДАТУ*, Вип. 9, том 1, 2019. Режим доступу: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/176/168>
Стаття надійшла до редакції 10.04.2023 р.



I. Radko, V. Nalyvaiko, O. Okushko
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

**APPLICATION OF ENERGY SAVING METHODS IN MANUFACTURING
ACTIVITIES AS A TOOL FOR INCREASE IN ITS ENERGY EFFICIENCY**

Summary

The need to implement a priority policy on energy conservation is primarily related to the shortage of fuel and energy resources, the increase in the cost of their extraction, global environmental and economic problems, as well as the general situation that currently exists in Ukraine. An important task of modern industrial enterprises is their resource-saving use and increasing the efficiency of their use at all stages of production.

The purpose of the study is the essence of energy saving and determining its impact on increasing the efficiency of production activities.

Implementation of the energy conservation policy in industry should be based on the results of the economic and energy survey of all production and non-production links. Currently, the main factor in the formation of energy efficiency of industrial enterprises is the creation of an effective management system for energy saving.

The implementation of the principles of energy-saving policy in the activities of manufacturing enterprises will contribute to the increase of their energy efficiency, which in itself is the main factor in the efficiency of the industrial activity of the enterprises themselves. This means that by implementing energy-efficient management in production, you can achieve the greatest results with the lowest production costs. In addition, efficiency is an economic category, as it shows the advantages of saving energy costs, which are embedded in the final product of production.

The efficiency of energy saving in production will be achieved only with the increase in the use of the existing energy capacities of the enterprise, the renewal of fixed assets, the application of effective management, the introduction of modern production technologies, the use of new types of energy and energy carriers

Key words: energy saving, energy-saving technologies, enterprise, production, energy efficiency, efficiency of production activity.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-39

УДК 621.3

В. М. Боярчук, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2192-0143

С. В. Коробка, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4717-509X

І. Г. Стукалець, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7107-4865

М. І. Бабич, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1295-4162

С. В. Сиротюк, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-9966-6299

Львівський національний університет природокористування

e-mail: vim2@ukr.net, тел.: 050-370-71-01

e-mail: korobkasv@ukr.net, тел.: 098-969-95-34

e-mail: m.babych@ukr.net, тел.: 097-763-58-32

e-mail: stukaletsig@lnup.edu.ua, тел.: 097-493-64-24

e-mail: ssyr@ukr.net, тел.: 067-939-62-46

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація. В статті розроблено модель процесів заряду-розряду акумулюючої батареї, що використовується для дослідження роботи гібридної системи електропостачання і формування рекомендацій для оператора. Модель розроблена з врахуванням особливостей режиму заряду CC/CV і обмежень на потужність заряду-розряду. Модель дозволяє досягнути задовільної коректності за меншої обчислювальної складності. Для перевірки коректності розробленої моделі використано еквівалентну схему акумулюючої батареї. Результати комп'ютерного моделювання показали, що середнє відхилення між обмеженнями на потужність заряду-розряду для розробленої моделі і еквівалентної схеми акумулюючої батареї складає 1% при заряді і 6% про розряді.

Ключові слова: акумуляторна батарея, електрохімічні процеси, електроліт, зарядна ємність.

Постановка проблеми. Сьогодні існує багато способів задач для виробництва, енергозбереження та використання надлишкової електричної енергії. Зокрема одна з таких задач є акумулювання надмірної електричної енергії в фотоелектричних установках протягом доби. Проблема полягає в тому, що цю надлишкову електричну енергію складно акумулювати. Наприклад в фотоелектричних акумулювати надлишкову електричної енергію в денний час і використовувати для електропостачання в нічний період приватного будинку, що дасть змогу продовжити енергозабезпечення у нічний період і стабілізувати



режими роботи енергосистеми наприклад під час роботи газового котла.

На підставі аналізу існуючих способів і засобів використання сонячної енергії наприклад для енергозабезпечення приватного будинку встановлено, що найперспективнішим для особистих селянських і фермерських господарств є використання фотомодульних установок з акумулятором електричної енергії на основі свинцевого акумулятора, а застосування сонячної енергії для автономного електропостачання сільськогосподарського об'єкта є прийнятним, зокрема для широти розташування Рівненської області, яка має середньорічну потужність сонячного випромінювання порядку 3,41 кВт·год/м² за світловий день. Це дозволяє з 1 м² площі фотомодуля отримати від 0,3 до 1,3 кВт·год електричної енергії за добу.

Однак, на сьогоднішній день не існує зручних методик для розрахунку електрохімічних процесів в акумуляторах електроенергії.

Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення ефективності роботи акумуляторів електроенергії в фотомодульних установках, є актуальними і відповідають сучасним тенденціям розвитку електроенергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Енергозабезпечення фотомодульної установки складається з джерела первинної енергії, підсистеми перетворення енергії та споживачів перетвореної енергії. В системі можуть виникати невідповідності - як в часі, так і в просторі – між подачею енергії та потребами. Подолання цих невідповідностей є основною метою акумуляування електричної енергії [1, 2, 3, 4].

На сьогодні існує велике різноманіття електричних акумуляюючих матеріалів, видів і конструкцій акумуляторних батарей, зумовлене широким спектром сфер їх застосування [5]:

- Гелеві акумулятори.
- AGM акумулятори.
- Мультигелеві акумулятори.
- Тягові акумулятори.

Переважній більшості основними недоліками вище наведених систем та видів акумуляторів є великі габарити, складність конструкції, експлуатації, дороге виготовлення, що перешкоджають їхньому поширенню.

Тому, перспективною та прогресивною ідеєю є створення нових систем акумуляування. Зокрема в геліотехніці – це створення акумуляюючих систем на основі свинцевих акумуляторів. Запропонований вид енергозберігаючої акумуляції дає змогу миттєво запасати в акумуляюючій речовині велику кількість електричної енергії у денний період, а у нічний час з великою швидкістю і



електропровідністю віддати акумульовану електроенергію об'єкту. Тому така простота виготовлення і принципу роботи повинна бути покладено в основу методики розрахунку та проектування свинцевих акумулюючих батарей для фотомодульних установок.

Однак складність експериментальних досліджень із визначення оптимальних параметрів розподіл зарядів і потенціалів між електродами потребує залучення методів математичного моделювання для розв'язання задачі. Більшість математичних моделей, зокрема наведених у працях [6, 7], описують електрохімічні процеси акумуляторів електричної енергії, а саме зростання маси електродів, концентрації електроліту, а також окисно-відновні потенціали, приріст яких пропорційний акумульованому заряду. При цьому вони мають загальний характер та є складними для інженерних застосувань.

Формулювання мети статті. Підвищити ефективність роботи акумуляторів електричної енергії на основі свинцевих акумуляторів для фотомодульних установок. Такі розв'язки є зручними для аналізу електрохімічних режимів, оскільки явно відображають вплив на розподіл зарядів і потенціалів між електродами визначальних чинників, що дозволяють оцінити їх значення і виділити головні з них. Вони також можуть слугувати критерієм оцінки достовірності числових розв'язків.

Основна частина. Методи дослідження процесів електрохімічного акумулювання електроенергії

Напруги електрохімічних процесів. На межі металу з ненасиченим водним розчином його солі (електролітом), відбувається хаотичний процес обміну іонами між розчином і кристалічною ґраткою. У момент відриву кожен іон переносить у розчин позитивний заряд, а електрони, залишені у ґратці, заряджають її негативно [8, 9].

Зворотній процес нейтралізації зарядів відбувається значно повільніше, бо потребує певного часу на попереднє впорядкування координат іонів розчину перед приєднанням їх до вузлів кристалічної ґратки. За цей час відірвані від металу іони встигають мігрувати на значну віддаль вглиб розчину, а на їх місце з поверхні металу приходять нові, збільшуючи різницю потенціалів між електролітом і металом. У результаті між металом і електролітом виникають просторово розподілені об'ємні заряди з електронів у металі та додатних іонів у електроліті.

Динамічна рівновага між процесами обміну іонами встановлюється за певного потенціалу між металом і розчином електроліту, який називають *електродним потенціалом*. Знак і абсолютна величина електродного потенціалу кожного металу, залежить від хімічного складу, ефективної концентрації (активності) іонів і температури електроліту. Наприклад у насичених розчинах



електроди заряджаються позитивно, бо їх іони легше мігрують у зворотному з розчину до металу.

Стандартні потенціали електродів прийнято визначати для власних електролітів певної концентрації. *Нормальним електродним потенціалом* називається потенціал у розчині *нормальної концентрації*, що містить 1 моль розчиненої речовини у 1 літрі розчину. Значення нормальних електродних потенціалів металів φ_0 відносно розчинів власних електролітів наводяться у довідниковій літературі у вигляді ряду, розташованого в порядку зростання їх електродних потенціалів: від найбільш негативного до нульового (водень) і далі – до найбільш позитивного, показано нижче. Усі метали з від'ємними електродними потенціалами, які у таблиці розташовані зліва від водню, заміщають водень у розбавлених кислотах і розчиняються у них. Швидкість реакції може гальмуватися поверхневими утвореннями. Наприклад свинець практично не розчиняється у розбавлених розчинах сірчаної кислоти через утворення захисного шару малорозчинної солі $PbSO_4$ і реакція припиняється: такий стан системи називають рівноважним. Нейтральними вважаються електроди, виготовлені з практично нерозчинних матеріалів: платини, водню, іридію, графіту тощо.

Таблиця 1

Процентний склад елементів акумуляторної батареї MERCURY SPECIAL 6СТ-140Ah 800А А3

Li ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Cd ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Ag ²⁺
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+3	+0,7	+0,7
3,0	2,9	2,9	1,6	1,1	0,7	0,4	0,4	0,2	0,1	37	88	99
45	25	23	62	79	63	40	03	50	26			

Пара металевих електродів з різними електродними потенціалами, занурені у розчин електроліту, утворюють *гальванічний елемент*. В оборотних елементах електроди занурені в однойменні електроліти. Наприклад мідь знаходиться у насиченому розчині $CuSO_4$, а цинк – у розбавленому $ZnSO_4$. На рис. 1 розчини розділені пористою перегородкою, яка пропускає іони, але запобігає швидкому змішуванню різних електролітів.

Цинковий електрод заряджається негативно, до потенціалу $\varphi_{Zn} = -0,76$ В, а мідний – позитивно, до $\varphi_{Cu} = +0,34$ В. У стані динамічної рівноваги електрорушійна сила такого елемента рівна.

$$E = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ В}$$

При замиканні електродів їх потенціали змінюються до рівня, який визначається спадом напруги на опорі навантаження. Тоді система

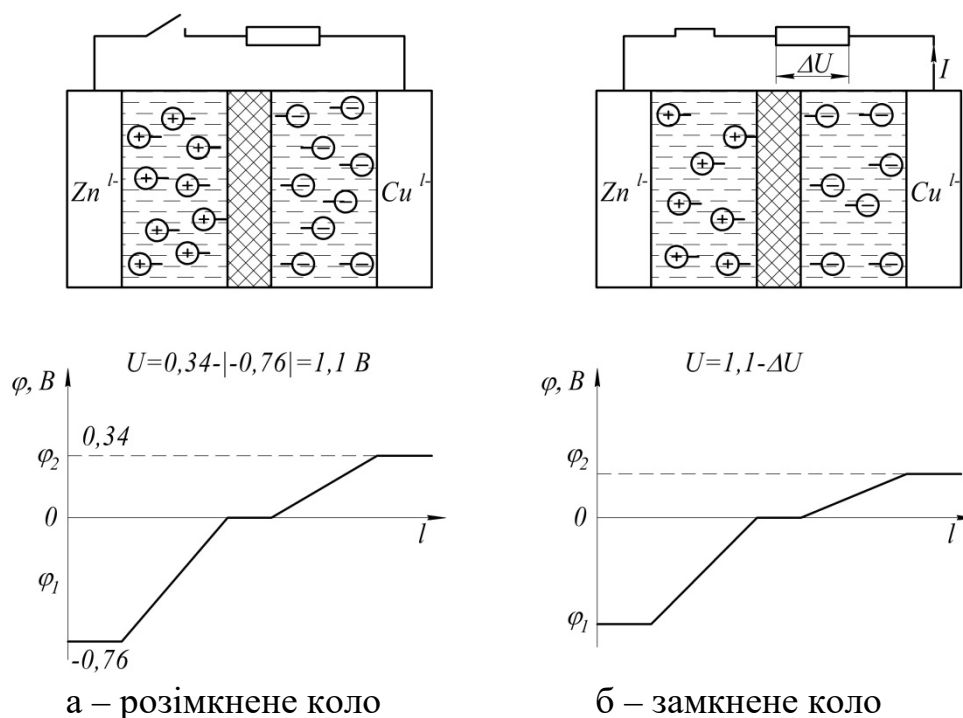


Рисунок 1. Зміщення потенціалів електродів при контакті з електролітом:

зарядів виходить з рівноваги: за штучно зміщеного потенціалу цинкового електроду відновиться процес його окислення аж до повного розчинення. Аналогічно, за зменшеного потенціалу мідного електроду, на додатному електроді продовжиться відновлення іонів міді. Реакція закінчується після встановлення нової рівноваги, коли у розчині відбудеться повне заміщення іонів міді цинком.

За наявності надлишкового електродного цинку в такому елементі можна забезпечити обернений процес відновлення електродів, який називають зарядкою або *електрохімічним акумулюванням*. При подачі на електроди вищої за модулем зовнішньої напруги такої ж, полярності, на негативному електроді будуть відновлюватися іони цинку з виділенням окиснювача (наприклад кисню), а на позитивному відбудеться процес окислення міді і переходу іонів у електроліт. Натомість на поверхні мідного електроду накопичуються молекули водню (відновника) у вигляді бульбашок і перетворюють її поверхню на водневий електрод. Потенціал такого електроду близький до нульового потенціалу водневого електроду, тому е.р.с. елемента падає з початкового 1,1 В до рівня 0,8 В. З електричної точки зору мідний електрод покривається шаром поляризованого діелектрика, з протилежно направленим електричним полем, тому це явище називається *водневою поляризацією*. Для продовження оборотної реакції необхідно подолати додаткову напругу поляризації, відповідно напруга зовнішнього джерела повинна перевищувати напругу

неполяризованого елемента на величину напруги поляризації (рис. 2).

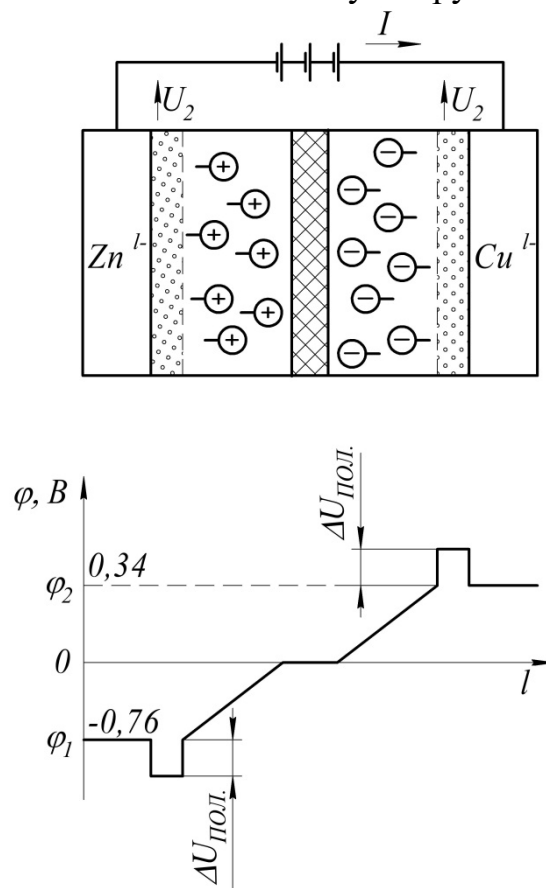
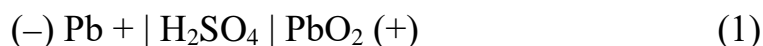


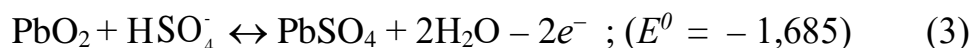
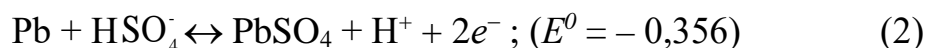
Рисунок 2. Розподіл потенціалів при заряджанні оборотного елемента

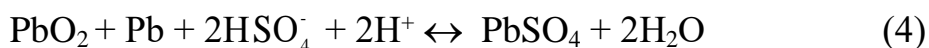
Електрохімічні процеси у свинцевому акумуляторі. Найпоширеніший свинцево-кислотний акумулятор складається з двох перфорованих пластин, одна з яких після зарядки заповнена губчастим свинцем, а друга – оксидом свинцю. Електродам надають розвинену поверхню для збільшення зони контакту з електролітом – 27...39% розчином сірчаної кислоти. Анод акумулятора при розрядці перетворюється на катод при зарядці і навпаки.

Схема роботи акумулятора описується рівнянням [10, 11]:



За відсутності струму в зовнішньому колі електрорушійну силу такого елемента визначають алгебраїчною сумою рівноважних окисно-відновних потенціалів катодної та анодної реакцій:





Але електрорушійна сила акумуляторної чарунки залежить ще й від активностей компонентів розчину електроліту – сірчаної кислоти і води тому розраховується за формулою:

$$E = \varphi_{\text{PbO}_2} - \varphi_{\text{Pb}} = 2,041 + 0,059 \frac{a_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{a_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (5)$$

За однакової активності компонентів розчину мольної концентрації напруга зарядженого електрохімічної чарунки становить 2,041В, а стандартного 6-чарункового акумулятора відповідно 12,246 В. Максимального значення $E_{\text{max}} = 2,12 \text{ В}$ електрорушійна сила чарунки набуває за 37% концентрації сірчаної кислоти, коли рівноважні електродні потенціали рівні: $\varphi_{\text{PbO}_2} = 1,72 \text{ В}$, $\varphi_{\text{Pb}} = -0,4 \text{ В}$. Відтак максимальна е.р.с. стандартного нового шестичарункового свинцевого акумулятора у момент заливки електроліту не перевищує 14,7В.

Відразу після заливки електроліту, відбувається розчинення свинцю (окислення до двозарядного іону Pb^{2+}). Одночасно розчиняється й анод шляхом відновлення свинцю з чотиризарядного іону в оксиді PbO_2 до двозарядного у сульфаті PbSO_4 та наступним переходом у розчин.

Внаслідок невеликої розчинності сульфату, майже відразу починається пасивація обох електродів тонким (товщиною 70...90 нм) шаром сульфату. Надалі на поверхні цього шару утворюються центри кристалізації, з яких ростуть макроскопічні кристали. Цей процес продовжується аж до розімкнення зовнішнього кола або повної розрядки акумулятора.

Відкладення сульфату зменшують ефективну поверхню електродів, тому процес дифузії іонів свинцю у розчин та водню до електродів гальмується. Це рівнозначно збільшенню внутрішнього опору акумулятора. А за одночасного зменшення концентрації електроліту зменшується ще й рівноважні окисно-відновні потенціали електродів. Тому у процесі розрядки е.р.с. та напруга на затискачах акумулятора поступово зменшується.

Негативну дію відкладень зменшують конструктивним виконанням пластин з розвиненою поверхнею, а також технологічно – зменшенням струму розрядки. Останній прийом дозволяє зменшити утворення нових центрів кристалізації, натомість інтенсифікувати ріст уже існуючих кристалів. У результаті сульфатні відкладення формуються у вигляді відносно крупних кристалів з проміжками між ними для проходження іонів до поверхні електродів.

При великих розрядних струмах відбувається так звана



гетерофазна кристалізація з утворенням багатьох центрів кристалізації і покриттям електродів рівномірним щільним шаром сульфату. Аналогічне явище відбувається і за надмірної розрядки: тоді окремі кристали сульфату на поверхні електродів зростаються, а проміжки між ними «заліковуються». В обох випадках можлива повна ізоляція електродів та неможливість їх відновлення без зовнішнього втручання. Тому для забезпечення оборотності розрядку обмежують, орієнтуючись на певний рівень залишкової е.р.с., у межах 1,3...1,75 вольт на одну електрохімічну чарунку або 7,8...10,5 на 6-чарунковий акумулятор [12].

Заряджений акумулятор термодинамічної точки зору є нерівноважною системою з просторово нерівномірним розподілом взаємодіючих компонентів, а тому поступово самочинно розряджається. Саморозряд відбувається внаслідок випадкових відхилень (флуктуацій) кінетичної енергії іонів від своїх середніх значень. Окремі іони свинцю отримують кінетичну енергію, достатню для подолання бар'єру електродного потенціалу і переходять у розчин. Аналогічно окремі високоенергетичні іони водню розряджаються на негативному електроді, а іони кисню – на позитивному з наступним виходом назовні. Саморозряд на позитивному електроді набагато повільніший. Швидкість саморозряду збільшується з температурою.

У частково розрядженому акумуляторі обидва електроди покриті шаром пористого сульфату свинцю, розчин електроліту має мінімальну концентрацію сірчаної кислоти, відтак мінімальними є й потенціали електродів. Його зарядка відбувається штучним зміщенням рівноважних електродних потенціалів за допомогою зовнішнього джерела: негативного в сторону від'ємніших значень а позитивного – додатніших. У результаті додатні іони розчину електроліту H^+ мігрують до негативного свинцевого електроду (катода), а від'ємні OH^- і HSO_4^- – до позитивного аноду з оксиду свинцю – свинцевого глету.

Виникає концентраційна поляризація електроліту, динамічна рівновага між іонами електродних матеріалів, їх сульфатного покриття та прилеглого шару електроліту порушується. Молекули сульфату легше дисоціюють, на іони Pb^{2+} та SO_4^{2-} : перші розряджаються на негативному свинцевому катоді і осідають на ньому, а другі – об'єднуються з іонами водню і дифундують у розчин у вигляді аніонів сірчаної кислоти HSO_4^- . Натомість надлишкові іони водню відновлюють гідроксил OH^- до води.

На позитивному електроді (аноді) двозарядні іони Pb^{2+} втрачають валентні електрони і окислюються до чотирьохзарядних у складі молекул оксиду свинцю і осідають на аноді. Звільнені двозарядні іони SO_4^{2-}



дифундують у електроліт, де також об'єднуються з іонами водню утворюючи аніони сірчаної кислоти HSO_4^- .

В результаті електродних процесів зростають маса електродів, концентрація електроліту, а також окисно-відновні потенціали. Відтак рівновага встановлюється уже при вищій напрузі на електродах, приріст якої пропорційний акумуляованому заряду. Зокрема близька до е.р.с. напруга розімкненого кола (НРК) збільшується з ростом концентрації електроліту і розраховується [6] через його густину d за співвідношенням:

$$U_{pk} = 0.84 + d$$

Разом із НРК посилюється концентраційна поляризація електродів, що вимагає випереджуючого зростання напруги зарядки. Відтак потенціали електродів досягають значень, при яких починається помітне виділення газів. А на завершальній стадії зарядки практично весь зарядний струм витрачається на електроліз води, тому НРК практично не зростає.

На електроді з негативним потенціалом з розчину виділяється тверда фаза свинцю (відбувається відновлення позитивних іонів до нейтральних атомів). Натомість на позитивному електроді відкладаються молекули оксиду свинцю (двозарядний іон свинцю доокислюється до чотиризарядного).

Електродний потенціал свинцю у розчині сірчаної кислоти від'ємніший за водневий, а потенціал електроду з PbO_2 позитивніший за теоретичний потенціал виділення кисню. Тому при зарядці акумулятора мали б відбуватися не процеси утворення оксиду PbO_2 та свинцевої губки на електродах, а виділення кисню й водню. Цього насправді не відбувається, бо виділення цих газів потребує значної перенапруги, а тому на електроліз води витрачається лише незначна частина енергії зарядного струму.

Розклад води починається лише за перевищення напруги на чарунці $2,3\text{ В}$ або $13,8\text{ В}$ на клеммах стандартного акумулятора. Тому за вимоги економного використання енергії, наприклад сонячного модуля, бажано не перевищувати цього значення напруги зарядки.

Технічні параметри акумуляторів. Специфічними характеристиками акумуляторів є такі [7, 8]:

- напруга заряд-розрядного процесів (charge-discharge voltage) $V_c - V_d$;
- ефективність відновлення початкового рівня заряду (charge-discharge ratio) C/D ;
- енергетичний ККД η_E ;
- (зарядна, ємнісна) ефективність;
- внутрішній опір (імпенданс) r ;



- температурна поправка;
- число заряд-розрядних циклів.

У процесі розрядки напруга спочатку швидко зменшується, потім практично стабілізується (переходить у плато – лінійну залежність з незначним від’ємним кутовим коефіцієнтом), відтак знову зменшується, подібно до експоненційної залежності. Процес зарядки характеризується такою ж, але дзеркально-симетричною залежністю з невеликим перевищенням рівня плато. Рівень плато залежать від режимів циклу зарядки-розрядки.

Електричний заряд або ємність акумулятора характеризують кількістю електрики в кулонах або ампер-годинах. Ємність можна кількісно оцінити лише шляхом повної розрядки акумулятора, що не має практичної користі, бо величина сприйнятого і повернутого заряду залежить від умов проведення заряд-розрядного циклу. Тому за точку відліку зручно прийняти *мінімальну ємність* C_0 , до якої можна розрядити акумулятор, щоб зберегти можливість його повторної повної зарядки. Розрізняють наступні оцінки ємності акумулятора.

Зарядна ємність [7] оцінюється кількістю ампер-годин, наданої акумулятору в процесі зарядки від мінімально допустимого рівня C_0 до поточного значення $C_{зар}$. Натомість *розрядна або доступна ємність* вимірюється кількістю вилученої електрики від поточного значення до мінімального $C_{роз}$. Внаслідок втрат розрядна ємність завжди менша за зарядну.

З ростом кількості заряд-розрядних циклів розрядна ємність спочатку збільшується, а потім зменшується. Максимальне значення розрядної ємності поточного циклу прийнято називати *доступною ємністю*. Натомість *номінальною* називається початкова розрядна ємність вказана заводом виготовлювачем.

Ступінь зарядки акумулятора Q визначається відношенням поточного значення розрядної ємності $C_{роз}$ до номінальної. Інакше кажучи ступінь зарядки означає відсоток номінальної ємності. В англійських виданнях ступінь зарядки позначається аббревіатурою SOC (State of Charge) і визначається відношенням:

$$Q = \frac{C_{роз}}{C_n} \equiv \text{SOC} \quad (6)$$

За рівності розрядної та номінальної ємності ступінь зарядки рівна одиниці, а за рівності з мінімальною – нулю. У початковий період експлуатації, коли розрядна ємність може перевищувати номінальну, ступінь зарядки може перевищувати одиницю, тобто номінальну ємність.

Заряд-розрядне відношення C/D (charge-discharge ratio) характеризує ефективність циклу. При розрядці акумулятора на



зовнішнє навантаження його ємність у ампер-годинах зменшується на величину C , але на його відновлення заряду до попереднього рівня необхідна інша кількість ампер-годин D . Зазвичай при температурі 20°C відношення $C/D = 1,1$, тобто складає 10 % перевищує розрядну ємність. При підвищенні температури це відношення зростає подібно до квадратичної залежності.

Енергетична ефективність циклу заряд-розряд визначається через відношення виділеної енергії на корисному навантаженні (корисної роботи A) повністю зарядженого акумулятора до енергії затраченої на його відновлення W . Наприклад для акумулятора ємністю C з середньою напругою розрядки 12 вольт зарядки 14 вольт $A = 12 \cdot C$, а $W = (C/D) \times 13 \cdot C$. Відтак за температури 25°C , коли $C/D = 1,1$ [9], енергетичний ККД η визначається з відношення:

$$\eta = \frac{12 \cdot C}{1,1 \cdot 13 \cdot C} = 0,84 \text{ або } 84\% \quad (7)$$

Згідно з законом Ома для повного кола внутрішній опір джерела струму r розраховується через електрорушійну силу E , струм I та опір навантаження R за співвідношенням:

$$r = E - IR \quad (8)$$

Поточні значення електрорушійної сили E_i та внутрішнього опору r_i , у свою чергу, залежать від поточних значень ємності, температури і ступеня розряду Q_d і розраховуються за співвідношеннями:

$$E_i = E_0 - k_1 Q_d; \quad (9)$$

$$R_i = R_0 - k_2 Q_d, \quad (10)$$

де E_0 і R_0 – значення E та r при розімкненому колі;

k_1 та k_2 – сталі коефіцієнти пропорційності.

Таким чином внутрішній опір також є змінною величиною залежною як від умов навантаження, так і електрохімічних параметрів генерації струму.

Зарядна ефективність визначається за відношенням засвоєного акумулятором заряду до відданого через зовнішні клеми. За нульовий рівень оцінки зарядної ефективності вибирається стан мінімально допустимого рівня розряду, коли ємність рівна нулю. Так, починаючи з нульової ємності практично вся енергія зарядного струму засвоюється і перетворюються в електрохімічну енергію: ефективність зарядки близька до 100%. І навпаки, якщо ступінь заряду близька до одиниці, енергія струму зарядки витрачається переважно на нагрівання і ефективність процесу зарядки наближається до нуля.

Ефективність зарядки (швидкість процесу) оцінюється у



процентах і на практиці визначається з номограми, де спів вставляються зарядний струм і ступінь зарядки акумулятора. Наприклад, при струмі $C/2$ процес зарядки (засвоєння енергії зарядного струму) відбувається з майже зі 100% ефективністю аж до 75% ступеня зарядки. Тоді як при меншому зарядному струмі, наприклад $C/40$, ефективність зарядки майже лінійно спадає і складає 60% при 50% ступені номінальної ємності [10, 11].

Режими зарядки акумуляторів. Під час зарядки необхідно здійснювати постійний контроль за струмом, напругою і температурою процесу. Процес може бути призупинено (але не припинено) при виявленні перевищенні якогось критерію. Нормальний процес зарядки складається з трьох етапів:

- Основний етап, протягом якого ємність заповнюється до рівня 80...90% номінальної;

- струмкова зарядка до повної ємності з поступовим зменшенням зарядного струму.

- крапельна зарядка для компенсації саморозряду зарядженого акумулятора.

Режими навантаження в основному і струмковому етапах визначаються попередньо вивчення рекомендації для даної електрохімічної системи та паспортних параметрів.

Основною вимогою до кожного регулятора зарядки, з огляду на безпеку експлуатації, є запобігання ситуації надмірної зарядки (перезарядці).

У свинцевих акумуляторах перезарядка стимулює втрату води через газовиділення і передчасне старіння. Регулятор протягом усього процесу підтримує максимальний режим зарядки перед газовиділенням. Надалі зарядний струм зводить до струминного та крапельного режимів з м'яким підведенням до стану повного заряду.

Нерегульований режим зарядки, який не потребує спеціального пристрою, використовується у фото енергетичних системах, де акумулятор заряджається безпосередньо від сонячного модуля. Напруга зарядки від сонячного модуля практично ніколи не перевищує 15 вольт, що унеможливорює перезарядку свинцевого акумулятора. За досягнення повної зарядки, відбувається автоматичне шунтування фотомодуля польовим транзистором. Транзистор знову відкривається, як тільки напруга на акумуляторі зменшиться. Натомість нічний розряд акумулятора через фотомодуль, за відсутності на ньому напруги, блокується діодом.

Для *одноступеневої зарядки* достатньо одного регулятора, який працює у режимі вмикання-розмикання. Коли напруга на клеммах відповідає стану повністю зарядженого акумулятора, напруга вимикається або зменшується. Зарядний пристрій знову вмикається



якщо напруга на клеммах впала нижче заданого рівня. У такому режимі неможливо досягнути стану насичення або підтримування саморозряду.

Багатоступінчастий режим (Multiple Charge Rates) реалізує так звану *м'яку зарядку*: великим струмом заряджають до 80...90% рівня, з поступовим його зменшенням аж до рівня повної зарядки. Надалі допускається режим зарядки з поступовим зменшенням зарядного струму аж до надходження запиту на вмикання навантаження. Такий метод потребує принаймні три режимного регулятора зарядки.

Іншою версією цього зарядного методу є *зарядка пульсуючим струмом*. Тоді зарядка неперервним струмом продовжується аж до наперед визначеної напруги газовиділення. Відтак живлення припиняється до повного вирівнювання концентраційної поляризації. Коли ж напруга зменшиться раніше за газовиділення, пристрій відновить живлення зарядки.

Зменшення зарядного струму вище 75...80% ступеня зарядки замість реостатного послаблення енергетично вигідніше виконати методом широтно-імпульсної модуляції зарядного струму (PWM). Внаслідок повільного цих дифузійних процесів поляризації-деполяризації можна, зберегти сталу напругу джерела, а натомість поступово зменшувати ширину імпульсів або їх шпаруватість. Таким чином вдається досягти вищого ступеня зарядки, за енергозатратний багатоступінчастий режим з поступовим зменшенням зарядного струму шунтуванням акумулятора реостатом.

Стан високого ступеня зарядки підтримується постійною компенсацією його саморозряду. Оскільки ефективність зарядки у цьому стані дуже низька, то процес виконується пропусканням імпульсного струму, який отримав назву *крапельної зарядки*. Бо за короткочасного імпульсу не розвивають повільні дифузійні процеси кристалізації сульфату на електродах. Технічно його виконують короткочасним імпульсами вищої напруги, протягом яких концентраційна і хімічна поляризації не встигають розвинути. Крапельний метод дозволяє максимально підвищити ємність акумулятора і стабілізувати її на високому рівні.

Сучасні методи інтенсифікації зарядних процесів використовують широтно-імпульсну модуляцію з короткочасним пропусканням струму в протилежному напрямку. Завдяки цьому вдається штучно змінювати напрямки дифузійних процесів і уникнути розвитку концентраційної поляризації.

Принцип роботи електрохімічного акумулятора ґрунтується на оборотних електрохімічних окисно-відновних реакціях. Електрохімічною коміркою називають систему з двох різних електродів занурених в електроліт – переважно розчин кислоти або

лугу. На межі електроліту з металевим електродом виникає так званий подвійний електричний шар з просторово розділених електричних зарядів протилежних знаків і відповідною різницею потенціалів (рис. 3).

Знак і абсолютна величина електродного потенціалу, залежить від хімічного складу металу та електроліту, ефективної концентрації (активності) іонів і температури розчину. У довідниках прийнято наводити значення *стандартних або нормальних електродних потенціалів* φ^0 в електролітах нормальної концентрації, який містить 1 моль розчиненої речовини у 1 літрі розчину. Причому заміна одного електроліту іншим нормальної концентрації на значення стандартного електродного потенціалу не впливає.

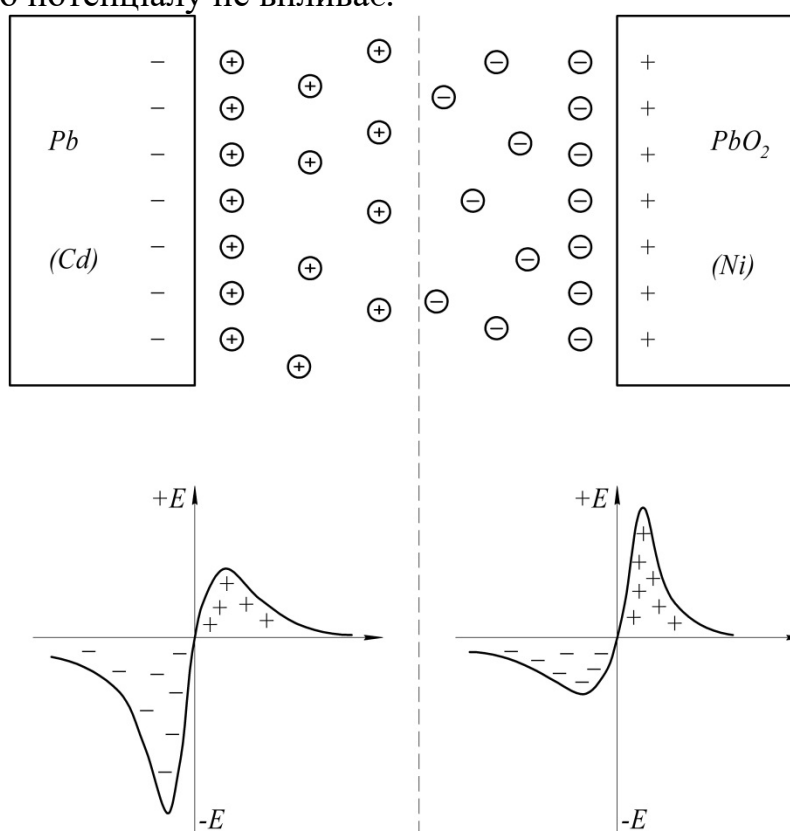
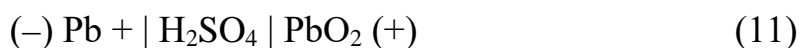


Рисунок 3. Схематичний розподіл зарядів і потенціалів між електродами.

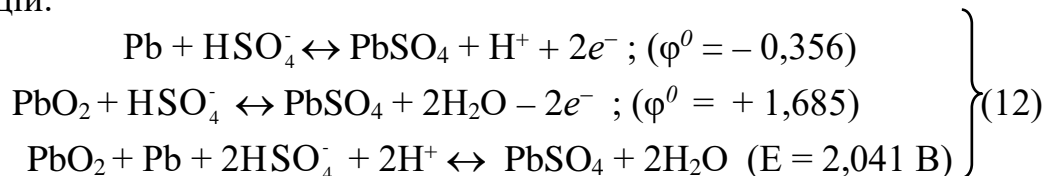
Електрохімічні комірки свинцево-кислотних акумуляторів складаються з двох пористих електродів – губчастого свинцю (Pb) і його діоксиду (PbO₂) (свинцевий глет), занурених у водний розчин сірчаної кислоти H₂SO₄. Електродам надають розвинену поверхню для збільшення зони контакту з електролітом – 27...39% розчином сірчаної кислоти. Схема гальванічної пари акумулятора, де негативним електродом є свинець, а додатнім його діоксид, описується таким



рядом:



Електрорушійну силу такого елемента визначають алгебраїчною сумою рівноважних окисно-відновних потенціалів катодної та анодної реакцій:



Максимального значення $E_{max} = 2,12$ В електрорушійна сила чарунки набуває за 37% концентрації сірчаної кислоти, коли рівноважні електродні потенціали рівні: $\varphi_{\text{PbO}_2} = 1,72 \text{ В}$, $\varphi_{\text{Pb}} = -0,4 \text{ В}$. У перерахунку на 6-чарунковий акумулятор максимальна напруга не перевищує значення 12,72 В.

Відразу після заливки електроліту починається взаємодія обох електродів і розчину сірчаної кислоти з утворенням малорозчинного сульфату PbSO_4 . Він випадає в осад і покриває поверхню обох електродів тонкими (товщиною 70...90 нм) точковими острівцями діелектричного шару. При збільшенні розрядного струму реакція прискорюється, острівці стають центрами кристалізації великих. При малих розрядних струмах кристали ростуть рівномірно в усіх напрямках (гомофазна кристалізація) і поступово перекривають доступ електроліту до вільної поверхні електродів. Натомість при великих струмах площа контакту зменшується не так стрімко, бо кристали ростуть хаотично з утворенням великих проміжків між ними (гетерофазна кристалізація). Відтак обмін іонами відбувається через міжкристалічні канали, вздовж яких виникає перепад концентрації електроліту. Це явище називають *концентраційною поляризацією* електрохімічної комірки. Завдяки їй зменшується напруга на електродах, а її значення залежить від величини розрядного струму. Мінімальна розрядна напруга на клемі акумулятора залежить від розрядного струму і задається виробником у вигляді графічних залежностей (рис. 4).

З припиненням розрядки напруга відновлюється до значення е.р.с., якій відповідає рівномірна концентрація електроліту. Вирівнювання напруги відбувається від кількох годин до кількох діб за експоненційною залежністю, а її поточне значення називають напругою розімкненого кола U_p .

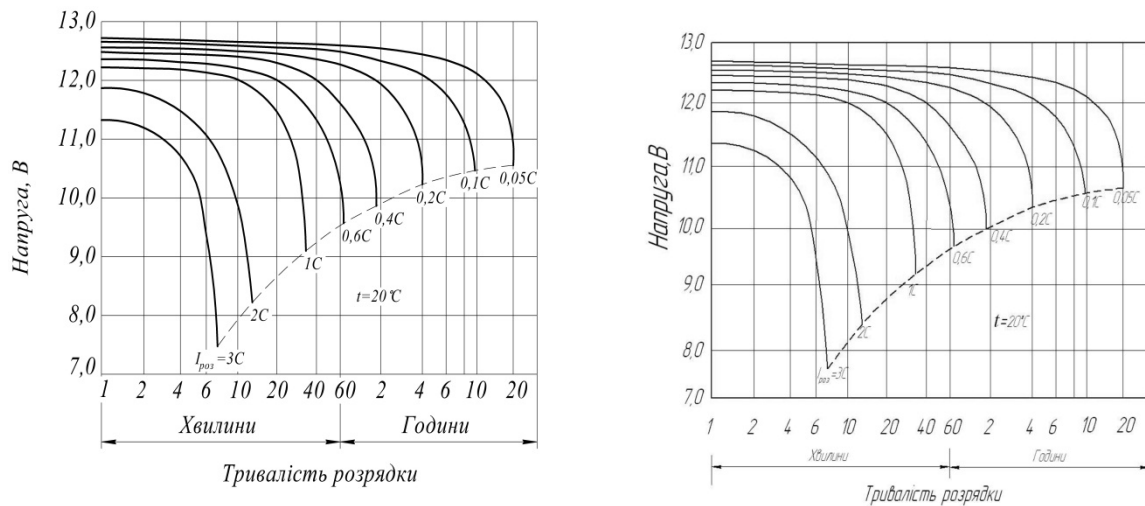


Рисунок 4. Рекомендовані мінімально-допустимі напруги у залежності від розрядного струму, вираженого в одиницях номінальної ємності.

Ємність акумулятора C прирівнюють до кількості електрики в $A \cdot год$, яку акумулятор віддає при заданому режимі розряджання до досягнення мінімально допустимої залишкової напруги U_{min} . Номінальну ємність C_n визначають при розряджанні сталим струмом протягом 20 годин. Відтак розрядні та зарядні струми вимірюють через тривалість розряджання номінальної ємності. Наприклад, при 10-годинному розряджанні розрядний струм чисельно рівний $1/10$ номінальної ємності акумулятора: $I_{20} = 0,1 C_n$.

Режими розрядки прийнято поділяти на наступні:

- саморозряд, при $I_p \approx 10^{-4} C_n$;
- тривалий, при $I_p < 0,1 C_n$;
- середній, при $0,1 C_n \leq I_p < 1 C_n$;
- форсований, при $I_p \geq 3 C_n$.

Саморозряд відбувається внаслідок електролізу води, який починається з напруги 1,23 В з виділенням кисню на додатному електроді і водню – на від'ємному. Але у електроліті швидкість розкладу води значно менша за швидкість оберненої реакції утворення молекул. При сталому розрядному струмі напруга на клеммах акумулятора змінюється за схемою, наведеною на рис. 5.



У загальному випадку зарядну і розрядну енергії розраховують інтегруванням:

$$W_p = \int_0^{\tau_p} I_p(\tau) U_p(\tau) d\tau; W_z = \int_0^{\tau_z} I_z(\tau) U_z(\tau) d\tau \quad (14)$$

Порівняння обох енергій слід проводити в одному і тому ж інтервалі зміни ємності, межі якого визначають за напругою розімкненого кола U_{pk} . Але її поточне значення вимірюється тільки після деполяризації електрохімічної комірки, тому момент повернення у початковий зарядний можна оцінити лише приблизно. Тому відношення абсолютних значень обох енергій потрібно замінити їх значеннями, нормованими на відповідні інтервали зміни напруги розімкненого кола кожного процесу:

$$W'_p = \frac{W_p}{\Delta U_p} \quad \text{і} \quad W'_z = \frac{W_z}{\Delta U_z} \quad (15)$$

$$C'_p = \frac{C_p}{\Delta U_p} \quad \text{і} \quad C'_z = \frac{C_z}{\Delta U_z} \quad (16)$$

Напруга розімкненого кола акумулятора після заряджання чи розряджання є сумою двох складових: сталої е.р.с. та змінної за величиною напруги поляризації:

$$U_{p \text{ зар}} = E_{зар} + U_{n \text{ зар}} \quad (17)$$

$$U_{p \text{ роз}} = E_{роз} + U_{n \text{ роз}} \quad (18)$$

Процес деполяризації не описується аналітичною залежністю, тому її вимірюють як правило через 24 год. після закінчення. Проте за добу е.р.с. також зменшиться на величину ΔE_c за рахунок процесу саморозряду. Значення ΔE_c попередньо встановлюється експериментально.

Розроблення моделі процесів заряду розряду акумуляторних батарей. Під час розроблення математичної моделі акумуляуючої батареї виникає проблема описати залежність між ККД заряду-розряду і батареї тому, що ККД залежить відпоточної енергетичної ємності акумуляуючої батареї, температури, навантаження, тобто від струму, що проходить у колі, і інших факторів [6; 7]. Тому, для спрощення моделі акумуляуючої батареї, можна припустити, що ККД заряду-розряду не залежить від струму заряду і рівня заряду акумуляуючої батареї [7] та визначається як:

$$\eta_{зар} = \eta_{роз} = \sqrt{\eta_{ак}}, \quad ' \quad ' \quad ' \quad (19)$$

де $\eta_{зар}$ – ККД заряду акумуляуючої батареї,

$\eta_{роз}$ – ККД розряду акумуляуючої батареї,

$\eta_{ак}$ – узагальнений ККД акумулятора. ККД сучасних акумуляторів



85-95% залежно від типу [7; 8].

Під час зарядки акумуляторної батареї режимом заряду є заряд постійний струм із постійною напругою (CC/CV). Режим полягає в розбитті процесу заряду акумулятора на два етапи. На першому етапі відбувається заряд акумулятора постійним струмом (CC). Величина сили струму, якою відбувається заряд, є максимально допустимою силою струму заряду-розряду ($I_{\text{макс}}$), це значення можна отримати з технічного паспорта, зазвичай, максимальний струм заряду і розряду знаходиться в межах $0,2C - 2C$ [7; 9],

В такому випадку, сила струму зменшується експоненціально з часом [8], цей процес описується залежністю:

$$I_{(t)} = I_{\text{макс}} \exp\left(-\frac{t - t_{\text{пор}}}{\tau}\right),$$
$$\tau = \frac{C_{\text{ном}}}{I_{\text{макс}}} - t_{\text{пор}},$$

де t – поточний момент часу;

$I_{\text{макс}}$ – максимально допустима сила струму заряду-розряду;

$t_{\text{пор}}$ – момент часу, коли відбувся перехід в режим сталої напруги;

$C_{\text{ном}}$ – номінальна енергетична ємність акумулюючої батареї.

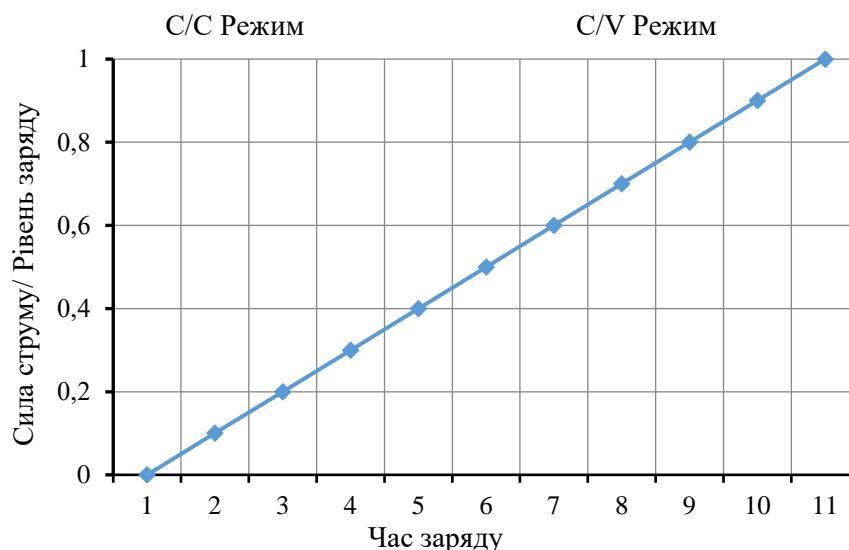


Рисунок 6. Схематичне зображення роботи методу CC/CV

Заряд закінчується коли напруга на клеммах акумулятора складає 97-99% від номінального рівня, або не змінюється протягом певного періоду часу [1, 8]. Заряд акумулюючої батареї в режимі CC/CV подано схематично на рис. 4.

З врахуванням наведених результатів, кількість енергії



($P_{\text{макс.роз.}}$), яку може віддати за одиницю часу, не може бути більша ніж:

$$P_{\text{макс.роз.}} = U_{\text{ак}} \cdot I_{\text{макс}} \cdot \eta_{\text{роз}} = E_{\text{ак}} \cdot \eta_{\text{роз}} \cdot t^{-1} \quad (20)$$

де $U_{\text{ак}}$ – напруга на клеммах акумулюючої батареї.

Для спрощення моделі акумулюючої батареї, можна припустити, що напруга на акумулюючої батареї не залежить від режиму роботи і завжди дорівнює номінальній напрузі ($U_{\text{ак}}$) [7]. Беручи до уваги, що $I_{\text{макс}} = C \cdot t^{-1}$ тоді:

$$U_{\text{ак}} \cdot I_{\text{макс}} = U_{\text{ак}} \cdot C \cdot t^{-1} = E_{\text{ак}} \cdot t^{-1}, \quad (21)$$

де $E_{\text{ак}}$ – енергія акумулюючої батареї.

Обмеження, що накладає метод заряду CC/CV можна записати як:

$$P_{\text{макс.зар}} = \begin{cases} \frac{U_{\text{ак}} \cdot I_{\text{макс}} \cdot \eta_{\text{зар}} \cdot C(t) \leq C_{\text{пор}}}{U_{\text{ак}} \cdot I_{\text{макс}} \cdot k \cdot \eta_{\text{зар}} \cdot C(t) \geq C_{\text{пор}}}, & (22) \\ k = \exp\left(-\frac{(t-t_{\text{пор}})}{\tau}\right), \end{cases}$$

де $C(t)$ – поточна енергетична ємність акумулюючої батареї,

$C_{\text{пор}}$ – енергетична ємність при якій відбувається перехід в режим заряду постійною напругою, відповідає 60-80% від номінальної енергетичної ємності акумулюючої батареї.

Підставивши вираз $U_{\text{ак}}$ замість $E_{\text{ак}}$, отримаємо:

$$P_{\text{макс.зар}} = \begin{cases} \frac{E_{\text{ак}} \cdot I_{\text{макс}} \cdot \eta_{\text{зар}} \cdot t_n^{-1} \cdot C(t) \leq C_{\text{пор}}}{E_{\text{ак}} \cdot I_{\text{макс}} \cdot k \cdot \eta_{\text{зар}} \cdot t_n^{-1} \cdot C(t) \geq C_{\text{пор}}}, & (23) \end{cases}$$

Промодельовавши для випадку коли $C(t) > C_{\text{пор}}$ отримаємо:

$$C(t) = C_{\text{пор}} + I_{\text{макс}} \int_0^{t-t_{\text{пор}}} \exp\left(-\frac{t-t_{\text{пор}}}{\tau}\right) dt,$$

$$C(t) = C_{\text{пор}} + I_{\text{макс}} \tau \left(1 - \exp\left(-\frac{t-t_{\text{пор}}}{\tau}\right)\right),$$

$$C(t) = C_{\text{пор}} + C_{\text{ном}} \cdot t_n^{-1} \cdot \tau \left(1 - \exp\left(-\frac{t-t_{\text{пор}}}{\tau}\right)\right),$$

$$C(t) = C_{\text{пор}} + C_{\text{ном}} \cdot t_n^{-1} \cdot \tau (1 - k),$$

Після моделювання отримаємо коефіцієнт трансформації акумуляторної батареї

$$k = 1 - \frac{C(t) - C_{\text{пор}}}{t_n^{-1} \cdot C_{\text{пор}} \cdot \tau}$$

Максимальна потужність розряду акумулюючої батареї залежить



від:

Напруга акумуляючої батареї

$$V_{ae} = V_{нрз} - (I_{bat} \cdot R_{зар}),$$

ККД розряду:

$$\eta = \begin{cases} \eta_{зар} = \frac{V_{нрз}}{V_{нрз} - (I_{bat} \cdot R_{зар})} \\ \eta_{роз} = \frac{V_{нрз} - (I_{bat} \cdot R_{зар})}{V_{нрз}} \end{cases},$$

де $V_{нрз}$ – напруга розімкнутого кола,

I_{bat} – сила струму, що проходить через однакумуляюча батарея,

$R_{зар}$ – опір акумуляючої батареї.

При заряду акумуляючої батареї сила струму береться зі знаком «-», а при розряді з «+». Напруга розімкнутого кола і опір акумуляючої батареї – це величини, що залежать від багатьох факторів: типу акумуляючої батареї; рівня заряду елемента; температура експлуатації; ступінь деградації елемента; тощо. У зв'язку, з чим зазвичай ці параметри встановлюються експериментальним шляхом.

На основі отриманих результатів рис. 7, 8, 9 було розраховано, що ємність 1 кВт·год складає 120 А·год. Якщо $t_n^{-1}=0,2$ тоді максимально допустима сила струму ($I_{макс}$) буде 24 А.

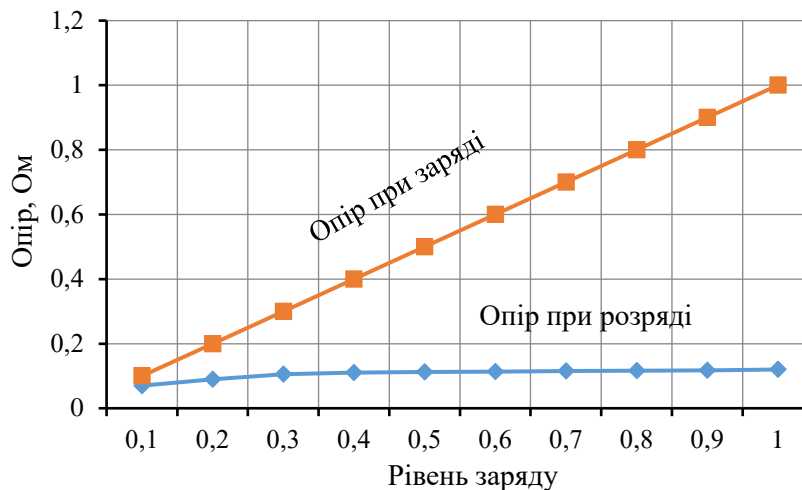


Рисунок 7. Залежність між опором одиничного елемента батареї і рівнем заряду(SOC)

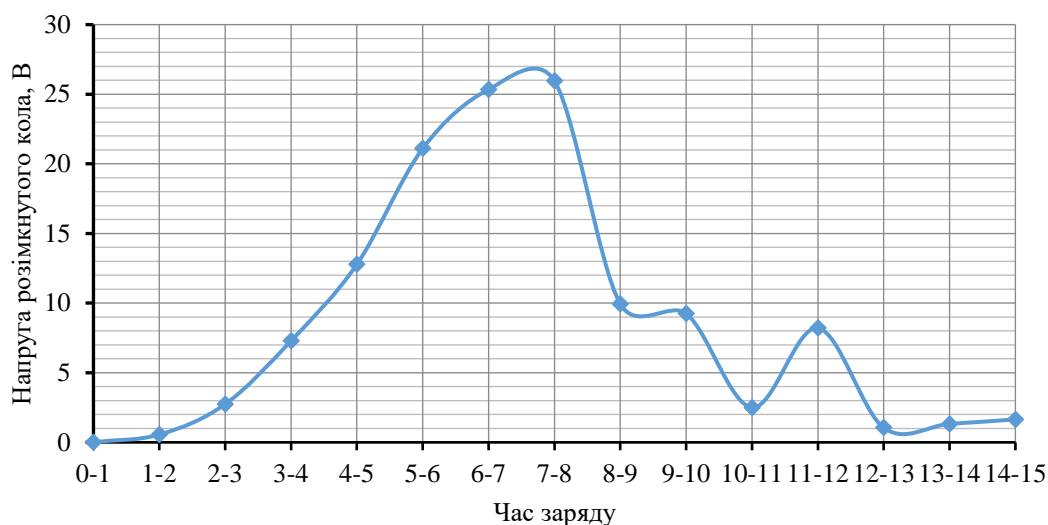


Рисунок 8. Залежність між напругою розімкнутого кола і часом заряду (SOC)



Рисунок 9. Графік максимальної потужності заряду і розряду акумуляторної батареї

На основі отриманих результатів, можна стверджувати, що максимальне відхилення при заряді між розробленою моделлю і еквівалентною схемою акумуляуючої батареї складає 4%, а в середньому розроблена модель завищує максимальну потужність заряду на 1%. При розряді максимальне відхилення становить 10% у випадку, коли рівень заряду акумуляуючої батареї близький до нуля, в середньому розроблена модель завищує максимальну потужність розряду на 6%.

Порівнюючи розроблену модель і еквівалентну схему акумуляуючої батареї, можна зробити висновок, різниця між



максимальною потужністю заряду-розряду для описаних моделей не перевищує 10%, а в середньому становить 3,5%. За відсутності детальної технічної документація акумулюючої батареї, розроблена модель може бути використана замість інших моделей.

Висновки. Удосконалено модель процесів заряду-розряду акумулюючої батареї з врахуванням режиму роботи, що дозволяє визначити моменти зміни енергодинамічних режимів джерел генерації зарядного пристрою відповідно до максимальної потужності заряду і розряду акумуляторної батареї

Розроблена модель заряду-розряду акумуляторної батареї з врахуванням режиму заряду CC/CV. З метою дослідження коректності моделі, проведено порівняльний аналіз її з моделлю на основі еквівалентної схеми. На основі аналізу отриманих результатів, можна зробити висновок, що різниця між максимальною потужністю заряду-розряду для описаних моделей не перевищує 10%, а в середньому становить 3,5%.

Список використаних джерел

1. Medykovskyy M., Melnyk R. Processing of data on the intensity of solar radiation for solar power plant management systems. *Econtechmod. An international quarterly journal*, Т. 7, № 3, 2018. Р. 33–38.
2. Кармазін О. Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики. Автореферат, Київ: Національної академії наук України, 2019. С. 38.
3. Кузнєцов М., Лисенко О. та Мельник О. Особливості стохастичної. Оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ. *Відновлювана енергетика*, № 2, 2018. С. 6–15.
4. Buch R., Carton J., Harasis Y., Sudipta L., Zedler M., Lin J. Energy Storage Monitor Latest trends in energy storage, *World energy council*, 2019. Р. 1–8.
5. Bloomberg N E F. Battery Pack Prices Cited Below 100 kW/h for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kW/h,» [Онлайновий]. Available: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kw/h>.
6. Rancilio G., Lucas A., Kotsakis E., Fulli G., Merlo M., Delfanti M. Masera M. Modeling a Large-Scale Battery Energy Storage System for Power Grid Application Analysis, *MDPI Energies*, Т. 12, № 3312, 2019. Р. 8–13.
7. Casperson D. Towards a Better Presentation of Dynamic Programming, *WCCCE 14: Proceedings of the Western Canadian Conference on Computing Education*. 2014. Р. 1–5.
8. Kim B. K., Park S. M. Park S. J. A Study on Single-Mode Charger Using DC modeling Equivalent Estimation of the Battery. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Р. 201–205.



9. Contreras M. C., Go Design Patterns, Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd. 2017. P. 1–5.

10. González I., Calderón A. J., Figueiredo J. and C. Sousa J. M. A Literature Survey on Open Platform Communications (OPC) Applied to Advanced Industrial Environments» *MDPI: Electronics*, Т. 8, № 510, 2019. P. 11–15.

11. Jianli F., Shengnan L. Performance Analysis of Various Activation Functions in Artificial Neural Networks. *Journal of Physics Conference Series: Conf. Series*. 2019. P. 1237. P. 21–25.

12. Silveira L. R., Tanscheit R. Vellasco M. Quantum-inspired genetic algorithms applied to ordering combinatorial optimization problems. *IEEE World Congress on Computational Intelligence June, 2012*. P. 10–15.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2023 р.

V. Boyarchuk, S. Korobka, I. Stukalets, M. Babych, S. Syrotyuk
Lviv National University Environmental University

METHOD OF RESEARCH THE EFFICIENCY OF ELECTROCHEMICAL ELECTRICITY ACCUMULATION

In the article, a model of the charge-discharge processes of the storage battery is developed, which is used to study the operation of the hybrid power supply system and form recommendations for the operator. The model was developed taking into account the features of the CC/CV charge mode and limitations on the charge-discharge capacity. In order to study the influence of the capacity of the storage battery on the average value of the power imbalance, that is, on the difference between the total electricity generation and the load schedule, computer simulation of the charge-discharge modes was carried out for two models of the storage battery (developed model, equivalent circuit of the storage battery) and for three methods of determining the active composition (modified method of dynamic programming). The obtained results make it possible to substantiate the energy capacity of the storage battery necessary to ensure the permissible power imbalance.

The model allows achieving satisfactory correctness with lower computational complexity. To check the correctness of the developed model, an equivalent circuit of a storage battery was used. The results of computer modeling showed that the average deviation between the limitations on charge-discharge capacity for the developed model and the equivalent circuit of the storage battery is 1% during charge and 6% during discharge.

A charge-discharge model of the storage battery was developed, taking into account the CC/CV charge mode. In order to investigate the correctness of the model, a comparative analysis of it with the model based on the equivalent circuit was carried out. Based on the analysis of the obtained results, it can be concluded that the difference between the maximum charge-discharge capacity for the described models does not exceed 10%, and on average is 3.5%.

Key words: rechargeable battery, electrochemical processes, electrolyte, charging capacity.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-40

УДК 631.172:631.53.01

О. Ю. Юрченко, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-3047-6654

Г. В. Барсукова, к.т.н, доц.

ORCID: 0000-0002-4261-2182

Сумський національний аграрний університет

e-mail: aleksyurchenko110917@gmail.com, тел.: 096-610-67-82

ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ЯК СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НАСІННЯ

Анотація. Збирання врожаю тих чи інших сільськогосподарських культур або виведення нових гібридів та високоякісних сортів рослин у сільському господарстві, на сьогодні, є важливим етапом в розвитку не лише окремо взятих фермерських господарств, що спеціалізуються на вирощуванні елітних сортів, а і усієї галузі країни вцілому. Продовольча безпека держави має підґрунтя, що базується на збільшенні виробництва сировини, продуктів харчування і т. п. Мова іде про усі види сільськогосподарської продукції, що виробляється сьогодні усіма галузями сільського господарства, починаючи від рослинництва і закінчуючи готовими продуктами харчування, що пройшли кілька стадій з виготовлення, розпочинаючи з процесу збирання врожаю і закінчуючи готовим продуктом на конвеєрі. Однак, для отримання того високоякісного продукту харчування слід мати відповідної якості вихідний елемент, а, відповідно, - і посівний матеріал. Це може означати те, що прогнозовані масштаби збирання врожаю безпосередньо залежать від якості насіння та від того наскільки його елементи зберегли здатність дружного, поступового сходу і активної фази розвитку в перші періоди. Рослинницькою галуззю підтримується концепція органічного землеробства, в результаті чого особливу роль приділяють підвищенню посівних якостей і екологічній безпеці вихідного насінневого матеріалу. Повною мірою вплив на це несе попередня підготовка та передпосівна обробка. Підхід до такого роду оптимізації якості посівного матеріалу може базуватися на різних методах. У даній роботі представлено метод покращення якості насінневого матеріалу шляхом його обробки імпульсним електричним полем. Стратегія використання засобів боротьби зі шкідниками, рослинами-паразитами та збільшенням поживних речовин у самій насініні призвела до масового використання отрутохімікатів, барвників та стимуляторів росту, що, згодом, негативно впливає не лише на безпечний склад кінцевого матеріалу, а на здатність ґрунту



давати високі врожаї, що уникнуто при використанні представленого у даній роботі методу.

Ключові слова: перетворювач, частота, коливання, напруга, струм.

Постановка проблеми. Традиційні способи з підготовки і обробки насіннєвого матеріалу мають ряд важливих операцій, що характеризуються:

- великою трудомісткістю;
- великою тривалістю технологічної операції;
- використанням протруювачів та хімічних стимуляторів;
- великими затратами електричної енергії;
- необхідністю введення нового дорогого обладнання.

Перспектива для вирішення вище наведених факторів полягає у використанні електрофізичних і електротехнологічних методів. Це здатно інтенсифікувати біологічні і фізіологічні внутрішньоклітинні процеси оброблюваного перед посівом насіння. Перевагою такого способу є безвідходність виробництва та мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище. Електрофізичними методами обробки насіння перед посівом підвищується їх схожість, стимулюється сила зростання пагонів та коренів, знищується шкідлива мікрофлора та скорочуються витрати посівного матеріалу при забезпеченні більш сприятливих умов для зростання та розвитку.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні, для продовження терміну зберігання і збереження якості продукції застосовується радіаційна обробка, зазвичай як фізичний метод [1]. Для популяризації застосування насіння соняшнику в технології комп'ютерного цифрового моделювання, моделі руху і динамічні характеристики насіння соняшнику в ключових процесах, таких як посів і збирання врожаю, досліджуються за допомогою методів аналізу дискретних елементів для оптимізації параметрів розмірів та структурних характеристик відповідні механічні компоненти [2]. Електротехнічні методи з обробки насіння, наприклад, з використанням PEF-обробки несе вплив на основні хімічні характеристики (кислотність та перекисне число), а також колірні параметри соняшnikової олії. На основі отриманих результатів в роботі [3] можна зробити висновок, що PEF згодом може бути високопотенційною промисловою технологією.

Розробляючи плазмову біотехнологію з метою застосування в сільському господарстві і медицині, в роботі [4] досліджено вплив плазмової обробки на насіння сільськогосподарських культур. Виявлено, що зі збільшенням плазми потужності, шорсткість поверхні насіння зростає, а контактний кут зменшується а, отже, змочуваність збільшується, поглинання води залежало від потужності, а швидкість проростання і зростання зростає до максимуму за певних параметрів



плазми. Представлене [5] порівняння впливу на фізичні параметри насіння та ядер сояшнику за методу термосонячного зневоднення (TSD) та зневоднення за допомогою електромагнітної індукції при низькому тиску (DEMI-LP) показало, що в останньому випадку час досягнення 8% загального вмісту вологи є у 2,5 рази коротшим.

Передпосівна обробка насіння є стартовим та підготовчим етапом у вирощуванні рослини і, цим самим, є основою для подальшого її ефективного розвитку. Застосування електротехнологічного комплексу у боротьбі з патогенною мікрофлорою у процесі передпосівного обробітку насіння, наприклад, сояшнику має такі переваги:

- відсутність будь-якого впливу на ґрунт та процеси у ньому;
- унеможливлення поступового звикання і пристосування патогенної мікрофлори, яку можна спостерігати за умови використання отрутохімікату.

Для успішного впровадження нових електричних технологій у процесі обробітку насіння оптимізація параметрів процесу в поєднанні з параметрами електричного процесу є вирішальною [6]. Іноді, метод електричного поля високої напруги використовується [7] і для уникнення недоліків нейтралізації сояшникової олії. Фіторемедіація, що посилена електрокінетикою, може розглядатися як потенційна технологія для ремедіації забруднених ґрунтів. У дослідженні [8] пропонується нова технологія щодо фізіологічних процесів рослин під впливом стресу кадмію та електричних полів.

Слід відмітити, що до методів впливу на якість сояшнику визначилися такі, як вплив за допомогою ультразвуку [9] Результати такої оптимізації підтверджують, що ультразвукове втручання здатне забезпечити інтенсифікований і енергоефективний процес сушіння, що генерує стійке і якісне сушене насіння. Помірне електричне поле, що може бути застосованим до окремих структурних частин сояшнику, для зміни їх структурних і теплофізичних властивостей, може значно зменшила середній розмір частинок із помітними змінами в однорідності розчинів [10].

Формулювання мети статті. Основою ціллю даної роботи є аналіз основних параметрів і режимів роботи пристрою для передпосівного обробітку насіння сояшнику, що складається, головним чином з перетворювача і стабілізатора напруги і працює за імпульсним електричним полем з метою покращення якості насіння сояшнику.

У потоковому виробництві значну складність представляє шар насіння, який характеризується:

- різними розмірами насінин;
- ступенем забрудненості;
- вологістю і т. п.



Виникає необхідність в розробці установки або аналізі існуючих систем, що забезпечують можливість визначення подібності зміни оброблюваної маси. Згодом, слід здійснити автоматичне перетворення параметрів впливу:

- амплітуди;
- тривалості та частоти проходження імпульсу;
- пристосуватися до змінних умов.

Виходячи із вище сказаного, є необхідність розробки електрообладнання установки, перетворювача та стабілізатора напруги, якими можна задовольнити усі вище перераховані вимоги та отримати високоякісний насінневий матеріал.

Основна частина. Матеріалами досліджень визначаються засади електротехніки, методи теорії ймовірності та математичної статистики, а також теорії планування експерименту.

У ході здійснення досліджень основним об'єктом є технічні та конструктивні особливості, режимні і електротехнологічні параметри установки для обробки насінневого матеріалу соняшнику імпульсним електричним полем. Крім того, особлива увага приділяється отриманим посівним якостям обробленого насіння.

В результаті використання такого пристрою є можливість підтримання однорідності обробки в різних партіях насіння з використанням системи керування, що забезпечує регулювання амплітуди, тривалості і частоти імпульсів електричного поля, здійснюючи, при цьому, зворотний зв'язок від датчиків електропараметрів, що розміщуються безпосередньо у робочій камері.

Основним параметрами режиму обробки є прикладена напруга, частота прямування та тривалість імпульсів.

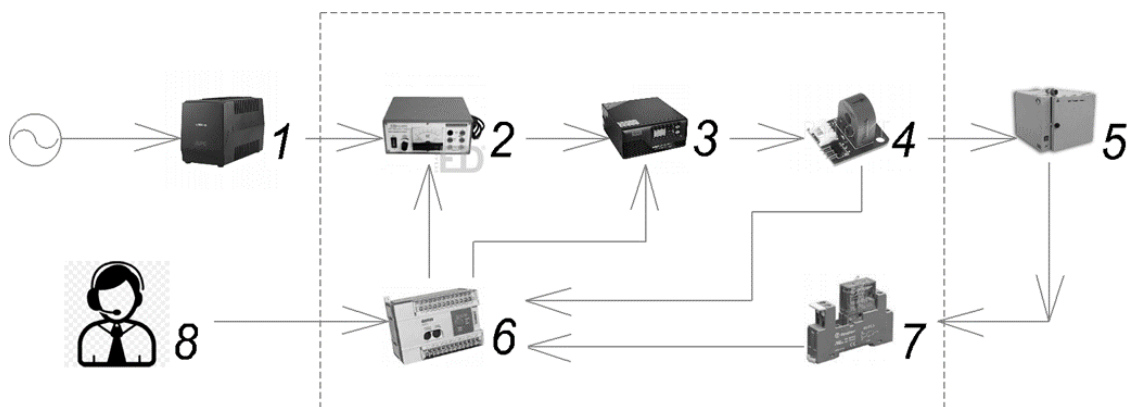
З метою оцінки якості технологічного пристрою, що досліджується в даній роботі, висувається ряд вимог:

- дотримання однорідності обробки усього об'єму насіння;
- можливість аналізу та відображення усіх енергетичних процесів;
- плавність здійснення регулювання технологічного процесу, а саме – напруги, амплітуди та частоти;
- раціональні витраті енергії на переміщення насіння;
- можливість використання установки у промислових масштабах.

Схему перетворювача напруги установки, що використовується для передпосівного обробітку насіння, представлено на рисунку 1.

Схема включає:

- стабілізатор напруги;
- джерело високої напруги;
- інвертор напруги;
- датчик струму;
- робоча камера;



1 – стабілізатор напруги; 2 – джерело високої напруги; 3 – інвертор напруги; 4 – датчик струму; 5 – робоча камера; 6 – блок керування; 7 – датчик напруги; 8 – оператор

Рисунок 1. Структурна схема перетворювача.

- блок керування;
- датчик напруги;
- оператора.

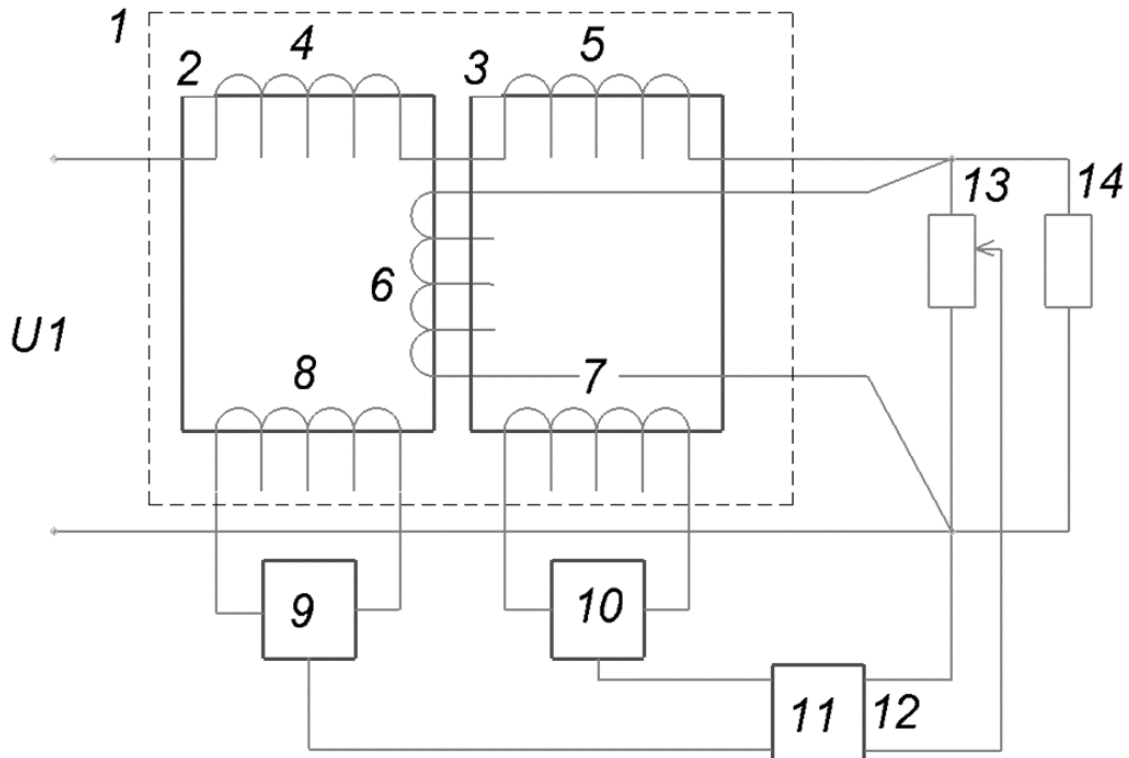
Перетворювач складається з джерела високої напруги, інвертора напруги, датчика струму, блоку керування, датчика напруги.

До схеми входить стабілізатор напруги змінного струму, після якого включається перетворювач напруги. Перетворювач напруги складається з джерела високої напруги, інвертора напруги, датчика струму, датчика напруги, блоку керування. Вихід джерела високої напруги підключений до інвертора напруги, навантаженням є робоча камера, де буде відбуватися обробка, до якої інвертор підключений через датчик струму. Напруга в робочій камері змінюється датчиком напруги. Датчики струму та напруги підключені до блоку керування, який керує роботою перетворювача, згідно установок, отриманих від оператора.

Робота установки полягає у включенні, коли напруга джерела живлення подається на стабілізатор напруги змінного струму. Стабілізатором здійснюватимуться плавне, безступінчасте регулювання і стабілізація вихідної напруги в межах, що задаються блоком керування. Крім того, стабілізатор напруги усуватиме комутаційні перерви у електроживленні перетворювача і комутаційні перенапруги та кидки струму.

Напруга з виходу стабілізатору змінного струму надходитиме на джерело високої напруги, де воно перетворюватиметься на напругу постійного струму з амплітудою впливу. Потрібні значення по величині напруги для використання джерела високої напруги задаються блоком керування. Джерело високої напруги - це джерело з імпульсними перетвореннями напруги. Вихід джерела навантажений

на інвертор напруги.



1 - автотрансформатор, 2, 3 - сердцевини (магнітопроводи), 4, 5 - первинні обмотки, 6 - вторинна обмотка, 7, 8 - керуючі обмотки, 9, 10 - електронні регулятори, 11 - блок керування, 12 - ланцюг зворотного зв'язку, 13 – потенціометр, 14 - навантаження

Рисунок 2. Функціональна схема стабілізатора регулятора напруги змінного струму.

Інвертором напруги формуються високовольтні імпульси із поступаючого на вхід постійної напруги від джерела високої напруги. Блок керування даватиме команди на включення інвертору напруги на час тривалості кожного з імпульсів. Сформований, в такий спосіб, високовольтний імпульс для обробки через датчик струму, надходитиме на електроди робочої камери.

Інформація щодо процесів, які протікають в момент обробки у робочій камері блоком керування отримується від датчиків. Інформація про споживаний електродами робочої камери струм надходитиме від датчика струму, а значення прикладеної до електроду робочої камери напруги – від датчика напруги. Отримані дані є вихідними для блоку керування з метою розрахунку необхідної та однакової величини енергії, яка передається навантаженню в незалежності від змін.

Блок керування коригує усі параметри впливу: амплітуду імпульсів напруги, тривалість та частоту. Значення величин імпульсів напруги передається блоком керування в джерело високої напруги. Параметри імпульсів за довжиною та частотою забезпечуються за



рахунок інвертора напруги.

В результаті вище сказаного, перетворювач міститиме контури зворотного зв'язку за струмом, споживаним робочою камерою, та за напругою, прикладеною до електродів робочої камери.

Представлена вище установка по обробці насіння забезпечує плавність та безступінчастість по регулюванню і стабілізації вихідної напруги, усуваючи, при цьому, комутаційні перерви у електроживленні установки. В результаті компонування саме таких елементів здійснюється усунення комутаційних перенапруг та кидків струму. При цьому, важливими є високий ККД, відносна компактність та дешевизна.

Стабілізатор, що є регулятором напруги змінного струму, в свою чергу, складається з автотрансформатора на серцевинах (магнітопроводах), на яких намотано первинну і вторинну обмотка. Крім того, на серцевинах автотрансформатора намотано керуючі обмотки з підключеними блоками електронних регуляторів. Керування стабілізатором здійснюється через блок керування за допомогою ланцюга зворотного зв'язку та потенціометром. До виходу стабілізатору – регулятору напруги змінного струму підключено навантаження.

Експеримент з установкою полягає у постійному контролі напруги живлення, яку видає стабілізатор до перетворювача напруги, порівнюючи з напругою електромережі, що підтверджує ефективність заявленого пристрою. При цьому, відбувається захист від передчасної поломки через різкі падіння або зростання напруги і кидків струму, які спостерігаються в мережах.

Робота установки передпосівної обробки насіння соняшнику імпульсним електричним полем має забезпечити стабілізацію напруги на навантаженні при зміні, як напруги мережі, так і величини навантаження в усіх діапазоні плавно, без розриву ланцюгів мережевого живлення і навантаження. Це є важливим для стабільної роботи перетворювачів.

Застосування представленого стабілізатора дає можливість отримання ряду переваг, таких як:

- захист обладнання від перенапруг для передпосівного обробітку насіння імпульсним електричним полем;
- стабільність роботи задіяного обладнання і, як наслідок, покращення якості обробки насіння;
- широкий діапазон регулювання значень напруги та її стабілізації в процесі роботи обладнання по обробці насіння;
- плавність та безступінчатість регулювання і стабілізації напруги на виході;
- відсутність комутаційних перерв в електроживленні;



- відсутність комутаційних перенапруг і кидків струму.

Висновки. У роботі проаналізовано можливості здійснення процесу обробки насіння соняшнику перетворювачем напруги для установки обробки насіння ІЕП, в якій реалізується регулювання ступенів обробки залежно від кількості, вологості і забрудненості насіння, а також стабілізатора напруги, що дозволяє компенсувати недоліки джерела живлення установки.

Визначено параметри, режими та основні енергетичні характеристики перетворювача напруги. Перевірено систему керування перетворювачем по зворотному зв'язку від датчиків струму і напруги в робочій камері. Система керування дозволяє підтримання постійно встановленої дози впливу ІЕП на увесь обсяг насіння, в незалежності від змін ємності та опору шарів насіння.

Проаналізовано експериментальні і лабораторні досліди із різними параметрами ІЕП (змінюючи напруженість, тривалість імпульсу та частоту).

Встановлено, що за обробки насіння в раціональному режимі суттєво зростають посівні якості, а також енергія проростання, маса паростків, порівнюючи з контрольним необробленим ІЕП насінням соняшнику.

Обробка ІЕП в раціональному режимі має суттєвий вплив на патогенну мікрофлору насіння соняшнику. У обробленого насіння відмічено зниження заселеності патогенною мікрофлорою.

Як наслідок, можна відмітити позитивний ефект від роботи такої установки та можливість її використання на великих сільськогосподарських підприємствах.

Список використаних джерел

1. Shi Z., Liu Y., Hu Z., Liu L., Yan Q., Geng D., Wei M., Wan Y., Fan G., Yang H., Yang P. Effect of radiation processing on phenolic antioxidants in cereal and legume seeds: A review. *Food chemistry*, 2022, 396, 133661. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133661>
2. Wang S., Yu Z., Bao A., Zhang W. Study on the modeling method of sunflower seed particles based on the discrete element method. *Comput. Electron. Agric.*, 2022, 198, 107012. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107012>
3. Shorstkii I. A., Khudyakov D., Mirshekarloo, M. S. Pulsed electric field assisted sunflower oil pilot production: Impact on oil yield, extraction kinetics and chemical parameters. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2020, 60, 102309. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102309>
4. Sarapirom S., Yu L. D. Low-pressure and atmospheric plasma treatments of sunflower seeds. *Surface & Coatings Technology*, 2020, 126638. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126638>



5. Ortiz-Hernández A.A., Araiza-Esquivel M., Delgadillo-Ruiz L., Ortega-Sígala J. J., Durán-Muñoz H., Méndez-García V. H., Yacamán M. J., Vega-Carrillo H. R. Physical characterization of sunflower seeds dehydrated by using electromagnetic induction and low-pressure system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102285>
6. Shorstkii I.A., Khudyakov D. Influence of pulsed electrical discharge, hydrostatic pressure and temperature on rheological properties of sunflower cake during oil pressing. *Heliyon*, 2020, 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03046>
7. Tavakoli A., Sahari M. A., Barzegar M., Ahmadi Gavlighi H. Optimization of high voltage electric field as a novel non-thermal method of sunflower oil neutralization. *Separation and Purification Technology* 2019 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.10.004>
8. Zhao L., Liu W., Lian J., Shen M., Huo X. Effects of electric fields on Cd accumulation and photosynthesis in *Zea mays* seedlings. *Journal of environmental management*, 2020, 276, 111328. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111328>
9. Dibagar N., Kowalski S. J., Chayjan R. A., Figiel A. Accelerated convective drying of sunflower seeds by high-power ultrasound: Experimental assessment and optimization approach. *Food and Bioprocess Technology*, 2020, 123, 42–59. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.05.014>
10. Subaşı B. G., Jahromi M., Casanova F., Çapanoğlu E., Ajallouei F., Mohammadifar M. A. Effect of moderate electric field on structural and thermo-physical properties of sunflower protein and sodium caseinate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102593>

Стаття надійшла до редакції 11.04.2023 р.

O. Yurchenko, H. Barsukova
Sumy National Agrarian University

USING A PULSE ELECTRIC FIELD AS A WAY OF IMPROVING SEED QUALITY INDICATORS

Summary

Harvesting certain agricultural crops or breeding new hybrids and high-quality varieties of plants in agriculture today is an important stage in the development of not only individual farms specializing in the cultivation of elite varieties, but also the entire industry of the country as a whole. The food security of the state has a foundation based on the increase in the production of raw materials, food products, etc. We are talking about all types of agricultural products produced today by all branches of agriculture, starting from crop production and ending with ready-made food products that have passed through several stages of manufacturing, starting with the harvesting process and ending



with the finished product on the assembly line. However, in order to obtain that high-quality food product, you should have the starting element of appropriate quality, and, accordingly, the seed material. This may mean that the predicted scale of harvesting directly depends on the quality of the seed and on the extent to which its elements have preserved the ability of friendly, gradual germination and active phase of development in the first periods. The plant industry supports the concept of organic farming, as a result of which a special role is given to the improvement of seed quality and ecological safety of the original seed material. This is largely influenced by preliminary preparation and pre-sowing treatment. The approach to this kind of seed quality optimization can be based on different methods. This work presents a method of improving the quality of seed material by treating it with a pulsed electric field. The strategy of using means to control pests, parasitic plants and increasing nutrients in the seed itself has led to the massive use of toxic chemicals, dyes and growth stimulants, which subsequently negatively affects not only the safe composition of the final material, but the ability of the soil to produce high yields, which was avoided when using the method presented in this work.

Key words: converter, frequency, oscillation, voltage, current.



УДК 004.942

Ю. В. Холодняк, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-8966-9269

Є. А. Гавриленко, д.т.н.,

ORCID: 0000-0003-4501-445X

О. Г. Зінов'єва

ORCID: 0000-0003-3760-8952

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: yuliya.kholodnyak@tsatu.edu.ua, тел.: 097-618-90-03

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ КРИВИХ З ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Анотація. Розроблено спосіб, який дозволяє забезпечити неперервний графік швидкості зміни радіусів кривини уздовж обводу. Обвід формується у вигляді кривої, представленої впорядкованою послідовністю точок (дискретно представлена крива). Швидкість зміни радіусів кривини дискретно представленої кривої оцінюється швидкістю зміни радіусів кривини уздовж кривої Безье, яка визначається відповідним базисним трикутником. Проведено дослідження властивостей кривої Безье, в результаті яких доведено, що всередині ділянки, вздовж якої значення радіусів кривини змінюються монотонно, значення критерію оцінки швидкості зміни радіусів кривини також змінюються монотонно. Запропоновано критерій оцінки величини розриву швидкості зміни радіусів кривини дискретно представленої кривої. Зменшення розривів значень критерію проводиться в процесі згущень всередині відповідного базисного трикутника, а також всередині попереднього та наступного трикутників. В процесі послідовних згущень максимальна величина розриву значень швидкості зміни радіусів кривини послідовно зменшується.

Ключові слова: алгоритм, каркас поверхні, обвід, диференціально-геометричні характеристики, кривина

Постановка проблеми. Конструювання виробів, функціональним призначенням яких є взаємодія із середовищем (робочі органи сільськогосподарських машин, канали двигунів внутрішнього згоряння, лопатки турбін та ін.), вимагає розробки методів моделювання поверхонь за заданими умовами. Такими умовами є проходження через заданий масив точок або ліній, регламентований характер зміни характеристик уздовж поверхні (положень дотичних,



радіусів кривини та ін.) [1-3].

Комп'ютерна модель поверхні може бути сформована на основі каркасу, елементами якого є плоскі криві лінії. З геометричної точки зору властивості поверхні забезпечуються властивостями кривих, що входять до її визначника [4]. Завдання забезпечення заданих функціональних властивостей таких поверхонь вимагає розробки методів формування лінійних елементів моделі як одномірних обводів із заданими диференціально-геометричними характеристиками. Для просторових ліній цими характеристиками є порядок фіксації та порядок гладкості обводу, динаміка зміни значень кривини та скруту вздовж кривої [5-7].

Аналіз останніх досліджень. Серед методів безперервного геометричного моделювання широке застосування отримало формування складних геометричних образів на основі сплайнів [8-12]. В-сплайн визначається контрольними точками, кожній з яких відповідає функція сполучення. Дискретний характер вихідних даних забезпечує гнучкість керування формою кривої. Порядок гладкості обводу забезпечується ступенем функцій сполучення. При збільшенні порядку гладкості знижується можливість локальної корекції кривої. Одночасно зростає можливість виникнення осциляцій. Ці особливості обмежують можливості забезпечення заданих характеристик обводів, що формуються на основі В-сплайнів.

Дискретне геометричне моделювання передбачає представлення поверхні точковим масивом, а лінійних елементів моделі – точковим рядом. Криву лінію, представлену впорядкованою послідовністю точок, будемо називати дискретно представленою кривою або ДПК. Крім вихідного точкового ряду до визначника ДПК входять її диференціально-геометричні характеристики. Ці характеристики забезпечуються в процесі моделювання. ДПК формується методом дискретної інтерполяції (згущення), що передбачає визначення положення проміжних точок для вихідного точкового ряду. При цьому вважаємо, що вихідні точки задані без похибки та в процесі моделювання не змінюють свого положення. Дискретне представлення означає, що сама крива та її показники не визначені однозначно на усіх етапах моделювання.

У роботах [13-15] розроблено алгоритм моделювання обводів із монотонною зміною радіусів кривини. Вихідними даними є впорядкований точковий ряд, який представляє ДПК та умови, що накладаються на обвід: відсутність осциляції, другий порядок гладкості, монотонна зміна радіусів кривини вздовж обводу. Обвід формується всередині базисних трикутників (БТ), обмежених дотичними, що проходять через точки ДПК, та відрізками, що з'єднують послідовні точки. Алгоритм передбачає формування



ланцюга з мінімальної кількості БТ, які забезпечують рівні значення радіусів кривини, і ці значення змінюються монотонно вздовж обводу.

Основне призначення ДПК, що формуються, – використання в якості лінійних елементів каркаса при моделюванні динамічних поверхонь, функціональним призначенням яких є взаємодія з середовищем. Забезпечення другого порядку гладкості та монотонної зміни радіусів кривини вздовж лінійних елементів каркасу поверхонь сприяє ламінарному характеру обтікання цих поверхонь середовищем [16]. Подальше покращення динамічних якостей поверхонь можна забезпечити за рахунок нарощування умов, що накладаються на лінійні елементи моделі: збільшення порядку гладкості обводу, забезпечення безперервного графіка швидкості зміни радіусів кривини вздовж обводу.

У роботі [17] запропоновано критерій оцінки швидкості зміни радіусів кривини в точках ДПК. Оцінка проводиться на основі ланцюга базисних трикутників, які визначають ДПК другого порядку гладкості з монотонною зміною радіусів кривини.

Формулювання мети статті. Метою даного дослідження є розробка методики уточнення області розташування точки згущення у разі, якщо на криву накладається додаткова умова – безперервність швидкості зміни радіусів кривини.

Основна частина. Під закономірною зміною кривини мається на увазі монотонне зростання або убування радіусів кривини на ділянках, на яких вихідні дані дозволяють це забезпечити.

ДПК формується згущенням вихідного точкового ряду. Перед згущенням проводиться аналіз вихідного точкового ряду, у результаті якого визначаються ділянки, на основі яких може бути сформована крива з монотонною зміною кривини. Отримані ділянки формуються окремо та стикуються з другим порядком гладкості. Положення точок згущення визначаються виходячи з координат вихідних точок та вимог, що накладаються на обвід. Цими умовами можуть бути відсутність осциляції, другий порядок гладкості, монотонна зміна радіусів кривини, неперервний графік швидкості зміни радіусів кривини уздовж кривої.

Радіуси кривини в точках ДПК оцінюються за допомогою радіусів кривини кривої Безье, для якої контрольні точки, що її задають, співпадають із вершинами БТ. БТ обмежений дотичними до ДПК, що проходять через послідовні точки та хордою, яка з'єднує ці точки.

Задача моделювання ділянки ДПК $i \dots i + 1$ передбачає формування всередині вихідного БТ($i, T, i + 1$) ланцюга БТ, який забезпечує виконання наступних умов:

- граничні БТ ланцюга визначають у вихідних точках задані



значення радіусів кривини R_i та R_{i+1} ;

- значення радіусів кривини в точках згущення, які визначаються суміжними БТ, дорівнюють один одному та монотонно змінюються уздовж ділянки ДПК;

- кожен БТ ланцюга визначає ділянку кривої Безьє, уздовж якої значення радіусів кривини змінюються монотонно.

На першому етапі формування проводиться аналіз вихідної ДПК, у результаті якого визначаються діапазони положень дотичних та значень радіусів кривини у вихідних точках, при яких поставлена задача має розв'язок.

Мінімальний ланцюг, який визначає ділянку обводу другого порядку гладкості, складається з чотирьох БТ. Ланцюг БТ визначає проміжний розв'язок – обвід із дуг кривих Безьє, які стикуються з другим порядком гладкості. Далі оцінюється динаміка зміни радіусів кривини уздовж кривих Безьє, які визначаються кожним БТ. У випадку, якщо крива Безьє має точку зміни зростання та убуття радіусів кривини, всередині відповідного БТ процес згущення повторюється.

Отриманий у результаті згущень мінімальний ланцюг БТ визначає проміжне рішення – обвід, що складається з дуг кривих Безьє з монотонною зміною кривини, з'єднаних з другим порядком гладкості.

Розглянемо задачу оцінки швидкості зміни радіусів кривини вздовж ДПК за допомогою швидкості зміни радіусів кривини вздовж проміжного рішення (кривої Безьє).

Швидкість зміни радіусів кривини кривої Безьє в точках, що обмежують ділянку $M...N$, можна оцінити за допомогою швидкості зміни радіусів кривини вздовж ділянки:

$$\sigma_M^B = \sigma_N^B = \frac{\Delta R_{M...N}}{s_{M...N}} = \frac{R_N - R_M}{s_{M...N}},$$

де R_M та R_N – радіуси кривини кривої Безьє в точках M і N відповідно;
 $s_{M...N}$ – довжина ділянки $M...N$ кривої Безьє.

Дослідження властивостей кривої Безьє показали, що всередині ділянки, вздовж якої значення радіусів кривини змінюються монотонно, значення критерію $\sigma_M^B = \sigma_N^B$ також змінюються монотонно.

Точність, з якою значення $\sigma_M^B = \sigma_N^B$ представляють швидкість зміни радіусів кривини в граничній точці, залежить від величини ділянки $M...N$: при зменшенні довжини ділянки значення критерію прагне до шуканого значення.



У таблиці 1 представлений результат дослідження ділянки кривої Безьє, контрольний багатокутник якої заданий точками $P_0(-147;17)$, $P_1(-136;20)$, $P_2(-117;8)$. Параметр $0 \leq u \leq 1$ визначає положення точок M і N на кривій Безьє.

Таблиця 1

Результати дослідження властивостей кривої Безьє

Значення параметра		Радіус кривини в точках кривої Безьє		Довжина ділянки s , мм	Значення критерію $\sigma_M^B = \sigma_N^B$
u_M	u_N	R_M , мм	R_N , мм		
0	1	15.685	120.09	32.1431733	3.24812360
$u_N - u_M = 0.2$					
0	0.2	15.6849529	21.1680000	4.77211627	1.14897599
0.2	0.4	21.1680000	32.3503855	5.40320545	2.06958362
0.4	0.6	32.3503855	51.0853917	6.27040047	2.98784843
0.6	0.8	51.0853917	79.5532175	7.29021207	3.90493795
0.8	1	79.5532175	120.089561	8.40723906	4.82159999
$u_N - u_M = 0.01$					
0	0.01	15.6849529	15.8461009	0.22842023	0.70548916
0.01	0.02	15.8461009	16.0183301	0.22922241	0.75136294
0.02	0.03	16.0183301	16.2017520	0.23007205	0.79723680
0.03	0.04	16.2017520	16.3964841	0.23096861	0.84311042
...					
0.48	0.49	38.8209045	39.7211530	.309639310	2.90741020
0.49	0.50	39.7211530	40.6426217	.312015030	2.95328334
0.50	0.51	40.6426217	41.5855851	.314409561	2.99915618
0.51	0.52	41.5855851	42.5503188	.316822488	3.04502905
0.52	0.53	42.5503188	43.5370998	.319253369	3.09090235
...					
0.97	0.98	113.145543	115.424534	0.44207746	5.15518428
0.98	0.99	115.424534	117.739105	0.44501940	5.20105662
0.99	1	117.739105	120.089561	0.44796775	5.24693031

У точках стикування ділянок кривих Безьє, що складають проміжний розв'язок задачі, відбувається розрив значень критерію σ_i . Сформуємо ланцюг БТ, який визначає обвід, що складається з дуг кривих Безьє, в точках стикування яких величина розриву значень σ_i не перевищує заданої величини. У цьому випадку вважатимемо, що отриманий ланцюг БТ представляє ДПК, уздовж якого значення σ_i змінюються безперервно.

Швидкість зміни радіусів кривини ДПК у точці i оцінюватимемо за допомогою критерію σ_i кривою Безьє, яка містить цю точку. Для цього криву Безьє, яка визначається БТ($i, T, i+1$), подовжуємо за його межі (рис. 1).

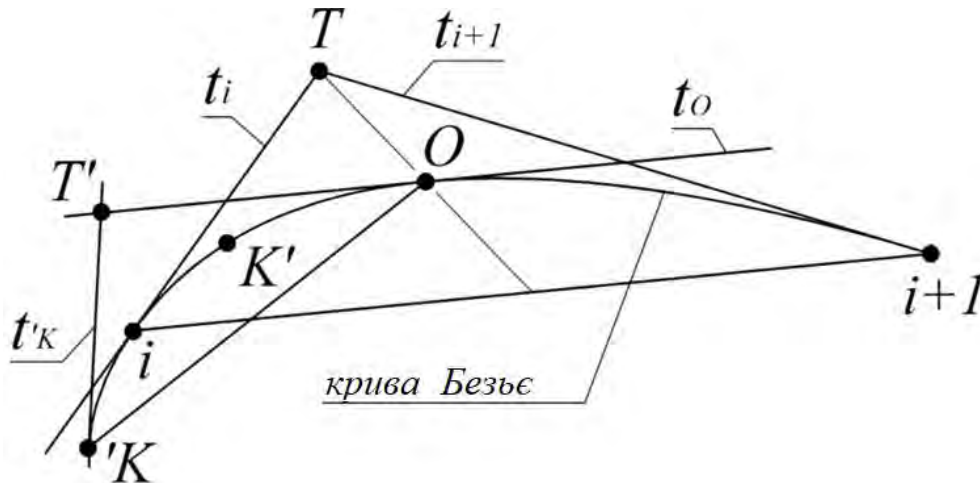


Рисунок 1. Визначення швидкості зміни радіусів кривини вздовж кривої Безьє

$$\sigma_i = \frac{1}{2} (' \sigma_i + \sigma_i '),$$

де $' \sigma_i = \frac{R_i - R_{K'}}{s_i}$ та $\sigma_i' = \frac{R_{K'} - R_i}{s_i'}$ – значення критерію швидкості зміни радіусів кривини кривої Безьє на ділянках $'K \dots i$ та $i \dots 'K$ відповідно;

R_i , $R_{K'}$ та R_K – радіуси кривини кривої Безьє в точках i , K та K' ,

s_i та s_i' – довжини ділянок кривих Безьє $'K \dots i$ та $i \dots 'K$.

Для того, щоб оцінити відхилення σ_i від шуканого значення, пропонується наступний спосіб:

- на кривій Безьє, що визначається БТ, призначається положення точок $'K$ та K' ;

- оцінюється різниця між значеннями σ_i , які визначаються вихідною точкою i та кожною з точок $'K$ та K'

$$\Delta \sigma_i = | ' \sigma_i - \sigma_i ' | = \left| \frac{R_i - R_{K'}}{s_i} - \frac{R_{K'} - R_i}{s_i'} \right|. \quad (1)$$



Якщо значення $\Delta\sigma_i$ не перевищує заданої величини ε ($\Delta\sigma_i \leq \varepsilon$), то вважатимемо, що значення критерію σ_i визначає із заданою точністю значення швидкості зміни радіусів кривини в точці i .

Для спрощення розрахунків довжину кривої Безьє на ділянці, обмеженій двома точками, приймемо рівній довжині хорди, яка з'єднує ці точки. Положення точок K та K' призначимо таким чином, щоб довжини хорд $[K; i]$ та $[i; K']$ були рівними, тобто $|K; i| = |i; K'| = l_i$.

Відповідно до зазначених умов критерій (1) матиме вигляд

$$\sigma_i = \frac{1}{2l_i} (R_{K'} - R_K).$$

Значення $R_{K'}$ та R_K визначаються за допомогою параметрів трикутника (K', T', O) , обмеженого дотичними до кривої Безьє в точках K' та O ($t_{K'}$ та t_O) і відрізком, що з'єднує ці точки.

Через параметри вказаного трикутника значення σ_i виражається формулою:

$$\sigma_i = \frac{1}{2l_i} \cdot \frac{(C^2 + D^2)^{\frac{3}{2}} \cdot |a \cdot B - c \cdot A| - 4(a^2 + c^2)^{\frac{3}{2}} \cdot |C \cdot B - D \cdot A|}{|(C \cdot B - A \cdot D) \cdot (a^2 \cdot B - c^2 \cdot A)|},$$

де $A = 2x_{K'} - 4x_{T'} + 2x_O$, $B = 2y_{K'} - 4y_{T'} + 2y_O$, $a = x_{T'} - x_{K'}$, $c = y_{T'} - y_{K'}$ – коефіцієнти, що залежать від параметрів трикутника (K', T', O) ;

$$C = -2(1-u)x_{K'} + 2(1-u)x_{T'} - 2ux_{T'} + 2ux_O,$$

$D = -2(1-u)y_{K'} + 2(1-u)y_{T'} - 2uy_{T'} + 2uy_O$ – коефіцієнти, що залежать від довжини хорди $[K; i]$.

Запропонований критерій може бути використаний для уточнення області розташування точки згущення при формуванні монотонної ДПК, уздовж якої значення критерію швидкості зміни радіусів кривини монотонно зростають або зменшуються.

Розглянемо ділянку ДПК $i \dots i+1$, у граничних точках якого БТ($i, T, i+1$) визначає призначені значення радіусів кривини $\vec{R}_i = R_i$, $\overleftarrow{R}_{i+1} = R_{i+1}$ та значення швидкості зміни радіусів кривини $\vec{\sigma}_i, \overleftarrow{\sigma}_{i+1}$.

Уздовж кривої Безьє, що визначається БТ, значення σ_i змінюються безперервно. Величина розриву значень критерію швидкості зміни радіусів кривини (Δ_i^R) визначається за формулою:



$$\Delta_i^R = \overleftarrow{\sigma}_i - \overrightarrow{\sigma}_i,$$

де $\overleftarrow{\sigma}_i$ та $\overrightarrow{\sigma}_i$ – значення критерію швидкості зміни радіусів кривини у точці i , які визначаються попереднім та наступним БТ відповідно.

Завдання подальших досліджень полягає у розробці алгоритму, який забезпечує зменшення значень Δ_i^R в раніше сформованих точках за рахунок виникнення розривів значень критерію σ_i в точках, які визначаються в процесі моделювання.

Внаслідок згущення на вихідній ділянці ДПК $i...i+1$ отримуємо два БТ згущення, що визначають криві Безьє, які повинні відповідати умовам:

1) розрив значень σ_i в точках, що обмежують ділянку, зменшується щодо вихідних значень;

2) у точці згущення величина розриву швидкості зміни радіусів кривини не перевищує величини максимального розриву значень σ_i у вихідних точках.

Задачу забезпечення заданої динаміки зміни σ_i вздовж ДПК вважатимемо розв'язаною, якщо максимальне значення Δ_i^R в точках ДПК не перевищує заданої точності ε .

Розглянемо способи керування значеннями σ_i в точках, що обмежують ділянку. Нехай вихідні положення t_{32}^l та i_{32}^l призначені виходячи з умов:

$$\begin{aligned} t_{32}^l & \text{ паралельна } [i; i+1]; \\ |i; T_1| & = |T_1; T|; \\ |T_1; i_{32}^l| & = |i_{32}^l; T_2|. \end{aligned}$$

БТ(i, T_1, i_{32}^l) та БТ($i_{32}^l, T_2, i+1$) визначають криві Безьє, у яких точки зміни зростання-зменшення радіусів кривини збігаються (на рис. 2 це точка F , розташована поза БТ). У точці згущення зазначені БТ визначають рівні значення критерію швидкості зміни радіусів кривини, тобто $\overleftarrow{\sigma}_{c2} = \overrightarrow{\sigma}_{c2}$.

Коригування положень t_{32}^l та i_{32}^l проводиться всередині діапазонів, що забезпечують другий порядок гладкості та монотонність зміни радіусів кривини вздовж кривої.

Якщо $t_{32}^{l'}$ переміщується у положення t_{32}^l , віддаляючись від заснування БТ $[i; i+1]$, то довжини сторін БТ згущення $[i; T_1]$, $[T_2; i+1]$ збільшуються, а $[T_1; i_{32}^l]$, $[i_{32}^l; T_2]$ зменшуються.

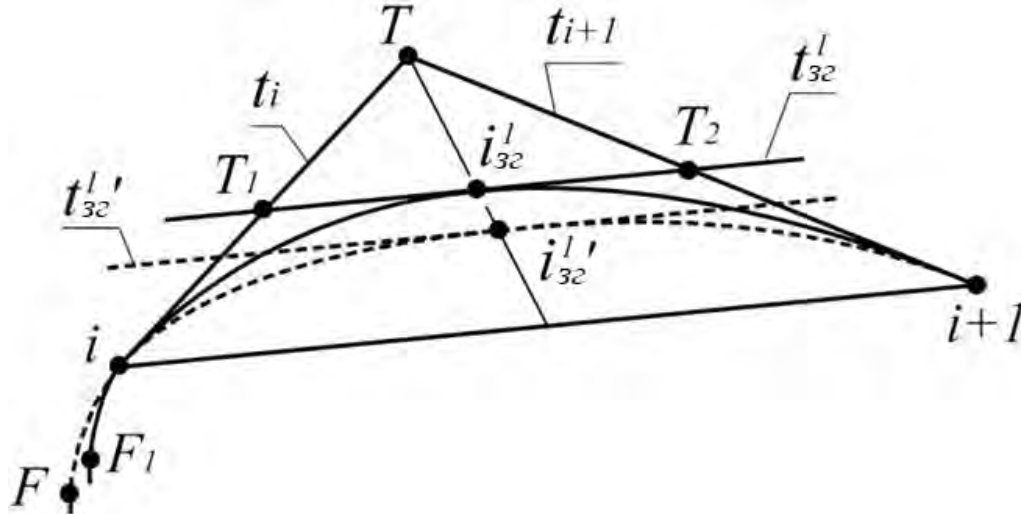


Рисунок 2. Коригування значень σ_i зміною положення t_{32}^l

При цьому БТ (i, T_1, i_{32}^l) та БТ $(i_{32}^l, T_2, i+1)$ визначають криві Безьє, у яких точки зміни зростання-зменшення радіусів кривини переміщуються щодо вихідного положення у напрямку до точки i (F_1) і від точки i (F_2) відповідно.

Значення \vec{R}_i^l , яке визначається параметрами БТ (i, T_1, i_{32}^l) , збільшується, а значення $\overset{\leftarrow}{R}_{32}^l$ – зменшується. Така зміна значень радіусів кривини в точках кривої призводить до зменшення приросту значень радіусів кривини на ділянці $i \dots i_{32}^l$. У цьому випадку значення $\overset{\rightarrow}{\sigma}_i$ та $\overset{\leftarrow}{\sigma}_{32}$, що визначаються в граничних точках параметрами БТ (i, T_1, i_{32}^l) , зменшуються.

При зазначеній зміні положення t_{32}^l значення радіусів кривини, що визначаються параметрами БТ $(i_{32}^l, T_2, i+1)$, змінюються таким чином:

значення \vec{R}_{32}^l зменшується, а значення $\overset{\leftarrow}{R}_{i+1}^l$ збільшується. Приріст значень радіусів кривини на ділянці $i_{32}^l \dots i+1$ збільшується. Таким

чином, значення $\vec{\sigma}_{32}$ і $\overleftarrow{\sigma}_{i+1}$, які визначаються параметрами БТ($i_{32}^l, T_2, i+1$) збільшуються.

Розмірковуючи аналогічно, можна показати, що під час переміщення t_{32}^l в напрямку до хорди БТ $[i, i+1]$ значення $\vec{\sigma}_i$ та $\overleftarrow{\sigma}_{32}$ збільшуються, а значення $\vec{\sigma}_{32}$ та $\overleftarrow{\sigma}_{i+1}$ – зменшуються.

Розглянемо механізм зміни значень σ_i при переміщенні i_{32}^l вздовж призначеної t_{32}^l .

Якщо точка згущення переміщується із положення $i_{32}^{l'}$ в i_{32}^l (рис. 3), то довжини сторін БТ згущення $[i; T_1]$, $[T_2; i+1]$ залишаються незмінними, довжина $[T_1; i_{32}^l]$ збільшується, а довжина $[i_{32}^l; T_2]$ зменшується. Точки зміни зростання-зменшення радіусів кривини на кривих Безьє (F_1 та F_2), які визначаються БТ(i, T_1, i_{32}^l) та БТ($i_{32}^l, T_2, i+1$), переміщуються у напрямку від точки i щодо вихідного положення F .

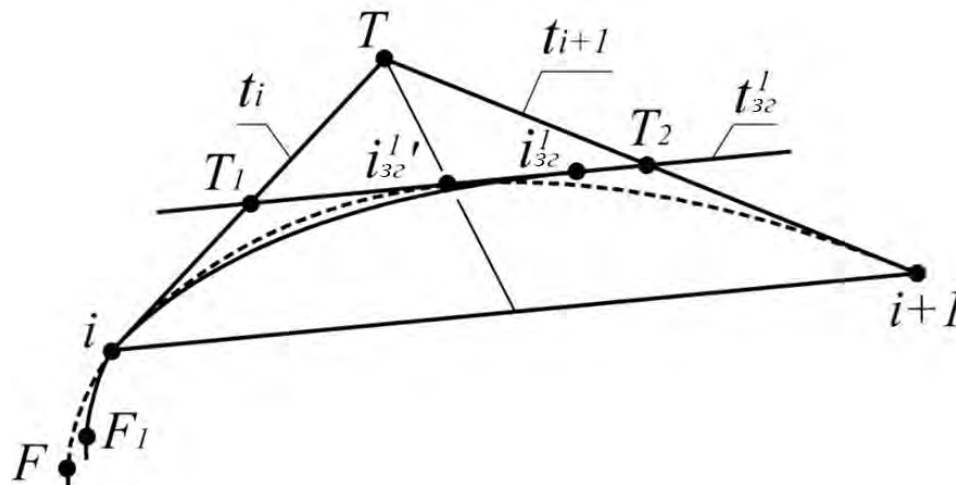


Рисунок 3. Коригування значень σ_i зміною положення i_{32}^l

Значення \vec{R}_i^l та \overleftarrow{R}_{32}^l , що визначаються в точках i та i_{32}^l параметрами БТ(i, T_1, i_{32}^l), зменшується та збільшується відповідно. Приріст значень радіусів кривини на ділянці $i \dots i_{32}^l$ збільшується. Таким чином, значення $\vec{\sigma}_i$ та $\overleftarrow{\sigma}_{32}$ збільшуються щодо вихідних значень.



При вказаному переміщенні i_{32}^l значення $R_{32}^{\rightarrow l}$ та $R_{i+1}^{\leftarrow l}$, які визначаються параметрами БТ($i_{32}^l, T_2, i+1$), зменшуються та збільшуються відповідно. Приріст значень радіусів кривини на ділянці $i_{32}^l \dots i+1$ та значення $\sigma_{32}^{\rightarrow}$, $\sigma_{i+1}^{\leftarrow}$ збільшуються.

Аналогічно можна показати, що під час переміщення i_{32}^l уздовж дотичної в напрямку точки i , значення σ_i^{\rightarrow} та σ_{32}^{\leftarrow} , $\sigma_{32}^{\rightarrow}$ та $\sigma_{i+1}^{\leftarrow}$ одночасно зменшуються.

Сформуємо мінімальний ланцюг БТ, який у точках i та $i+1$ забезпечує:

- 1) призначені значення радіусів кривини – R_i та R_{i+1} відповідно;
- 2) зменшення розривів значень $\sigma_i - \Delta_i^R$ та Δ_{i+1}^R .

Зменшення значень Δ_i^R та Δ_{i+1}^R проводиться за рахунок коригування значень σ_i у точках i та $i+1$. Залежно від співвідношення значень σ_i^{\rightarrow} , $\sigma_{i+1}^{\leftarrow}$, визначених БТ($i, T, i+1$), та значень σ_i^{\leftarrow} , $\sigma_{i+1}^{\rightarrow}$, визначених у цих точках попереднім та наступним БТ, можливі наступні варіанти коригування:

$$- \text{ якщо } \begin{cases} \sigma_i^{\rightarrow} < \sigma_i^{\leftarrow}; \\ \sigma_{i+1}^{\leftarrow} < \sigma_{i+1}^{\rightarrow}, \end{cases} \text{ або } \begin{cases} \sigma_i^{\rightarrow} > \sigma_i^{\leftarrow}; \\ \sigma_{i+1}^{\leftarrow} > \sigma_{i+1}^{\rightarrow}, \end{cases}, \text{ то значення } \sigma_i^{\rightarrow} \text{ та } \sigma_{i+1}^{\leftarrow}$$

необхідно одночасно збільшувати чи зменшувати;

$$- \text{ якщо } \begin{cases} \sigma_i^{\rightarrow} > \sigma_i^{\leftarrow}; \\ \sigma_{i+1}^{\leftarrow} < \sigma_{i+1}^{\rightarrow}, \end{cases}, \text{ то значення } \sigma_i^{\rightarrow} \text{ необхідно зменшити, а}$$

значення $\sigma_{i+1}^{\leftarrow}$ – збільшити, або навпаки.

Зменшення розривів значень σ_i в точках i та $i+1$ проводиться в процесі згущення всередині БТ($i, T, i+1$), а також всередині попереднього та наступного БТ. При цьому всередині БТ($i, T, i+1$) забезпечується наближення значень σ_i^{\rightarrow} та $\sigma_{i+1}^{\leftarrow}$ до значень $\sigma_i = \frac{1}{2}(\sigma_i^{\rightarrow} + \sigma_i^{\leftarrow})$ та $\sigma_{i+1} = \frac{1}{2}(\sigma_{i+1}^{\rightarrow} + \sigma_{i+1}^{\leftarrow})$ відповідно.

Значення σ_i в точках i та $i+1$ змінюються за рахунок вибору положень точок згущення та дотичних, які їм відповідають. Попередне

положення t_{32}^1 призначається по центру діапазону, визначеного виходячи з призначених значень R_i та R_{i+1} у вихідних точках та умови монотонної зміни радіусів кривини вздовж ділянок ДПК. Положення i_{32}^1 при заданому положенні t_{32}^1 призначається з урахуванням вимоги

$$\begin{cases} \rightarrow \\ R_i^2 = R_i; \\ \leftarrow \\ R_{i+1}^2 = R_{i+1}; \\ \leftarrow \quad \rightarrow \\ R_{32}^2 = R_{32}^2. \end{cases}$$

В результаті значення Δ_i^R та Δ_{i+1}^R , в точках, що обмежують ділянку, зменшуються, а в точці згущення виникає розрив значень $\sigma_i - \Delta_{32}^R = \overset{\rightarrow}{\sigma}_{32} - \overset{\leftarrow}{\sigma}_{32}$. Положення t_{32}^1 та i_{32}^1 призначаються таким чином, щоб величина Δ_{32}^R не перевищувала максимального значення з Δ_i^R та Δ_{i+1}^R . При цьому параметри БТ згущення у точці i_{32}^1 визначають значення $\overset{\leftarrow}{R}_{32}^1 \neq \vec{R}_{32}^1$, а в точках i та $i+1$ – значення \vec{R}_i^1 та $\overset{\leftarrow}{R}_{i+1}^1$, не рівні призначеним значенням R_i та R_{i+1} .

Коригування значень радіусів кривини в точках i , i_{32}^1 , $i+1$ виконується внаслідок проведення другого кроку згущення.

Положення t_{32}^2 всередині відповідних БТ призначаються паралельно стороні БТ, а точки i_{32}^2 та i_{32}^2 – на медіані БТ (рис. 4).

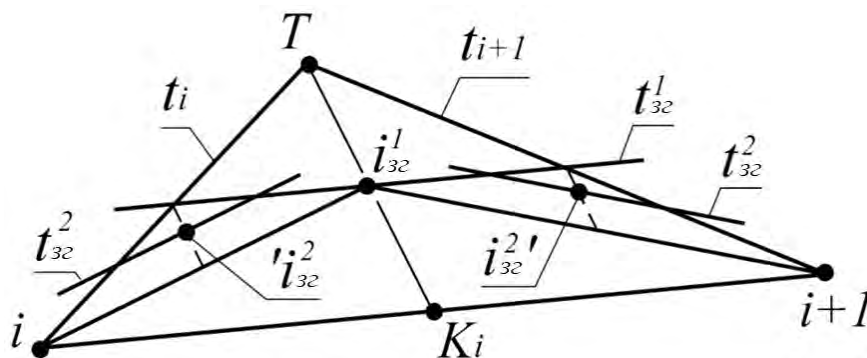


Рисунок 4. Призначення положень t_{32}^2 , i_{32}^2 та i_{32}^2

В результаті всередині БТ($i, T, i+1$) отримуємо ланцюг з чотирьох БТ, що забезпечують другий порядок гладкості та монотонної зміни

радіусів кривини вздовж ДПК. При цьому величини Δ_i^R та Δ_{i+1}^R зменшуються за рахунок виникнення розривів значень σ_i в точках i_{32}^2 , i_{32}^1 , i_{32}^2 .

Змінюючи положення t_{32}^1 всередині діапазону можливих положень можна отримати нескінченну кількість проміжних розв'язків задачі. Оптимальним вважатимемо таке положення t_{32}^1 , при якому максимальна величина розривів значень σ_i в точках i , i_{32}^2 , i_{32}^1 , i_{32}^2 , $i+1$ є мінімальною з можливих.

Для визначення оптимального положення t_{32}^1 пропонується наступний спосіб:

- діапазон можливих положень t_{32}^1 , яке забезпечує монотонну зміну радіусів кривини вздовж ділянки, (на рис. 5 це відрізок $[A; B]$) розбивається на рівні ділянки. Розмір ділянки визначається відстанню Δh від його кордону до меж діапазону $[A; B]$;
- для кожного положення t_{32}^1 , що визначається проходженням через межу ділянки, обчислюється максимальне значення з величин розривів значень σ_i у точках i , i_{32}^2 , i_{32}^1 , i_{32}^2 , $i+1$ (Δ_{\max}^R);

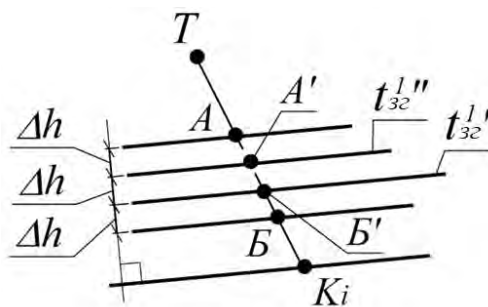


Рисунок 5. Призначення положення t_{32}^1

- визначаються два сусідні положення щодо першого кроку згущення ($t_{32}^{1'}$ та $t_{32}^{1''}$), при яких значення Δ_{\max}^R мінімальні. В результаті отримуємо відрізок $[A'; B']$ – уточнений діапазон положень t_{32}^1 , що забезпечують мінімальне значення Δ_{\max}^R . Якщо різниця між отриманими значеннями Δ_{\max}^R не перевищує заданої величини (наприклад, 10% від величини Δ_{\max}^R), то остаточне положення t_{32}^1 призначається всередині діапазону, обмеженого $t_{32}^{1'}$ та $t_{32}^{1''}$. В іншому випадку необхідно зменшити крок Δh та повторити описані дії.



В результаті згущення отримуємо новий ланцюг БТ, що визначає монотонну криву. Максимальна величина розриву значень σ_i у точках стикування ділянок на кожному кроці згущення послідовно зменшується. У разі коли максимальне значення Δ_i^R не перевищує заданої величини ε , вважатимемо, що ДПК, вздовж якої швидкість зміни радіусів кривини змінюється безперервно, сформована.

Висновки. Запропоновано алгоритм формування обводу другого порядку гладкості з монотонною зміною радіусів кривини з урахуванням додаткової вимоги – безперервний графік швидкості зміни радіусів кривини вздовж обводу. Обвід формується методом згущень на основі точкового ряду. Алгоритм передбачає зменшення величини розриву значень швидкості зміни радіусів кривини в точках стикування ділянок обводу за рахунок виникнення розриву всередині ділянки - точках стикування базисних трикутників згущення.

Застосування розробленого способу моделювання обводу дозволяє підвищити якість формування функціональних поверхонь виробів при вирішенні завдань зворотного інжинірингу, а також при формуванні поверхонь виробів, що взаємодіють із середовищем (лопаток турбін, робочих органів сільськогосподарських машин, каналів двигунів внутрішнього згоряння та ін.).

Список використаних джерел

1. Hosseini S. F., Moetakef-Imani B. Innovative approach to computer-aided design of horizontal axis wind turbine blades. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2017, Vol. 4, Iss. 2. P. 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2016.11.001>
2. Pérez-Arribas F., Trejo-Vargas I. Computer-aided design of horizontal axis turbine blades. *Renewable Energy*. 2012. Vol. 44. P. 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.100>
3. Fooladi M., Foroud A.A. Recognition and assessment of different factors which affect flicker in wind turbine. *IET Renewable Power Generation*. 2015. Vol. 1. P. 250–259. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2014.0419>
4. Pérez-Arribas F., Pérez-Fernández R. A B-spline design model for propeller blades. *Advances in Engineering Software*. 2018. Vol. 118. P. 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2018.01.005>
5. Peng Y. H., Yin Z.W. The algorithms for trimmed surfaces construction and tool path generation in reverse engineering. *Computers & Industrial Engineering*. 2008. Vol. 54. Iss. 3. P. 624–633. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.09.012>
6. Qawaqzeh M., Szafraniec A., Halko S., Miroshnyk O., Zharkov A. Modelling of a household electricity supply system based on a wind power



plant. *Przeegląd Elektrotechniczny*. 2020. Vol. 96. doi: 10.15199/48.2020.11.08

7. Yinling Ke, Shuqian Fan, Weidong Zhu, An Li, Fengshan Liu, Xiquan Shi. Feature-based reverse modeling strategies. *Computer-Aided Design*. 2006. Vol. 38. Iss. 5. P. 485–506. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2005.12.002>

8. Park H., Kim K., Lee S-C. A method for approximate NURBS curve compatibility based on multiple curve refitting. *Computer-Aided Design*. 2000. Vol. 32. Iss. 4. P. 237–252. [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(99\)00088-3](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(99)00088-3)

9. Hashemian A., Hosseini S. F. An integrated fitting and fairing approach for object reconstruction using smooth NURBS curves and surfaces. *Computers & Mathematics with Applications*. 2018. Vol. 76. Iss. 7. P. 1555–1575. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2018.07.007>

10. Weishi Li, Shuhong Xu, Jianmin Zheng, Gang Zhao. Target curvature driven fairing algorithm for planar cubic B-spline curves. *Computer Aided Geometric Design*. 2004. Vol. 21. Iss. 5. P. 499–513. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2004.03.004>

11. Farin G., Rein G., Sapidis N., Worsey A.J. Fairing cubic B-spline curves. *Computer Aided Geometric Design*. 1987. Vol. 4. Iss. 1–2. P. 91–103. [https://doi.org/10.1016/0167-8396\(87\)90027-6](https://doi.org/10.1016/0167-8396(87)90027-6)

12. Peng Lan; Zuqing Yu; Liang Du; Nianli Lu. Integration of non-uniform Rational B-splines geometry and rational absolute nodal coordinates formulation finite element analysis. *Acta Mechanica Solida Sinica*. 2014. Vol. 27. Iss. 5. P. 486–495. [https://doi.org/10.1016/S0894-9166\(14\)60057-4](https://doi.org/10.1016/S0894-9166(14)60057-4)

13. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Vershkov O., Naidysh A. Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technol.* 2018. Vol. 4(91). Iss. 1. P. 76–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123921>

14. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Halko S., Vershkov O., Bondarenko L., Suprun O., Miroshnyk O., Shchur T., Śrutek M., Gackowska M. Interpolation with Specified Error of a Point Series Belonging to a Monotone Curve. *Entropy*. 2021. Vol. 23. No. 493. <https://doi.org/10.3390/e23050493>

15. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Halko S., Vershkov O., Miroshnyk O., Suprun O., Dereza O., Shchur T., Śrutek M. Representation of a Monotone Curve by a Contour with Regular Change in Curvature. *Entropy*. 2021. Vol. 23. No. 923. <https://doi.org/10.3390/e23070923>

16. Hashemian A., Imani B.M. Surface fairness: a quality metric for aesthetic assessment of compliant automotive bodies. *Journal of Engineering Design*. 2018. Vol. 29. Iss. 1-2. P. 41–64. <https://doi.org/10.1080/09544828.2018.1435853>

17. Kholodniak Yu., Havrylenko Ye., Pykhtieieva I., Shcherbyna V. Design of Functional Surfaces in CAD System of SolidWorks via



Specialized Software. Modern Development Paths of Agricultural Production. Cham. 2019. P. 63–74. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_7

Стаття надійшла до редакції 09.03.2023 р.

Y. Kholodniak, Y. Havrylenko, O. Zinovieva
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

DEVELOPMENT OF THE MODELING ALGORITHM OF CURVES ACCORDING TO THE GIVEN PROPERTIES

Summary

The method that allows to provide a continuous graph of the rate of change of the radiuses of curvature along the contour, is developed in this article. The contour is formed as a curve represented by an ordered set of points (discretely represented curve). In addition to the initial point set, the determinant of the discretely presented curve includes its differential geometric characteristics. These characteristics are provided at the modeling process. The discretely represented curve is formed by the method of discrete interpolation (densification of points), which involves determining the position of intermediate points for the original point set.

The rate of change of the radiuses of curvature of a discretely represented curve is estimated by the rate of change of the radiuses of curvature along the Bezier curve, which is determined by the basic triangle. The accuracy with which the value of the specified criterion represents the rate of change of the radiuses of curvature of a discretely represented curve depends on the size of the section bounded by two consecutive points of the curve: as the length of the section decreases, the value of the criterion approaches the desired value. A study of the properties of the Bezier curve was conducted, as a result of which it was proved that within the section along which the values of the radiuses of curvature change monotonically, the values of the criterion for evaluating the rate of change of the radii of curvature also change monotonically. A criterion for estimating the magnitude of the discontinuity of the rate of change of the radiuses of curvature of a discretely represented curve is proposed. The reduction of gaps in the criterion values is carried out in the process of condensation within the corresponding base triangle, as well as within the previous and subsequent triangles. In the process of successive thickenings, the maximum value of the gap in the values of the rate of change of the radii of curvature is successively reduced. In the case when the maximum value of the discontinuity does not exceed the specified value, a discrete curve is formed, along which the rate of change of the radii of curvature varies continuously. The application of the developed contour modeling method allows to improve the quality of the formation of functional surfaces of products when solving reverse engineering tasks, as well as when forming the surfaces of products that interact with the environment (blades of turbines, working bodies of agricultural machines, channels of internal combustion engines, etc.).

Key words: algorithm, surface frame, outline, differential geometric characteristics, curvature



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-42

УДК 004.94

Д. В. Лубко, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2506-4145

О. Г. Зінов'єва, ст.викл.

ORCID: 0000-0003-3760-8952

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: dmytro.lubko@tsatu.edu.ua

ПРОЕКТУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ЗЕРНОВОГО ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація. Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується значним зростанням обсягу перевезення вантажів. На транспортні процеси припадає до 35% всіх затрат праці і до 40% затрат енергії. На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва основу транспортних засобів становить автомобільний транспорт. На внутрішньогосподарських перевезеннях поряд з автомобільним транспортом широко використовують тракторний транспорт. Значний обсяг, особливо у весняно-літній і осінній періоди, припадає на перевезення продукції галузі рослинництва, де необхідний технологічний транспорт для того, щоб об'єднати функції транспортних і технологічних машин (збирання зернових, цукрового буряку, кукурудзи, заготівля сіна, соняшнику, силосу тощо).

Особлива роль транспорту в сільськогосподарському виробництві пояснюється тим, що транспорт разом з агрегатами безпосередньо бере участь у виконанні технологічних процесів, операцій. Від правильної організації перевезень, оснащеності сільськогосподарських підприємств сучасними транспортними засобами та їх ефективного використання залежить своєчасність виконання сільськогосподарських робіт у встановлені агростроки, продуктивність і рівень собівартості продукції.

В роботі було виконано проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу з використанням системи моделювання GPSS (General Purpose Simulating System). За допомогою GPSS ми можемо створювати моделі як у безперервному середовищі, так і в дискретному. Розроблена модель буде використана для проведення експериментального дослідження роботи зернового збирально-транспортного комплексу за різних сценаріїв. Експеримент буде супроводжуватися статистичним опрацюванням результатів. Це моделювання дасть можливість покращити ефективність та якість



роботи зернового збирально-транспортного комплексу.

На підставі проведеного дослідження проектування імітаційної моделі зернового збирально-транспортного комплексу було визначено, що при використанні 7 транспортних засобів для 7 зернозбиральних комбайнів завантаженість транспортних засобів дорівнює 99,3%, що є дуже гарним показником ефективності роботи даного комплексу.

Ключові слова: імітаційна модель, проектування, зерновий збирально-транспортний комплекс, блок-схема роботи, GPSS.

Постановка проблеми. Нестача транспортних засобів у рослинництві призвела до унеможливлення виконання необхідних обсягів транспортних робіт в оптимальні строки, особливо на збиранні врожаю сільськогосподарських культур. Несвоєчасні перевезення у сільському господарстві призводять до порушення технології виробництва сільськогосподарської продукції та втрат зібраного врожаю до 30-50%. Через нестачу транспортних засобів на збиральних роботах простоювання збиральних машин може сягати 30-40% змінного часу, тому необхідна правильна організація збиральних робіт, що залежить від основних та другорядних чинників.

Тривалість збирання зернових культур залежить від: наявності, технічного стану та роботоздатності збиральної техніки, транспортних засобів, організації роботи збирально-транспортних комплексів, погодних умов і інших факторів [1]. У період збирання зернових велика кількість комбайнів простоє з технічних причин, що збільшує строк виконання робіт і приводить до великих втрат зерна. В загальній проблемі підвищення роботоздатності техніки збирально-транспортних комплексів на збиранні зернових культур поставлена задача скорочення простоїв комбайнів з організаційних, технологічних та технічних причин, внаслідок чого – збільшення їх продуктивності. Комплексне вирішення цієї проблеми можливо шляхом обґрунтування термінів проведення збиральних робіт з допустимими витратами врожаю, оптимізацією структури та складу технологічних і транспортних ланок, обґрунтуванням раціонального резерву запасних частин на різних рівнях зберігання та організацією ремонтно-технічних дій під час збирання [1].

Важливим під час збирання врожаю є не допустити простоювання зернозбиральних машин через відсутність транспортних засобів, або ж простоювання самих транспортних засобів. Уникнути цього можна завдяки правильній організації збирально-транспортних робіт, для чого розраховують необхідну кількість зернозбиральної техніки (власної чи залученої), робота якої не допустить її простоювання.

Оперативне управління комплексом збирально-транспортних робіт вимагає від його організаторів ліквідації простоїв



зернозбиральних комбайнів і автотранспортних засобів та узгодження технологічних параметрів обслуговуючих механізмів. Головний результат злагодженої роботи збирально-транспортних комплексів господарств полягає в визначенні оптимальних термінів збирання врожаю та розрахунку взаємної відповідності технічних параметрів агрегатів і механізмів комплексу [2].

При збільшенні відстані перевезень і використанні високопродуктивних транспортних засобів для забезпечення їх безперебійної роботи в виробничих умовах відбувається необґрунтоване збільшення технічних засобів при їх наявності, що веде до простоїв останніх. Збільшення тривалості операцій призводить до зменшення ефективності використання як збиральних машин, так і транспортних засобів [3].

Аналіз останніх досліджень. Питаннями аналізу роботи зернового (і не тільки) збирально-транспортного комплексу та обґрунтування його складу, особливостей та визначення технічних характеристик, а також принципами покращання та поліпшення ефективності роботи таких комплексів в сучасних умовах було частково розкрито в працях таких закордонних науковців, як Rogovskii I. L. [4], Arifin Moh Zainal [5], Kleijnen J. P. C. [6], Harchol-Balter M. [7], Villarreal Gonzalo Luján [8].

Зараз багато і вітчизняних науковців також активно займаються теоретичними та практичними аспектами імітаційного моделювання та проблематикою роботи збирально-транспортних комплексів, а це вчені: Лубко Д. В. [9], Зінов'єва О. Г. [9], Шаров С. В. [9], Кравець І. О. [10], Загорянський В. Г. [11], Гайкова Т. В. [11], Хорольський В. Л. [11], Кузєв І. О. [11], Домущі Д. [1], Петрик А. В. [2], Мамука Б. [3].

Проте сучасне становище даної проблемної області визначає необхідність ще більших досліджень та пошук оптимальних рішень щодо покращання ефективності роботи таких комплексів у житті.

Також, не зважаючи на значну кількість праць присвячених вивченню даної проблематики, чимало питань залишаються досі не вирішеними і потребують переосмислення та корегування.

Формулювання цілі статті. Мета даної роботи виконати проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу для покращання показника ефективності його роботи.

Основна частина. Автомобільний транспорт є основним видом транспорту в сільському господарстві, на частку якого припадає до 80% всього обсягу перевезень. Транспортні витрати займають в загальному обсязі витрат на виробництво сільськогосподарської продукції значне місце – в собівартості сільськогосподарської продукції складають 15...40% [11].



При визначенні потрібної кількості автомобілів для обслуговування зернозбиральних комбайнів у складі збирально-транспортного комплексу для відповідних природно-кліматичних умов за відомими методиками невідомо, чи буде при даному співвідношенні комбайнів і автомобілів досягнута ефективна робота збирально-транспортного комплексу, тобто чи комбайни будуть наповнювати бункери зерном, а автомобілі своєчасно транспортувати зерно на тік або склади господарства.

Під час руху по полю зернозбиральних комбайнів у складі збирально-транспортного комплексу постійно виникають заявки на обслуговування (розвантаження бункерів наповнених зерном в кузов автомобіля). Після задоволення заявки на обслуговування (розвантаження бункера) комбайн продовжує роботу і виникають нові заявки. Різноманіття факторів, що впливають на хід збирально-транспортних операцій, визначає імовірнісний характер процесу, що, в свою чергу, зумовлює технологічні простой автомобілів в очікуванні розвантаження. Якщо технологічно необхідна величина простоїв автомобілів в очікуванні навантаження не враховується при визначенні потреби в рухомому складі при комплектуванні збирально-транспортних бригад, будуть простоювати комбайни, в результаті чого їх вироблення знизиться на 10–15% [11].

Основна вимога до побудови поточних процесів збирання врожаю є в забезпеченні роботи зернозбиральних (та інших) комбайнів без простоїв з причин відсутності транспортних засобів.

Такі системи вивчають шляхом моделювання. У нашому випадку імітаційне моделювання передбачало розробку алгоритму моделювання та використання «системи моделювання дискретних систем» (GPSS), розробленої математиками університету штату Мічиган, яка є найбільш поширеною системою імітаційного моделювання у світовій практиці.

Процес імітації – це проведення обчислювальних експериментів з моделями, які представлені як деякий набір комп'ютерних програм, виконаних, наприклад, у пакеті GPSS World. Порівняння характеристик (конструкцій, управлінь) об'єкта, що моделюється, здійснюється шляхом варіантних прорахунків. Особливу роль має можливість багаторазового відтворення модельованих процесів з подальшою їхньою статистичною обробкою, що дозволяє враховувати випадкові зовнішні впливи на об'єкт, що вивчається. На основі статистики, що набирається в ході комп'ютерних експериментів, робляться висновки на користь того чи іншого варіанту функціонування, або конструкції реального об'єкта, або сутності явища.

У складі збирально-транспортного ланки – m зернозбиральних комбайнів. У процесі збирання зернових культур вони стають



джерелом потоку заявок обслуговування у вигляді наповнених зерном бункерів. Для вивезення зерна необхідно передбачити транспортні засоби (канали обслуговування)

Для визначення технологічно необхідного часу простою автомобілів в очікуванні навантаження застосовується математичний апарат теорії масового обслуговування. У математичній моделі збирально-транспортна бригада (комплекс) представляється як системи масового обслуговування з очікуванням, у якій обслуговуючим апаратом є автомобіль, тим, що обслуговується - комбайн. Система масового обслуговування замкнута, з обмеженою кількістю автомобілів. При роботі комбайнів постійно виникають замовлення на обслуговування (розвантаження наповнених зерном бункерів). Після розвантаження бункеру (задоволення вимоги на обслуговування) комбайн продовжує роботу і виникають нові вимоги. Тому систему «комбайни-автомобілі» слід розглядати як замкнуту систему масового обслуговування, в якій виникає заявок на обслуговування в одиницю часу. При цьому кожен автомобіль (канал обслуговування) може задовольнити в одиницю часу μ заявок.

У сільськогосподарському виробництві найбільшого поширення набули системи масового обслуговування з очікуванням. Це такі системи, в яких заявка, що надійшла в момент часу (всі канали обслуговування зайняті), стає в чергу і чекає, поки не звільниться канал. Так, комбайн з наповненим бункером не залишає систему і чекає на черговий автомобіль для вивантаження зерна

Вимога, що надійшла в систему (зупинка комбайна з повним бункером), якщо застає все автомобілі зайнятими завантаженням інших комбайнів, змушене чекати своєї черги до тих пір, поки не звільниться один з автомобілів. Після обслуговування (розвантаження бункера) комбайни через деякий час знову стають на обслуговування.

Опишемо докладно принцип роботи розробленої нами імітаційної моделі. Структурна схема розробленої програми моделювання наведена на рисунку 1.

Моделювання починається, коли транзакт (комбайн) приступає до збирання. Каналами обслуговування є транспортні засоби. Система є замкнутою багатоканальною системою масового обслуговування. Потік вимог (заявок) обслуговування в ній характеризується інтенсивністю - λ , а пропускна спроможність каналів обслуговування заявок - інтенсивністю обслуговування - μ .

Комбайн, заповнений зерном, становиться в чергу (CHER) на очікування вільного транспортного засобу.

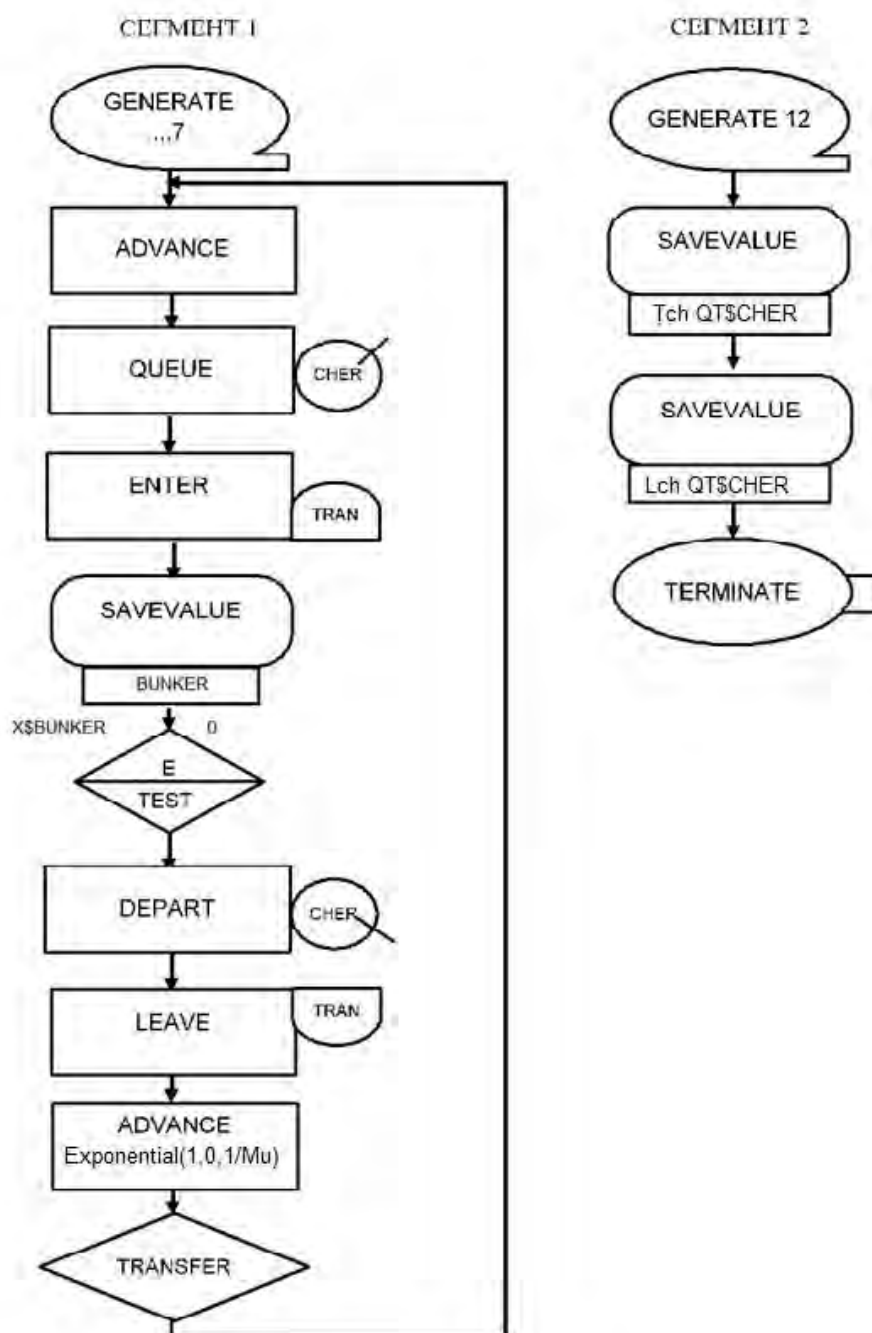


Рисунок 1. Структурна схема імітаційної моделі

При входженні в пристрій обслуговування TRAN він розміщує в BUNKER (комірку пам'яті) одиницю і затримується до тих пір, поки ця комірка не буде дорівнювати нулю (рис. 1).

Виявивши порожній BUNKER, комбайн одразу ж виходить з пристрою і звільняє місце наступному. Статистика очікування транспорту для комбайнів збирається за допомогою блоку CHER. Далі, після затримки на розвантаження, транзакт повертається в початок циклу. Після закінчення зміни, транзакти видаляються з моделі (імітація закінчення роботи).



За допомогою блоків SAVEVALUE $T_p(QT\$CHER+1/Mu)$ і SAVEVALUE Lch QA\$CHER визначаються відповідно час очікування комбайнів в черзі та середня довжина черги, тобто кількість комбайнів, які очікують транспортний засіб (рис. 1).

Примітка. В даній моделі ми не враховуємо перевезення транспортними засобами зерна на приймальний пункт і розвантаження їх, хоча для повноти експерименту необхідно врахувати всі фактори. Ми обмежимося тільки розподілом комбайнів за транспортними засобами.

Відповідно до цієї блок-схеми програмний код в пакеті GPSS буде виглядати наступним чином (дивись нижче).

Лістинг коду програми:

```
In EQU 15.85
Mu EQU 1.79
TRAN STORAGE 9
GENERATE , , , 7
A ADVANCE (Exponential(1,0,1/In))
  QUEUE CHER
  ENTER TRAN
  SAVEVALUEBUNK,1
  TEST E X$BUNK,0
  DEPART CHER
  LEAVE TRAN
  ADVANCE (Exponential(1,0,1/Mu))
  TRANSFER ,A
  GENERATE 12
  SAVEVALUE  $T_p(QT\$CHER+1/Mu)$ ; середній час простою техніки
  SAVEVALUE Lch QA$CHER; середня довжина черги
  TERMINATE 1
```

Після прогону моделі ми отримуємо дані про кількість входів транзактів в кожен блок моделі, коефіцієнт завантаженості каналів обслуговування, середній час перебування транзактів в моделі, середню кількість транзактів, що очікують на обслуговування.

Фрагмент лістингу роботи програми наведено на рисунку 2.

З результатів роботи розробленої програми у системі моделювання GPSS видно, що при використанні 7 транспортних засобів для 7 зернобиральних комбайнів завантаженість транспортних засобів дорівнює 99,3% (0,993). При цьому в середньому за зміну 6,9 комбайнів очікують вивантаження зерна, що свідчить про недостатність транспортних засобів для обслуговування комбайнів.

Висновки. Виконано проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу за допомогою системи



QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
CHER	7	7	7	0	6.953	11.919	11.919	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
TRAN	7	0	0	7	7	1	6.953	0.993	0	0

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
BUNKER	7	1.000
TP	0	12.478
LCH	0	6.953

FEC	XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
9	0		24.000	9	0	11		

Рисунок 2. Фрагмент лістингу роботи розробленої програми

імітаційного моделювання GPSS.

На підставі проведеного проектування імітаційної моделі зернового збирально-транспортного комплексу було визначено, що при використанні 7 транспортних засобів для 7 зернозбиральних комбайнів завантаженість транспортних засобів дорівнює 99,3% (0,993), що є гарним показником поліпшення ефективності роботи даного комплексу.

Список використаних джерел:

1. Домуші Д., Устюянов П., Єнакієв Ю., Ліпін А. Ефективність використання збирально-транспортних комплексів по експлуатаційним та енергетичним показникам. 2019.
2. Петрик А. В. Формування оптимальної інфраструктури транспортних систем в агропромисловому виробництві. *Вісник Національного транспортного університету*. 2013. №28. С. 371–379.
3. Мамука Б. Методи обґрунтування параметрів збирально-транспортних комплексів. Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура». 2019. С. 32.
4. Rogovskii I. L. Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.
5. Arifin Moh Zainal. Applications of Queuing Theory in the Tobacco Supply. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015, Volume 3. P. 255–261
6. Kleijnen J. P. C. Sensitivity Analysis of Simulation Models. *CentER Discussion Paper Series*. 2009. Vol. 11. P. 15. URL: <http://ssrn.com/abstract=1340449>



7. Harchol-Balter M. Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queueing Theory in Action. *Cambridge University Press, Cambridge*. 2013. P. 576.

8. Villarreal Gonzalo Luján, De Giusti Marisa y Texier, José (2013). GPSS Interactive Learning *Environment. The Online Journal of New Horizons in Education*, vol. 3, no. 1 Pages 32–39. URL: <https://www.aacademica.org/marisa.de.giusti/23>

9. Лубко Д. В., Шаров С. В., Зінов'єва О. Г. Проектування імітаційної моделі роботи технологічної лінії очищення гною на тваринницькій фермі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2022. Т. 33(72). №3. С. 56–60.

10. Кравець І. О. Імітаційне моделювання: навч. посіб. до виконання практ. робіт із дисциплін «Моделювання систем» та «Ситуаційні моделі». Чорномор. держ. ун-т ім. Петра Могили. Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. 107 с.

11. Загорянський В. Г., Гайкова Т. В., Хорольський В. Л., Кузев І. О. Моделювання складу збирально-транспортного комплексу для врожаю зернових як системи масового обслуговування. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2019. №2. С.146–151.

Стаття надійшла до редакції 05.04.2023 р.

D. Lubko, O. Zinovieva

Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

DESIGN OF A SIMULATION MODEL OF GRAIN HARVESTING AND TRANSPORTATION COMPLEX

Summary

Modern agricultural production is characterized by a significant increase in the volume of cargo transportation. Transport processes account for up to 35% of all labor costs and up to 40% of energy costs. At the current stage of development of agricultural production, the basis of means of transport is road transport. Along with road transport, tractor transport is widely used for intra-farm transportation. A significant volume, especially in the spring-summer and autumn periods, is accounted for by the transportation of crop production products, where technological transport is necessary in order to combine the functions of transport and technological machines (harvesting of grain, sugar beet, corn, harvesting hay, sunflower, silage etc).

The special role of transport in agricultural production is explained by the fact that transport, together with aggregates, directly participates in the execution of technological processes and operations. The timeliness of agricultural work within the established agricultural terms, productivity and the level of production cost depend on the correct organization of transportation, the equipment of agricultural enterprises with modern means of transport and their effective use.



The design of the simulation model of the operation of the grain collection and transport complex using the GPSS (General Purpose Simulating System) modeling system was carried out. With GPSS, we can create models in both continuous and discrete environments. The developed model will be used to conduct an experimental study of the operation of the grain collection and transport complex under various scenarios. The experiment will be accompanied by statistical processing of the results. This simulation will provide an opportunity to improve the efficiency and quality of work of the grain collection and transport complex.

On the basis of the conducted study of the design of the simulation model of the grain harvesting and transport complex, it was determined that when using 7 vehicles for 7 grain harvesters, the load of the vehicles is equal to 99.3%, which is a very good indicator of the efficiency of this set.

Key words: simulation model, design, grain collection and transport complex, block diagram of work, GPSS.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-43

УДК 378.091.33:004.421

Ю. О. Сіциліцин^{1,2}, Ph. D.

ORCID: 0000-0002-3888-5575

¹Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: yurii.sitsilitsin@tsatu.edu.ua, тел.: 067-972-04-38

ВИКОРИСТАННЯ AWS І HEROKU ДЛЯ РОЗРОБКИ ПАРАЛЕЛЬНИХ І РОЗПОДІЛЕНИХ ДОДАТКІВ В УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ ЛАБОРАТОРІЯХ

Анотація. У цій статті досліджується використання хмарних сервісів, зокрема Amazon Web Services (AWS) і Heroku, для розробки паралельних і розподілених додатків в університетських лабораторіях. Зі зростанням попиту на високопродуктивні обчислення та обробку даних, паралельні та розподілені додатки стали критично важливими для досліджень та освіти в різних галузях. AWS та Heroku надають економічно ефективні та гнучкі рішення для розгортання та управління цими додатками.

У статті наведено огляд серверів AWS і Heroku та їхніх переваг для розробки паралельних і розподілених додатків. Вона також описує реалізацію проекту паралельного програмування з використанням серверів AWS і Heroku і порівнює ці дві реалізації з точки зору ціни, масштабованості, простоти використання і співпраці з університетами.

Результати цієї статті можуть допомогти дослідникам і викладачам в університетських лабораторіях використовувати хмарні сервіси для своїх потреб у паралельних і розподілених обчисленнях. Результати показують, що і AWS, і Heroku є життєздатними варіантами для розробки і розгортання паралельних і розподілених додатків, з їх власними унікальними перевагами і обмеженнями.

Ключові слова: хмарні сервіси, паралельні і розподілені обчислення, AWS, Heroku.

Постановка проблеми. Через війну на сході України та пандемію COVID-19, очна форма навчання в університетах стала значно ускладненою. Особливо це стосується занять з паралельного програмування, які потребують спеціального обладнання та програмного забезпечення. Зараз, багато українських університетів



перейшли на дистанційну форму навчання, що вимагає від студентів власного комп'ютера та інтернету. Проте, заняття з паралельного програмування потребують використання спеціалізованих програмних засобів та обладнання, яке не є доступним у всіх студентів. Навчальний процес з паралельного програмування передбачає роботу з потужними обчислювальними системами, такими як кластери та суперкомп'ютери. Ці системи необхідні для вирішення складних завдань, які потребують виконання одночасно багатьох різних обчислень. Окрім того, паралельне програмування потребує спеціальних знань та навичок, які студенти отримують на практичних заняттях з використанням спеціальних програмних засобів та обладнання.

Використання хмарних сервісів може бути рішенням проблеми з проведенням занять з паралельного програмування в умовах війни та пандемії COVID-19. Хмарні сервіси - це комп'ютерні ресурси та програмне забезпечення, які надаються через Інтернет. Вони можуть бути використані для вирішення складних завдань без необхідності наявності спеціального обладнання на локальному комп'ютері студента.

AWS (Amazon Web Services) – це хмарна платформа, яка надає широкий спектр обчислювальних ресурсів і послуг, включаючи віртуальні сервери, бази даних, сховище та мережеві можливості [1]. Він пропонує інфраструктуру на вимогу, яку можна легко збільшити або зменшити відповідно до мінливих потреб програми. AWS широко використовується для розміщення веб-додатків, обробки та зберігання даних.

Heroku – це хмарна платформа, призначена для розгортання, керування та масштабування веб-додатків [2]. Він надає розробникам повністю керовану платформу, яка абстрагує інфраструктуру та дозволяє їм зосередитися на створенні та розгортанні своїх програм. Heroku підтримує різноманітні мови програмування, такі як Ruby, Node.js, Python і Java. Він особливо популярний серед стартапів і малих підприємств через простоту використання та можливості швидкого розгортання.

І AWS, і Heroku є хмарними платформами, які надають інфраструктуру та сервіси, які можна використовувати для створення, розгортання та масштабування веб-додатків. Однак вони відрізняються моделями ціноутворення, масштабованістю та гнучкістю. AWS, як правило, складніший і пропонує ширший спектр послуг, тоді як Heroku простіший і більше орієнтований на швидку розробку та розгортання додатків.

Паралельні та розподілені програми важливі, оскільки вони дозволяють ефективно обробляти великі обсяги даних і виконувати складні обчислення [3]. Традиційні обчислювальні системи, які



покладаються на один процесор або сервер, можуть не впоратися з вимогами до обробки сучасних програм, таких як аналітика великих даних, машинне навчання та наукове моделювання. З іншого боку, паралельні та розподілені обчислювальні архітектури розподіляють робоче навантаження між кількома процесорами, серверами або навіть різними географічними розташуваннями, що забезпечує швидший час обробки, вищу пропускну здатність і кращу масштабованість.

За допомогою хмарних сервісів студенти зможуть віддалено працювати з потужним обладнанням та програмним забезпеченням, які не є доступними на їх локальному комп'ютері. Також, використання хмарних сервісів дозволить проводити практичні заняття з паралельного програмування на дистанційній формі навчання.

Отже, використання хмарних сервісів може бути корисним для студентів, які вивчають паралельне програмування та шукають зручний спосіб для розгортання своїх додатків та програм.

Аналіз останніх досліджень. В проаналізованих наукових роботах наведені основні положення щодо використання хмарних технологій при викладанні інформатики [4]. Автори обговорюють важливість хмарних технологій у сучасному світі та необхідність навчання майбутніх вчителів цим технологіям. Стаття містить детальну методику викладання хмарних технологій, включаючи використання практичних вправ, кейсів та проектного навчання. У статті [5] розглянуто питання вибору хмаро орієнтованих технологій навчання для формування професійних компетентностей бакалаврів зі спеціальності "Статистика". Автори описують важливість хмарних технологій у сучасній статистиці та необхідність для викладачів навчати студентів цим технологіям. У статті наведено детальну методологію відбору хмаро орієнтованих технологій навчання та розглянуто переваги використання цих технологій у статистичній освіті. У статті [6] представлено RMI-додаток для Amazon Web Services (AWS) у розподілених хмарних обчисленнях, заснований на програмуванні сокетів (Remote Method Invocation). Автори описують розробку та реалізацію додатку, який дозволяє користувачам виконувати розподілені обчислювальні завдання на AWS. У статті обговорюються переваги використання AWS для розподілених обчислень і важливість ефективних комунікаційних протоколів у таких системах.

Формулювання мети статті. Дослідити використання серверів AWS і Heroku для розробки паралельних і розподілених програм в умовах університетської лабораторії.

Основна частина. Паралельні та розподілені програми — це типи програмних програм, які призначені для одночасного виконання завдань на кількох обчислювальних ресурсах. Паралельні обчислення



включають поділ великого обчислення на менші завдання, які можуть виконуватися одночасно на кількох процесорах, таким чином зменшуючи загальний час виконання. Розподілені обчислення, з іншого боку, передбачають розподіл обчислень між декількома комп'ютерами, які з'єднані через мережу, що дозволяє розподіляти робоче навантаження та обробляти його паралельно.

Паралельні та розподілені програми пропонують кілька переваг, таких як покращена продуктивність, масштабованість і відмовостійкість. Розподіляючи робоче навантаження між кількома ресурсами, ці програми можуть досягти швидшого часу обробки та більшої пропускну здатності, що робить їх ідеальними для завдань, які вимагають високої продуктивності обчислень. Крім того, за потреби ці програми можна збільшити або зменшити, що забезпечує гнучкий розподіл ресурсів і ефективне використання обчислювальних ресурсів.

Однак розробка паралельних і розподілених програм може бути складною, оскільки вимагає спеціальних знань і досвіду в таких сферах, як паралельні алгоритми, розподілені системи та високопродуктивні обчислення. Крім того, керування інфраструктурою, необхідною для підтримки цих програм, як-от сервери, мережі та сховище, може бути складним і трудомістким. Саме тут хмарні сервіси, такі як AWS і Heroku, можуть запропонувати значні переваги, оскільки вони забезпечують масштабовану, гнучку та просту у використанні платформу для розгортання та керування паралельними та розподіленими програмами.

Розробка паралельних і розподілених програм може бути складною з кількох причин [7].

Складність: Паралельні та розподілені програми за своєю суттю складніші, ніж традиційні програми. Вони вимагають спеціальних знань і навичок у таких сферах, як паралельні алгоритми, розподілені системи та високопродуктивні обчислення.

Управління ресурсами: розробка паралельних і розподілених програм вимагає керування великою кількістю обчислювальних ресурсів, таких як сервери, мережі та сховище. Це може бути складним і тривалим, а також вимагає ретельного планування та координації.

Масштабованість: Паралельні та розподілені програми повинні мати можливість масштабуватись у міру необхідності, щоб справлятися зі змінними навантаженнями. Це вимагає ретельного проектування та реалізації, щоб гарантувати, що програма може впоратися з вимогами збільшення або зменшення ресурсів.

Комунікація та синхронізація: паралельні та розподілені програми повинні мати можливість обмінюватися даними та синхронізувати дані між кількома обчислювальними ресурсами. Це може бути складним завданням, оскільки вимагає керування узгодженістю даних і



забезпечення належної спільної роботи всіх вузлів.

Відмовостійкість: паралельні та розподілені додатки повинні мати можливість обробляти збої, такі як збої вузлів або мережі, не перериваючи обробку даних. Це вимагає ретельного проектування та реалізації, щоб забезпечити можливість відновлення програми після збоїв і продовження обробки даних.

Ці проблеми можуть ускладнити розробку паралельних і розподілених програм і вимагати спеціальних знань і досвіду. Однак хмарні сервіси, такі як AWS і Heroku, можуть допомогти пом'якшити деякі з цих проблем, надаючи масштабовану, гнучку та просту у використанні платформу для розгортання та керування паралельними та розподіленими програмами.

Хмарні сервіси, такі як AWS і Heroku, пропонують кілька переваг для розробки паралельних і розподілених програм [8]:

Масштабованість. Хмарні служби забезпечують масштабовану платформу для розгортання паралельних і розподілених програм і керування ними. Ці служби дозволяють розробникам легко збільшувати або зменшувати обчислювальні ресурси, такі як сервери, сховища та мережі, у відповідь на зміну робочого навантаження.

Гнучкість. Хмарні служби забезпечують гнучку платформу для розробки та розгортання паралельних і розподілених програм. Ці послуги пропонують широкий спектр обчислювальних ресурсів, інструментів і послуг, що дозволяє розробникам вибирати ті, які найкраще відповідають їхнім потребам.

Економічна ефективність. Хмарні послуги можуть бути економічно ефективнішими, ніж традиційні локальні рішення для розробки паралельних і розподілених програм. Ці послуги зазвичай пропонують платіжну модель ціноутворення, що дозволяє розробникам платити лише за ті обчислювальні ресурси, які їм потрібні та які вони використовують.

Доступність: хмарні служби забезпечують високу доступність для паралельних і розподілених програм із вбудованими функціями відмовостійкості та резервування. Ці служби, як правило, призначені для забезпечення того, щоб програми залишалися доступними та швидко реагували навіть у разі збою вузла або мережі.

Безпека. Хмарні служби пропонують надійні функції безпеки для паралельних і розподілених програм. Ці служби зазвичай забезпечують шифрування, контроль доступу та функції моніторингу для забезпечення безпеки та цілісності даних.

Простий у використанні: хмарні служби зазвичай прості у використанні, з інтуїтивно зрозумілими інтерфейсами та інструментами для розгортання та керування паралельними та розподіленими програмами. Ці служби часто надають попередньо



налаштовані шаблони та засоби автоматизації для спрощення процесу розробки та розгортання.

Загалом, хмарні сервіси, такі як AWS і Heroku, забезпечують ідеальну платформу для розробки та розгортання паралельних і розподілених програм із багатьма перевагами перед традиційними локальними рішеннями.

AWS (Amazon Web Services) — це платформа хмарних обчислень, яку надає Amazon. AWS пропонує широкий спектр послуг, включаючи обчислення, зберігання, бази даних, аналітику та мережу, серед іншого [9]. Що стосується обчислювальних послуг, AWS пропонує кілька типів серверів, які підходять для розробки паралельних і розподілених програм.

Heroku — це хмарна платформа як послуга (PaaS), яка дозволяє розробникам розгортати, керувати та масштабувати програми. Heroku надає повністю керовану платформу для розробки та розгортання веб-додатків із підтримкою широкого спектру мов програмування та фреймворків [10].

Сервери Heroku базуються на контейнерній моделі, де програми упаковані в контейнери та працюють у спільному середовищі виконання. Це дозволяє розробникам легко розгортати свої програми та керувати ними, не турбуючись про базову інфраструктуру.

Загалом, сервери Heroku можуть бути хорошим вибором для розробки та розгортання паралельних і розподілених додатків із такими функціями, як простота, підтримка кількох мов, масштабованість, автоматичне розгортання, багата додаткова екосистема та безпека.

Розглянемо проблеми та рішення розробки паралельних і розподілених програм в університетській лабораторії з використанням серверів AWS і Heroku.

Завдання 1: масштабованість. Однією з головних проблем у розробці паралельних і розподілених програм є забезпечення масштабованості. З великими наборами даних і складними алгоритмами може бути важко переконатися, що система зможе впоратися зі збільшенням навантаження. Систему може знадобитися збільшити чи зменшити масштаб залежно від попиту, і це потрібно зробити швидко та ефективно.

Рішення: AWS і Heroku забезпечують масштабовану інфраструктуру та сервіси, які можна використовувати для обробки збільшеного навантаження. AWS надає групи автоматичного масштабування, які можуть автоматично збільшувати або зменшувати масштаб відповідно до вимог. Heroku надає Dynos, який можна легко масштабувати горизонтально, щоб впоратися зі збільшенням трафіку та навантаження.

Завдання 2: Відмовостійкість. Іншим завданням у розробці



паралельних і розподілених програм є забезпечення відмовостійкості. Коли кілька вузлів працюють разом, завжди існує ризик збоїв вузлів, що може вплинути на загальну продуктивність системи. Крім того, забезпечення узгодженості даних на вузлах може бути складним завданням.

Рішення: AWS і Heroku забезпечують відмовостійку інфраструктуру та послуги. AWS забезпечує балансування навантаження та автоматичне перемикання після збоїв, що може допомогти забезпечити працездатність системи навіть у разі збою вузла. Heroku надає приватні простори, які забезпечують виділене ізольоване середовище для запуску програм із безпечним доступом до мережі та підтримкою користувацьких доменів. Це може допомогти гарантувати, що програма залишається безпечною та ізольованою від інших програм, що працюють на тому самому сервері.

Завдання 3: Управління даними Управління даними в паралельних і розподілених програмах може бути складним. Дані мають зберігатися таким чином, щоб до них могли отримати доступ і обробляти їх декілька вузлів одночасно, і забезпечення узгодженості даних між вузлами може бути складним завданням.

Рішення: AWS і Heroku надають служби керованих баз даних, які можна використовувати для зберігання та керування даними для паралельних і розподілених програм. AWS надає Amazon S3 для зберігання файлів і Amazon RDS для реляційних баз даних. Heroku надає Heroku Postgres, який є керованою службою бази даних Postgres. Ці служби надають такі функції, як автоматичне масштабування, резервне копіювання та реплікація, що полегшує керування даними в масштабі.

Таким чином, розробка паралельних і розподілених програм в університетській лабораторії може бути складною, але сервери AWS і Heroku надають ряд послуг і інструментів, які можна використовувати для подолання цих проблем. До них належать масштабованість, відмовостійкість і керування даними, які можуть допомогти забезпечити надійність системи та хорошу роботу навіть із великими наборами даних і складними алгоритмами.

Щоб реалізувати проект за допомогою серверів AWS, ми можемо виконати наступні кроки:

Крок 1: Запустіть екземпляр EC2 Ми можемо почати із запуску екземпляра EC2, який буде виконувати роль основного сервера для нашої програми. Ми можемо вибрати відповідний тип екземпляра на основі вимог нашої програми та налаштувати екземпляр із необхідними групами безпеки та дозволами.

Крок 2: Налаштуйте Amazon S3 для зберігання даних Потім ми можемо налаштувати Amazon S3 для зберігання даних для нашої



програми. Ми можемо створити нове відро S3 і налаштувати його, щоб дозволити доступ з примірника EC2. Ми також можемо ввімкнути керування версіями та реплікацію для резервування даних і резервного копіювання.

Крок 3. Налаштуйте Amazon RDS для керування базою даних Далі ми можемо налаштувати Amazon RDS для керування базою даних програми. Ми можемо вибрати відповідний механізм бази даних і тип екземпляра на основі вимог нашої програми. Потім ми можемо налаштувати примірник RDS і підключити його до примірника EC2.

Крок 4. Використовуйте Amazon Elastic Load Balancer для балансування навантаження Щоб забезпечити масштабованість і відмовостійкість, ми можемо використовувати Amazon Elastic Load Balancer (ELB) для розподілу трафіку між кількома екземплярами. Ми можемо налаштувати ELB для моніторингу справності екземплярів і автоматичного маршрутизації трафіку до справних екземплярів.

Крок 5. Використовуйте Amazon Auto Scaling для автоматичного масштабування Щоб ще більше забезпечити масштабованість, ми можемо використовувати Amazon Auto Scaling для автоматичного масштабування кількості екземплярів на основі попиту. Ми можемо налаштувати групи автоматичного масштабування та налаштувати їх на автоматичний запуск нових примірників, коли попит зростає, і припинення примірників, коли попит зменшується.

Крок 6. Відстежуйте та оптимізуйте продуктивність Нарешті, ми можемо використовувати Amazon CloudWatch для моніторингу продуктивності нашої програми та оптимізації її продуктивності та вартості. Ми можемо налаштувати сигнали будильника CloudWatch, щоб сповіщати нас про будь-які проблеми чи аномалії в системі, і використовувати дані та показники, надані CloudWatch, для оптимізації продуктивності нашої програми.

Дотримуючись цих кроків, ми можемо реалізувати наш проект за допомогою серверів AWS і скористатися перевагами масштабованості, відмовостійкості та функцій керування даними, які надають служби AWS.

Щоб реалізувати проект за допомогою серверів Heroku, ми можемо виконати наступні кроки:

Крок 1: Створіть нову програму Heroku Ми можемо почати зі створення нової програми Heroku, яка виступатиме як основний сервер для нашої програми. Ми можемо вибрати відповідний тип програми на основі вимог нашої програми та налаштувати програму за допомогою необхідних доповнень і плагінів.

Крок 2: Налаштуйте Heroku Postgres для керування базою даних Далі ми можемо налаштувати Heroku Postgres для керування базою даних програми. Ми можемо вибрати відповідний план бази даних на



основі вимог нашої програми, налаштувати базу даних і підключити її до програми.

Крок 3. Використовуйте Heroku Dynos для балансування навантаження та масштабування Щоб забезпечити масштабованість і відмовостійкість, ми можемо використовувати Heroku Dynos для розподілу трафіку між кількома екземплярами. Ми можемо налаштувати Dynos для моніторингу справності екземплярів і автоматичного спрямування трафіку до справних екземплярів.

Крок 4. Використовуйте Heroku Autoscaling для автоматичного масштабування Щоб ще більше забезпечити масштабованість, ми можемо використовувати Heroku Autoscaling для автоматичного масштабування кількості екземплярів на основі попиту. Ми можемо встановити правила автомасштабування та налаштувати їх для автоматичного додавання або видалення Dynos, коли попит зростає або зменшується.

Крок 5. Використовуйте додатки Heroku для додаткових функцій Heroku надає різноманітні додатки та плагіни, які можна використовувати для додавання додаткових функцій до нашої програми, наприклад аналізу даних, моніторингу та безпеки.

Крок 6: Моніторинг і оптимізація продуктивності Нарешті, ми можемо використовувати Heroku Metrics та інші інструменти моніторингу для моніторингу продуктивності нашої програми та оптимізації її продуктивності та вартості. Ми можемо налаштувати сповіщення та сповіщення, щоб сповіщати нас про будь-які проблеми чи аномалії в системі, і використовувати дані та показники, надані Heroku, для оптимізації продуктивності нашої програми.

Дотримуючись цих кроків, ми можемо реалізувати наш проект за допомогою серверів Heroku і скористатися перевагами масштабованості, відмовостійкості та додаткових функцій, які надають сервіси Heroku.

Визначимо критерії для порівняння реалізації проекту з використанням серверів AWS і Heroku:

Складність: налаштування та налаштування служб AWS може бути складнішим, ніж налаштування та налаштування служб Heroku, особливо для тих, хто має менший досвід роботи з хмарними обчисленнями. Heroku пропонує більш спрощений підхід із меншою кількістю налаштувань.

Вартість: AWS пропонує більше можливостей для економії та оптимізації витрат, з більшим контролем над розподілом і використанням ресурсів. Heroku, з іншого боку, забезпечує більше зручності та простоти, але може бути дорожчим для великих програм.

Масштабованість: як AWS, так і Heroku пропонують відмінні параметри масштабованості. Однак Heroku може бути більш простим і



легшим для масштабування для невеликих програм, тоді як AWS забезпечує більшу гнучкість і контроль для більш складних і великих програм.

Додатки та інтеграції: обидві платформи надають низку доповнень та інтеграцій, які можуть покращити функціональність програми. AWS пропонує більше можливостей і гнучкості, тоді як Heroku пропонує більше готових інтеграцій.

Підтримка та документація: як AWS, так і Heroku надають чудову документацію та підтримку, але AWS може мати більші ресурси та важливіші спільноти.

Зведемо результати порівняння реалізації проекту з використанням серверів AWS і Heroku до таблиці 1.

Таблиця 1

Результати порівняння реалізації проекту з використанням серверів AWS і Heroku

Критерії для порівняння	AWS	Heroku
Складність	Складніше	Простіше
Вартість	Менша	Більша
Масштабованість	Складніша	Простіша
Додатки та інтеграції	Більше можливостей	Менше можливостей
Підтримка та документація	Більше підтримки від спільноти	Менше підтримки від спільноти
Співпраця з університетськими установами	Висока	Середня

Загалом вибір між AWS і Heroku залежатиме від конкретних потреб і вимог проекту. AWS може краще підходити для складних і великих додатків, які вимагають більшого контролю та оптимізації, тоді як Heroku може бути більш підходящим для невеликих додатків, які віддають перевагу простоті та зручності.

Ціноутворення в AWS: AWS пропонує платіжну модель ціноутворення, що означає, що з користувачів стягується плата лише за спожиті ними ресурси та час їх використання. AWS також пропонує різні варіанти ціноутворення, як-от екземпляри на вимогу, зарезервовані екземпляри та спотові екземпляри, кожен з яких має різні структури ціноутворення та переваги. Вартість використання серверів AWS можна зменшити за допомогою AWS Cost Explorer і Trusted Advisor, які допомагають користувачам оптимізувати використання та витрати.

Ціноутворення Heroku: Heroku пропонує більш зрозумілу модель



ціноутворення на основі кількості використовуваних динаміків і доповнень. Користувачі можуть вибирати з різних типів і розмірів динамометрів, вартість яких коливається від безкоштовного до кількох сотень доларів на місяць, залежно від необхідних ресурсів. Додатки Heroku, які надають додаткові функції, такі як керування базами даних, моніторинг і безпека, оплачуються окремо залежно від використання.

Загалом AWS може запропонувати більше варіантів економії, але структура ціноутворення є складнішою та може вимагати більше зусиль з оптимізації. Ціноутворення Heroku більш зрозуміле, що полегшує планування бюджету та керування витратами. Вибір між двома платформами залежить від конкретних потреб і бюджету проекту.

Масштабованість і гнучкість AWS: AWS відома своєю гнучкістю та можливостями масштабованості, що дозволяє користувачам налаштовувати та керувати своїми ресурсами відповідно до своїх потреб. AWS пропонує широкий спектр обчислень, сховищ і мережевих опцій, які можна налаштувати відповідно до конкретних вимог. AWS також надає функції автоматичного масштабування та балансування навантаження, що дозволяє користувачам справлятися зі стрибками трафіку та підтримувати продуктивність додатків без ручного втручання.

Масштабованість і гнучкість Heroku: Heroku також має високу масштабованість і гнучкість, з можливістю масштабування як горизонтально, так і вертикально. Користувачі можуть легко збільшувати або зменшувати кількість динаміків (контейнерів додатків) залежно від вимог трафіку чи ресурсів. Heroku також пропонує додаткові компоненти для масштабування, кешування та інші служби для підвищення продуктивності та масштабованості програм.

Загалом AWS надає більш широкі можливості масштабування та гнучкості, дозволяючи користувачам налаштовувати свої ресурси та точно керувати своїми вимогами до масштабування. Проте простіше налаштування Heroku і попередньо налаштовані параметри масштабування роблять його більш доступним варіантом для невеликих проектів і команд з меншим досвідом у хмарних обчисленнях. Зрештою, вибір між AWS і Heroku залежить від конкретних потреб і вимог до масштабованості проекту.

Простота використання AWS: AWS має крутішу криву навчання, а її інтерфейс і функції можуть бути приголомшливими для початківців. Однак AWS пропонує широкий спектр документації, навчальних посібників і варіантів підтримки, щоб допомогти користувачам орієнтуватися на платформі. AWS також пропонує різні інструменти керування та автоматизації, такі як AWS Management Console, AWS CLI та AWS CloudFormation, щоб спростити розгортання



та керування додатками.

Простота використання Heroku: Heroku розроблено таким чином, щоб бути простим у використанні, з простим та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, який дозволяє користувачам розгортати програми лише кількома клацаннями. Heroku пропонує спрощений процес розгортання з попередньо налаштованими середовищами та функціями автоматичного масштабування та керування. Heroku також надає широкий спектр доповнень та інтеграцій, що дозволяє легко додавати додаткові функції до програм.

Загалом, Heroku доступніший і простіший у використанні для розробників і команд з обмеженим досвідом у хмарних обчисленнях. Однак AWS пропонує більші можливості та можливості налаштування, що робить його кращим вибором для великих і складніших проектів. Вибір між AWS і Heroku зрештою залежить від конкретних потреб і рівня досвіду команди розробників.

AWS: AWS пропонує декілька програм та ініціатив, спрямованих на співпрацю з університетами та науковими установами, зокрема:

AWS Educate: програма, яка надає безкоштовний доступ до послуг AWS і навчальних ресурсів для студентів, викладачів і дослідників.

Академія AWS: програма, яка пропонує навчальний план із хмарних обчислень і навчальні ресурси для викладачів, щоб навчати студентів потрібним навичкам хмарних обчислень.

Загалом і AWS, і Heroku надають ресурси та підтримку для університетів і навчальних закладів, полегшуючи студентам і дослідникам доступ до ресурсів і інструментів хмарних обчислень. Вибір між AWS і Heroku зрештою залежить від конкретних потреб і вимог академічного проекту чи установи.

Висновки. Підсумовуючи, хмарні сервіси, такі як AWS і Heroku, пропонують багато переваг для розробки паралельних і розподілених програм в університетських лабораторіях. Ці служби надають доступ до масштабованих і гнучких обчислювальних ресурсів, які можуть підтримувати складні програми та дослідницькі проекти.

Виходячи з порівняння серверів AWS і Heroku, вибір між ними зрештою залежить від конкретних потреб і вимог проекту.

Щоб максимізувати переваги хмарних служб для розробки паралельних і розподілених програм в університетських лабораторіях, ми рекомендуємо наступне:

Чітко визначте вимоги та цілі проекту, щоб вибрати відповідного постачальника хмарних послуг.

Проведіть аналіз витрат щоб визначити найбільш економічно ефективний варіант.

Переконайтеся, що команда розробників має необхідні технічні знання для керування та налаштування хмарної інфраструктури.



Скористайтеся ресурсами та підтримкою, яку пропонує постачальник хмарних послуг, як-от документація, навчання та форуми спільноти.

Розгляньте можливість використання інструментів і служб, які можуть допомогти оптимізувати продуктивність додатків і зменшити витрати, наприклад балансувальники навантаження, автоматичне масштабування та інструменти моніторингу витрат.

Загалом, використання хмарних сервісів для розробки паралельних і розподілених програм в університетських лабораторіях може посилити дослідження та інновації, надаючи доступ до потужних обчислювальних ресурсів. Уважно враховуючи конкретні потреби та вимоги проекту, університети можуть вибрати правильного постачальника хмарних послуг і максимально використати ці потужні інструменти.

Список використаних джерел

1. Getting Started with AWS. URL: https://aws.amazon.com/getting-started/?nc1=h_ls (дата звернення: 19.04.2023).
2. How Heroku Works. URL: <https://devcenter.heroku.com/articles/how-heroku-works> (дата звернення: 19.04.2023).
3. Сіциліцин Ю. О. Моделювання змісту дисципліни «паралельні та розподілені обчислення». *Педагогічні науки: теорія та практика*, 2023 Vol.4 (44). С. 22–28. <https://doi.org/10.26661/2786-5622-2022-4-03>.
4. Oleksiuk V. P., Oleksiuk O. R. Methodology of teaching cloud technologies to future computer science teachers. *CTE Workshop Proceedings*, Vol. 7, 2020. Pp. 592–608. <https://doi.org/10.55056/cte.415>.
5. Vakaliuk T., Gavryliuk O., Kontsedailo V., Oleksiuk V., Kalinichenko O. Selection Cloud-oriented Learning Technologies for the Formation of Professional Competencies of Bachelors Majoring in Statistics and General Methodology of Their Use, 2022, Vol 1, Pp. 132–141. DOI: 10.5220/0010921900003364
6. Godla S. R., Fikadu G., Adema A. Socket Programming-Based RMI Application for Amazon Web Services in Distributed Cloud Computing. *Innovative Data Communication Technologies and Application. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 96. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7167-8_37
7. Assran B. M., Aytekin A., Feyzmahdavian H. R., Johansson M., *Advances in Asynchronous Parallel and Distributed Optimization, Proceedings of the IEEE*, 2020, vol. 108, No. 11, Pp. 2013–2031. DOI: 10.1109/JPROC.2020.3026619.



8. Saraswat M., Tripathi R. C., Cloud Computing: Comparison and Analysis of Cloud Service Providers-AWs, Microsoft and Google, *2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, 2020, Pp. 281–285, DOI: 10.1109/SMART50582.2020.9337100.

9. Amazon Elastic Compute Cloud Documentation. URL: https://docs.aws.amazon.com/ec2/?icmpid=docs_homepage_featuredsvcs (дата звернення: 19.04.2023).

10. Extending Heroku. URL: <https://devcenter.heroku.com/categories/extending-heroku> (дата звернення: 19.04.2023).

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

Y. Sitsylitsyn^{1,2}

¹Bogdan Khmelnsky Melitopol State Pedagogical University

²Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

DETERMINATION OF QUANTITATIVE INDICATORS FOR ECONOMIC ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF CULTURAL EQUIPMENT

Summary

This article explores the use of cloud-based services, specifically Amazon Web Services (AWS) and Heroku, for developing parallel and distributed applications in university laboratories. With the increasing demand for high-performance computing and data processing, parallel and distributed applications have become crucial for research and education in various fields. AWS and Heroku provide a cost-effective and flexible solution for deploying and managing these applications.

The article provides an overview of AWS and Heroku servers and their benefits for developing parallel and distributed applications. It also describes the implementation of a parallel programming project using both AWS and Heroku servers and compares the two implementations in terms of pricing, scalability, ease of use, and cooperation with universities.

The article provided an overview of AWS and Heroku servers, discussed the benefits of using cloud services for parallel and distributed applications, compared the two platforms, and presented a use case demonstrating the implementation of a parallel and distributed application using AWS and Heroku Servers. The paper generated research that can inform researchers and developers of university laboratories about the advantages and limitations of using AWS and Heroku servers for parallel and distributed applications, as well as provide recommendations for using cloud services to achieve efficient data processing and analysis in a laboratory environment.

The findings of this article can help researchers and educators in university laboratories to leverage cloud-based services for their parallel and distributed computing needs. The results demonstrate that both AWS and Heroku are viable options for developing and deploying parallel and distributed applications, with their own unique strengths and limitations.

Key words: cloud services, parallel and distributed computing, AWS, Heroku.

Електронне наукове фахове видання

Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 13, том 1.

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Комп'ютерна верстка: Комар А. С.

Підписано до друку 22 квітня 2023 р.
Друкарня ТДАТУ
26,76 умов. друк. арк.