

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 2

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 2. – 405 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**

- Журавель Д. П., Бондар А. М., Дашивець Г. І.* 1
Обґрунтування діагностичних параметрів рульового керування транспортного засобу під час технічного обслуговування
- Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П.* 2
Методика розробки експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока
- Сушко С. Л., Чижиков І. О.* 3
Використання методології фітомоніторингу як засобу управління вегетаційними поливами кісточкових плодових культур
- Курка В. П., Ліннік А. Ю., Кирик О. М.* 4
Експериментальні дослідження показників роботи очисника голівок коренеплодів вертикально роторного типу
- Кепко О. І.* 5
Методика розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць
- Дідур В. В., Петриченко Є. А., Леценко І. А.* 6
Реологічні властивості мезги насіння сафлора та їх вплив на процес віджиму олії в гвинтовому пресі
- Фучаджи Н. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Червоткіна О. О.* 7
Напрямки вдосконалення конструкцій сучасних обрешувальних машин
- Алфьоров О. І., Савченко В. Б., Свіргун О. А.* 8
Оцінювання показників надійності на основі результатів випробувань на стендах та в експлуатації
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С.* 9
Огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації відходів тваринництва
- Погорілий С. П., Присяжний В. Г., Мірний В. Ю.* 10
Обґрунтування параметрів навісного пристрою мобільного енергетичного засобу типу “автотрактор” тягового класу 1,4



- Л. В. Фіалковська* 11
Очищення повітря у закладах ресторанного господарства
- Deynichenko G., Dmytrevskyi D., Guzenko V., Omelchenko O., Perekrest V.* 12
Prospects of using equipment for membrane separation of food liquids
- Самойчук К. О., Ковальов О. О., Червоткіна О. О.* 13
Порівняння енергоефективності струминних гомогенізаторів молока з роздільною подачею вершків
- Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Матвійшин П. В.* 14
Аналіз методів отримання гранул і засобів для їх реалізації
- Леценко І. А., Шокарев О. М., В'юник О. В.* 15
Аналіз існуючих математичних моделей процесу пресування
- Тетервак І. Р.* 16
Проблема наявності патогенів у компості

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Василишина О. В.* 17
Економічна ефективність заморожування плодів вишні попередньо оброблених альгінатом натрію
- Антоненко А. В., Бровенко Т. В., Криворучко М. Ю., Толок Г. А., Василенко О. В., Ряднина Ю. О.* 18
Технологія лаваша з використанням борошна з кіноа
- Бандура І. І., Ткаченко А. Г.* 19
Оцінка морфологічних особливостей плодових тіл їстівних грибів *lentinula edodes* та *calocybe indica* як об'єктів зберігання
- Янковський Р. В., Степанова Т. М.* 20
Актуальні засади технології снекової продукції функціонального спрямування
- Савченко-Перерва М. Ю., Сабадаш С. М., Кошель О. Ю.* 21
Підвищення показників якості січених виробів із птиці, збагачених на культивовану грибку сировину з використанням сушильного обладнання



- Новікова Н. В., Шумілова К. С.* 22
Розробка функціонального субпродуктового паштету
- Новікова Н. В., Ангелуша А. В.* 23
Оптимізація технології кондитерських виробів з підвищеним вмістом білків
- Мамай О. І., Кузьміна Т. О., Яковенко Т. О., Стоянова О. В.,
Зубкова К. В.* 24
Технологія переробки вторинної сировини виноробства
- Болгова Н. В., Тараненко Н. В.* 25
Аналіз використання борошна кіноа сорту квартет в технології виробів макаронних
- Дубчак Н. А., Кирик О. М.* 26
Застосування біотехнології у сільськогосподарському виробництві
- Самілик М. М., Цирулик Р. В., Вороненко Н. І.* 27
Застосування морквяних порошків для збагачення молочних продуктів
- Ряполова І. О., Назаренко А. А.* 28
Оцінка небезпечних чинників при переробці забійних тварин
- Сукманов В. О., Супрун А. В.* 29
Технологія отримання пшеничного хліба з екстрактом лушпиння цибулі та оцінка його споживчих властивостей
- Болгова Н. В., Самілик М. М., Назаренко Ю. В., Шмідт Б. В.* 30
Обґрунтування вибору білкової рослинної сировини для розробки сирного продукту
- Fedorov V., Kepko O., Kepko V., A. Berezovskyi, O. Trus, Prokopenko E.,
Zhurilo S.* 31
Study of technological and commercial indicators of oriental types of flatbread during baking in a tandoor

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**



- Попова І. О., Чаусов С. В.* 32
Побудова розрахункової схеми транзисторного негatronу аналога лямбда-діода на польових транзисторах
- Радчук О. В., Савченко-Перерва М. Ю.* 33
Автоматизована система керування апаратами для екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною
- Галько С. В., Трунова І. М., Мірошник О. О.* 34
Розробка системи енергозабезпечення домогосподарств на основі малопотужного вітроелектрогенератора
- Трунова І. М., Мірошник О. О., Галько С. В.* 35
Дослідження енергоефективності систем мікроклімату тваринницьких приміщень з використанням комп'ютерних технологій
- Юрченко О. Ю., Лівенко Т. І., Матвєєв О. М., Беркут Р. Є., Бугайов В. Г.* 36
Технологія ремонту електродвигунів різного призначення
- Сердюк В. В., Руденко В. А., Соларьов О. О., Саржанов О. А., Саєнко А. В.* 37
Енергозбереження при подрібненні зерна

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Азархов О. Ю., Сілі І. І., Єфременко Б. В.* 38
Електронна системи виміру деформацій пілону протезних систем
- Лубко Д. В.* 39
Використання програмного середовища sap erp для створення моделі управління роботою ремонтно-механічних цехів на підприємствах
- Антоненко А. В., Сорочинський О. О.* 40
Моделювання приватного мережево-серверного середовища з використанням технології OpenNebula



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

УДК 631.3.004.6

Д. П. Журавель, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

А. М. Бондар, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4761-9084

Г. І. Дашивець, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2612-6077

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: andriy.bondar@tsatu.edu.ua, тел.: 096-936-28-77

ОБГРУНТУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Анотація. В статті розглянуто питання діагностування основних несправностей рульового керування транспортних засобів в процесі експлуатації. Також з'ясовано, що сучасні транспортні засоби є складними технічними системами та характеризуються безліччю параметрів, що визначають технічні та експлуатаційні показники даної системи. По відношенню до транспортного засобу такими елементами системи є агрегати, вузли, механізми та деталі.

Усі елементи рульового керування транспортного засобу мають різні характеристики стійкості до втрати працездатного стану, на які впливають як внутрішні конструктивні фактори, що залежать від призначення та властивостей елемента, так і сукупність зовнішніх факторів, що визначають умови його експлуатації.

Наведена методика визначення люфту рульового керування за допомогою механічного (К-524) та електронного (ІСЛ-401) люфтомірів.

Ключові слова: транспортний засіб, рульове керування, технічне обслуговування, надійність, експлуатація.

Постановка проблеми. Під час експлуатації, під впливом ударних навантажень, тертя та інших факторів, технічний стан елементів рульового керування змінюється: люфт з'являється у з'єднаннях, що сприяє збільшенню інтенсивності зносу деталей. Знос або неправильне затягування та регулювання призводить до збільшення сили тертя в рульовому механізмі. Все це впливає не тільки на довговічність деталей, але і на керуваність транспортного засобу та безпеку руху [1-5].

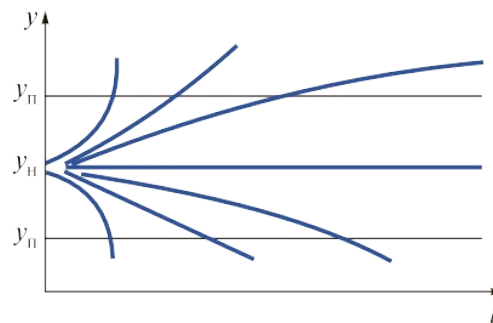


Рисунок 1. Можливі форми залежності показника технічного стану від пробігу l : $y_п$, $y_н$ - граничне та початкове значення показника відповідно

Аналіз останніх досліджень. В наслідок аналізу принципу роботи рульового керування транспортного засобу було з'ясовано, що для значної частини вузлів та деталей процес зміни технічного стану, залежно від часу чи пробігу, носить плавний, монотонний характер, що призводить до виникнення поступових відмов. Тому характер залежності може бути різним (рис. 1) [6-11].

Дані закономірності дозволяють визначити середні наробітки до моменту досягнення граничного або заданого стану параметра.

Знання законів, що описують випадкові процеси, дозволяє більш точно планувати моменти проведення та трудомісткість робіт з діагностування та ТО, визначати необхідну кількість запасних частин та вирішувати інші технологічні та організаційні питання.

Формулювання мети статті. Метою статті є визначення діагностичних параметрів рульового керування транспортного засобу під час технічного обслуговування.

Основна частина. В процесі експлуатації транспортних засобів виникають процеси, які призводять до зміни технічного стану, а інколи і до появи несправностей. До основних несправностей рульового керування належать [3, 12-15]:

Збільшення вільного ходу. Основні причини:

- ослаблення болтів рульового механізму, гайки кульових важелів;
- збільшення зазорів у кульових з'єднаннях, підшипниках передніх коліс, у з'єднанні ролика та черв'яка, між віссю важеля маятника та втулками, у підшипнику черв'яка, між упором рейки та гайки;

люфт в клепанях з'єднаннях.

Важке обертання рульового колеса. Основні причини:

- деформація частин рульового керування;
- неправильна установка кутів передніх коліс;
- порушення зазору у з'єднанні ролика з черв'яком;
- надмірне зусилля загвинчування регулюючої гайки осі важеля маятника;



- низький тиск у шинах передніх коліс;
- відсутність оливи в рульовому механізмі картера;
- пошкодження частин кульових шарнірів, підшипника верхньої опори стійки, деталей телескопічної підвіски.

Шум у рульовому управлінні. Основні причини:

- підвищені зазори у передніх підшипниках коліс, між віссю важеля маятника та втулками, в з'єднанні ролика з черв'яком або в підшипниках черв'яка (для механізмів рульового керування лише типу «Черв'як»), в кульових шарнірах рульових шарнірів, між упором рейки і гайкою (для рульових механізмів лише типу «Рейка»);
- ослаблення гайки шарових шарнірів, болтів кріплення механізму рульового керування або болта кріплення нижнього фланця пружної муфти на валу зчеплення (для рульових механізмів лише типу «Рейка»);
- ослаблення регулюючої гайки осі важеля маятника.

Самостійно виникаючі кутові коливання передніх коліс. Основні причини:

- ослаблення гайок шарових шарнірів, болтів кріплення механізму рульового керування або кронштейна важеля маятника;
- порушення зазору в з'єднанні ролика з черв'яком.

Погана стабільність автомобіля. Основні причини:

- порушення встановлення кутів передніх коліс;
- збільшення зазорів у підшипниках передніх коліс, в кульових шарнірах, ослаблення ущільнювачів в кульових шарнірах, збільшення зазору у з'єднанні валика та черв'яка (для механізмів рульового керування тільки типу «Черв'як»);
- кріплення картера рульового механізму або кронштейна важеля маятника;
- деформація обертових кулаків або важелів підвіски.

Витік оливи з картера. Основні причини:

- знос ущільнювачів валу рульової сошки або черв'яка (для механізмів рульового керування тільки типу «Черв'як»);
- ослаблення болтів кріплення кришки картера рульового механізму;
- пошкодження герметичності прокладок.

Несправності рульового керування з гідравлічним підсилювачем в цілому ідентичні несправностям звичайного рульового керування, однак через наявність додаткових частин, виникають несправності, що характеризують експлуатацію гідравлічного приводу:

- ускладнене керування транспортним засобом, у зв'язку з ослабленням гідравлічного ремня підсилювача, низьким рівнем робочої рідини в резервуарі підсилювача, несправностями насоса або клапана насоса;



- збільшений люфт через знос головного або проміжного валу рульової колони або пошкодження механізму рульового керування;
- підвищений шум під час роботи рульового керування, яке може бути викликано відхиленням регулювань у механізмі рульового керування або несправністю насоса.

Нормативні вимоги до рульового керування

Вимоги до елементів керування транспортними засобами регулюються Правилами ЕЕК ООН № 79.

Загальна реакція на керування в регламентованих умовах тестування не повинна перевищувати граничних значень, встановлених виробником в нормативній документації, і за відсутності таких даних він не повинен перевищувати 10° для автомобілів та вантажних автомобілів, створених на їх основі; 25° для вантажних автомобілів.

Загальна реакція на рульове керування - це кут обертання керма з положення, що відповідає початку повертання керованих коліс в одному напрямку, до положення, що відповідає початку їх повернення до зворотного положення, відповідного прямолінійному руху транспортного засобу.

Початок повертання керованих коліс – кут повертання керованих коліс на $0,06 \pm 0,01^\circ$, виміряний з положення прямолінійного руху.

При визначенні загального люфта необхідно дотримуватись наступних умов:

- шини контрольованих коліс повинні бути чистими і сухими;
- контрольовані колеса повинні знаходитися в нейтральному положенні на сухій плоскій горизонтальній поверхні;
- випробування транспортних засобів, оснащених підсилювачем рульового керування, проводяться з працюючим двигуном.

Значення загальної реакції на рульовому керуванні визначається кутом обертання керма між двома фіксованими положеннями в результаті двох або більше вимірювань.

Натяжіння приводного ременя насоса підсилювача рульового керування та рівень робочої рідини в резервуарі повинні відповідати вимогам, встановленим виробником транспортного засобу в технічній документації.

У разі органолептичного огляду рульового керування перевіряються такі нормативні вимоги:

- Обертання рульового колеса повинно відбуватися без ривків і заклинювань у всьому діапазоні кута його обертання, непрацездатність підсилювача рульового керування (якщо такий є на транспортному засобі) не дозволена;
- самостійне обертання керма з нейтрального положення в стаціонарному положенні транспортного засобу, з підсилювачем рульового керування та працюючим двигуном заборонено;



- максимальний поворот керма повинен бути обмежений лише пристроями, передбаченими конструкцією транспортного засобу;
- не передбачені конструкцією деталі та вузли рульового керування пересувати відносно один одного або відносно опорної поверхні, не допускається;
- різьбові з'єднання повинні бути затягнуті та зафіксовані методом, передбаченим виробником транспортного засобу;
- використання деталей із слідами залишкової деформації, тріщин та інших дефектів у рульовому механізмі та деталях рульового приводу не дозволяється.
- пошкодження та відсутність кріпильних частин рульової колони та картера рульового механізму, а також збільшення рухливості частин рульового приводу відносно один одного або корпусу, не передбачені виробником транспортного засобу в нормативній документації не припускаються.
- не допускається рухливість рульової колонки у площинах, що проходять через її вісь. Рульова колонка повинна надійно з'єднуватися з деталями, що сполучаються, і не мати пошкоджень. Пристрій фіксації положення рульової колонки з регульованим положенням рульового колеса, а також пристрій, що запобігає несанкціонованому використанню транспортного засобу, повинні бути в робочому стані

Загальна перевірка рульового керування.

Загальну перевірку технічного стану рульового управління необхідно виконувати за сумарною величиною люфта та зусиллям, необхідним для повороту рульового колеса.

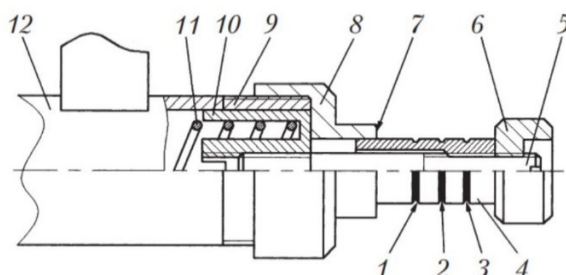
Сумарна величина люфтів рульового колеса складається з величини люфтів у підшипниках маточин передніх коліс та з'єднаннях (шкворневих, шарнірних рульових тяг, важелів та елементів рульового механізму) [3, 16-18].

Інструментальні перевірки рульового керування. При необхідності або діагностуванні виконують загальну перевірку рульового керування за допомогою спеціального обладнання - люфтомірів. Найбільшого поширення набули люфтомір механічний К-524 та електронний ІСЛ-40.

Пересувна каретка з віссю повороту кутомірної шкали виставляється в центр повороту рульового колеса шляхом забезпечення однакових вильотів направляючого стрижня щодо каретки. Цим забезпечується нерухомість вказівної нитки-стрілки при повороті рульового колеса та правильність вимірювання люфта рульового управління.

Пружинний динамометр встановлюється на нижньому розсувному кронштейні за допомогою кронштейна і закріплюється стопорним гвинтом в такому положенні, при якому при встановленні люфтоміру

на обід рульового колеса прикладене до навантажувального пристрою зусилля доводилося б на середину.



1 ... 3 - поділки регламентованих зусиль відповідно 0,75, 1,00 та 1,25 кг; 4 - покажчик; 5 - шпилька; 6 - головка; 7 - край кришки; 8 - кришка; 9 - контргайка; 10 - чашка пружини; 11 - пружина; 12 - корпус
Рисунок 2. Вид у розрізі люфтоміра пружинного К-524

Метод вимірювання сумарного люфта рульового управління, що виконується одним оператором, полягає у визначенні кута повороту рульового колеса за кутовою шкалою люфтоміра між двома фіксованими положеннями, що визначаються застосуванням до навантажувального пристрою по черзі в обох напрямках однакових зусиль, що регламентуються в залежності від маси транспортного засобу.

Електронний люфтомір ІСЛ-401 призначений для вимірювання сумарного люфта рульового керування легкових та вантажних транспортних засобів, методом прямого вимірювання кута повороту рульового колеса щодо керованих коліс. Основна відмінність приладу ІСЛ-401 від механічного люфтоміра - наявність датчика, що фіксує початок повороту колеса, а не зусилля повороту, що визначається динамометром.

Робота люфтоміру ІСЛ-401 заснована на прямому вимірюванні сумарного люфта рульового керування транспортного засобу датчиком кута з відсіканням початку та кінця відліку за сигналами датчика початку повороту керованого колеса.

Вимірювання кута повороту рульового колеса засноване на використанні імпульсного сигналу оптико-механічного датчика в інтервалі спрацьовувань датчика руху керованих коліс при виборі люфта рульового управління в обох напрямках обертання керма (рис. 3).

До складу приладу входять два нерозривні у функціонуванні блоки: основний і датчик моменту обертання колеса, а також засоби, що забезпечують їх роботу.

Зміни індуктивного опору датчика руху колеса при переміщенні штока перетворюються на еквівалентну зміну напруги і через підсилювачі надходять на входи аналого-цифрового перетворювача

мікропроцесора. Відлік кута повороту починається з моменту, коли датчик руху колеса визначає переміщення обода колеса більше 0,1 мм.

При перевірці рульового управління з використанням люфтоміра ІСЛ-401 основний блок приладу встановлюють і фіксують захватом за зовнішню сторону обода рульового колеса транспортного засобу. Датчик моменту обертання встановлюють у колеса так, щоб він спирався контактним вузлом на зовнішню вертикальну площину диска колеса, і підключають до основного блоку за допомогою роз'єму.

Встановлюють датчик моменту обертання рульового колеса в наступному порядку. Утримуючи корпус датчика моменту обертання в горизонтальному положенні, приставляють правий упор до плоскої ділянки поверхні диска керованого колеса, натискаючи на опорну планку в місці її притиску і посуваючи лівий упор до його торкання аналогічної ділянки диска колеса з іншого боку щодо осі повороту колеса. При цьому нижні кінці опор датчика повинні упиратися в підлогу без ковзання. Роз'єднати опорну планку поворотом важеля на роз'ємі у положення «ВІДКР».

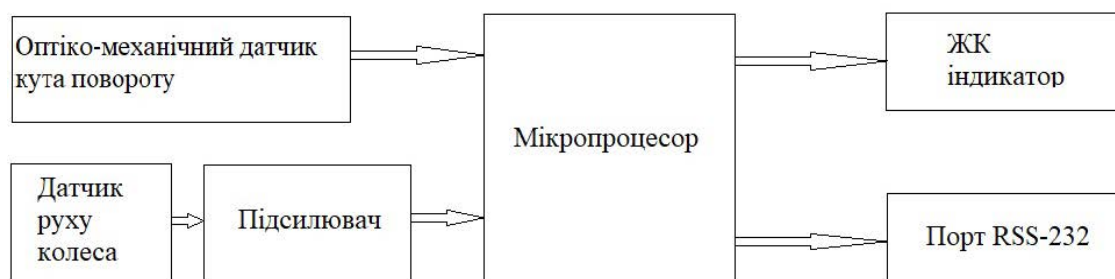


Рисунок 3. Функціональна схема люфтоміра ІСЛ-401

При вимірюванні люфт не допускається, необхідно, щоб упори спиралися на шину колеса, так як це призводить до помилкових результатів вимірів. У місцях торкання упорів диск колеса має бути чистим. Допускається приставляти упори у декоративний ковпак за умови, що він закріплений на диску без люфтів.

Люфтомір включають натисканням кнопки «СТАРТ». При цьому лунає звуковий сигнал, а на дисплеї основного блоку висвічується ІСЛ-401. Прилад контролює правильність функціонування датчика у вихідному положенні і, якщо вимоги задоволені, на дисплеї відображається повідомлення «ОБЕРТАЄМО РУЛЬОВЕ КОЛЕСО». Якщо в датчику виявиться несправність, то на дисплеї відображаються повідомлення про несправність.

Повертають рульове колесо в напрямку, вказаному на дисплеї (проти годинникової стрілки), плавно, без ривків до подачі приладом звукового сигналу відповідного положення "Люфт вибраний". При обертанні рульового колеса вліво, із закріпленням на ньому основним



блоком, і при переміщенні рульового колеса датчик дає команду мікропроцесору починати відлік кутової величини люфта. При цьому почується звуковий сигнал, а на дисплеї зміниться напрямок вказівної стрілки «ОБЕРТАЄМО РУЛЬОВЕ КОЛЕСО». За звуковим сигналом треба змінити напрямок обертання рульового колеса в напрямку, вказаному на дисплеї (за годинниковою стрілкою). Через деякий час звуковий сигнал вимкнеться, а на дисплеї з'являться значення поточного люфта в градусах.

Обробка інформації здійснюється мікропроцесором в основному блоці, а результат висвічується на однорядковому дисплеї основного блоку.

Висновки. 1) З'ясовано, що усі елементи транспортного засобу мають різні характеристики стійкості до втрати працездатного стану, на які впливають як внутрішні конструктивні фактори, що залежать від призначення та властивостей, так і сукупність зовнішніх факторів, що визначаються умовами експлуатації транспортного засобу.

2) Наведена методика визначення технічного стану рульового керування транспортного засобу органолептичним методом.

3) Наведена методика визначення люфта в рульовому керуванні транспортних засобів за допомогою механічного (К-524) та електронного (ІСЛ-401) люфтомірів.

Список використаних джерел

1. Бондарь А. Н. Пути повышения качества отслеживания траектории мобильных машин. *Motrol. Commission of motorszation and energetycs in agriculture*. Lublin, 2015. Vol. 17, № 9. P. 3–8.

2. Журавель Д. П., Бондар А. М., Дашивец Г. І. Дослідження адаптивної роботи рульового керування транспортного засобу в швидкісному режимі. *Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції: матеріали міжнар. наук.-практ. форуму (21-22 червня 2019 р.): у 2-х ч. / ТДАТУ. Мелітополь, 2019. Ч. 1. С. 203–204.*

3. Журавель Д. П., Бондар А. М. Обґрунтування показників експлуатаційної надійності енергетичних засобів. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 467–473.*

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

5. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник Таврійського*



державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 19 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-10.

6. Цизь І. Є., Тарасюк В. В. Ремонт сільськогосподарських машин: конспект лекцій. Луцьк: Луцький НТУ, 2014. 181 с.

7. Сідашенко О. І., Науменко О. А. Ремонт машин та обладнання: підручник. Київ: Агроосвіта, 2014. 665 с.

8. Черновол М. І., Власенко М. В., Наливайко В. М. Обладнання ремонтних підприємств. Київ: Урожай, 1996. 272 с.

9. Бутылин В. Г. Анализ и перспективы развития мехатронных систем управления торможением колеса. / В. Г. Бутылин и др. Мехатроника. Механика. Автоматика. Электроника. Информатика. 2000. № 2. С. 33–38.

10. Boltianskyi B., Sklyar R., 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; <https://doi.org/10.3390/pr9071144>

11. Komar A. S. Fertilization of poultry manure by granulation. Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production: Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 18–20.

12. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. Social function of science, teaching and learning: Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux. 2020. Pp. 478–480.

13. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. Theory, practice and science: Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. Pp. 255–257.

14. Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. Multidisciplinary academic research. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. P.83–86.

15. Serebryakova N. Safety measures during operation of biogas plant. OSHAgro – 2021: Збірник тез I Міжн. наук.-практ. конф. Київ: НУБіП, 2021. С. 22–24.

16. Neparko T. Increasing the performance of the park of equipment with Telematics. Інформаційні технології в енергетиці та АПК: матер. X-ої Міжн. наук.-практ. конф. ЛНАУ, 2021. С. 51–54.

17. Samoichuk K., Petrychenko S., Bondar A., Hutsol T., Kuboń 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>.

18. Kapłan, M.; Klimek, K.; Maj, G.; Bondar, A.;



LemeshchenkoLagoda, V.;Boltianskyi, B.; Boltianska, L.;Syrotyuk, H.; Syrotyuk, S.; et al.Method of Evaluation of MaterialsWear of Cylinder-Piston Group of Diesel Engines in the Biodiesel Fuel Environment. *Energies*, 2022, 15, 3416.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2023 р.

D. Zhuravel, A. Bondar, H. Dashyvets
Dmytro Motornyi Tavsria State Agrotechnological University

JUSTIFICATION OF VEHICLE STEERING DIAGNOSTIC PARAMETERS DURING MAINTENANCE

Summary

Modern vehicles are complex technical systems designed to carry out transport activities and are characterized by many parameters that determine the technical and operational performance of this system. A system is understood as an ordered collection of interoperable elements designed to perform specified functions. In relation to the vehicle, such elements are aggregates, assemblies, mechanisms and parts.

All elements of the car (units, assemblies, mechanisms, parts) have different characteristics of resistance to loss of serviceable condition, which are influenced by both internal structural factors that depend on the purpose and properties of the element, and a set of external factors, defined as the operating conditions of the car.

The performance of the car's components is determined by its technical condition. The technical condition is a set of properties of the object that change during operation, characterized at a certain moment by the features established by the technical documentation. The technical condition of the vehicle and its elements is determined by quantitative indicators of structural parameters.

The ability to directly measure the structural parameters of many products without partial or complete disassembly of the unit is often limited. For these products, when determining the technical condition, they use indirect values, the so-called diagnostic parameters, which are related to the design parameters and provide certain information about them.

During the operation of the vehicle, the indicators of its technical condition change from the initial ones corresponding to the new product to the maximum allowable ones, and then to the maximum ones. The value corresponds to the limit state in which its further use for the intended purpose is unacceptable or impractical.

Key words: vehicle, steering, maintenance, reliability, operation.



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

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 РОЗРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ПУЛЬСАЦІЙНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Анотація. Для розробки нових типів гомогенізаторів, їх досліджень та визначення теорій диспергування й гомогенізації важливим етапом є розробка експериментального зразка дослідного гомогенізатора. Тому мета даної статті – розробити методику створення експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, придатну для проведення експериментальних досліджень процесу пульсаційної гомогенізації молока. Така методика необхідна дослідникам на етапі планування експериментальних досліджень процесів диспергування та гомогенізації. В результаті проведених досліджень показана методика та етапи створення експериментального зразку пульсаційного гомогенізатора молока, який необхідний для проведення досліджень процесу пульсаційної гомогенізації. Приведена схема експериментального зразку пульсаційного гомогенізатора молока, описано принцип роботи установки, обґрунтовано програму проведення експериментальних досліджень. Показана методика розрахунків техніко-економічних показників експериментального зразку пульсаційного гомогенізатора, та розрахунку основних показників стандартизації та уніфікації об'єкта.

Ключові слова: гомогенізація, диспергування молока, емульсія, дисперсність, експериментальний зразок, гомогенізатор

Постановка проблеми. Процес отримання дрібнодисперсних емульсій шляхом гомогенізації широко розповсюджений в сільському господарстві, хімічній, переробній, харчовій та інших галузях промисловості. Гомогенізація дозволяє запобігти розшаруванню в процесі зберігання таких харчових продуктів як: питне молоко і вершки, яєчні меланжі та суміші на їх основі; згущене молоко комбінованого складу; суміші для морозива; майонез, маргарин,



кетчуп, суміші для відгодовування телят та ін [1]. Гомогенізація жирових часток до мікроскопічних розмірів підвищує харчову цінність молока, а також покращує його сенсорно-смакові властивості, значно зменшує втрати цінного компонента молока – молочного жиру. Однак, апарати, які використовуються для їх проведення мають ряд суттєвих недоліків і не відповідають сучасним вимогам якості та енергозбереження. Наприклад, найбільш розповсюджені – клапанні гомогенізатори мають питомі енерговитрати до 9 кВт год/т [2, 3]. Розрахунки показують, що при зниженні питомої енергоємності до 1,5–2 кВт·год/т при об'ємах виробництва наприклад молочної продукції в Україні на рівні минулого року, економія тільки електроенергії складе не менше 24 млн. грн.

При аналізі наукових робіт щодо механізмів гомогенізації вчених Drankhar P., Innings F., Glawdel T., Liu C., Håkansson A., Promtov M. A., Барановського Н. В., Орешіної М. М., Фіалкової Є. О., та ін. виділено більше 6 основних гіпотез подрібнення дисперсної фази, які протиставляються одна одній. Узагальнення результатів досліджень механізмів руйнування жирових часток у гомогенізаторах, дало підставу стверджувати, що визначальна роль в цьому процесі належить різниці швидкості між жировою кулькою та оточуючою плазмою [4, 5]. Однак для визначення швидкості ковзання жирової кульки, що є ключовою змінною по Веберу, застосовуються ряд перетворень показнику швидкості потоку, що істотно спотворює результати досліджень, і робить їх неуніверсальними для використання в гомогенізаторах різного типу.

Для розробки нових типів гомогенізаторів, їх досліджень та визначення теорій диспергування та гомогенізації важливим етапом є розробка експериментального зразка дослідного гомогенізатора. В даний час практично відсутні дані, щодо методики розробки експериментальних дослідних установок гомогенізаторів. В літературі приводяться фотографії та схеми установок, які використовуються в дослідженнях [4-6]. Але автори цих робіт не описують порядок та методику створення експериментальних гомогенізаторів.

Аналіз останніх досліджень. Одним з найбільш перспективних методів руйнування жирових кульок молока є імпульсно-пульсаційні високоінтенсивні впливи на гідродинамічне середовище (емульсію). Прикладом конструкції, що реалізує такий метод, є пульсаційний гомогенізатор. В ньому емульсія утворюється завдяки зворотно-поступальному руху поршня [7, 8]. Зазвичай поршні виконані у вигляді пластин або дисків з отворами, закріплених на вертикальних штангах, які здійснюють зворотно-поступальні рухи. Рух поршня-ударника вниз або вверх спричиняє рух дисперсійної фази зі швидкістю $v_{пл}$, яка обтікає жирову кульку, що рухається в протилежному напрямку за

рахунок сили інерції F_i (рисунок 1).

Модель дроблення жирових часток гідравлічними збуреннями базується на гіпотезі, що дисперсійне середовище захоплює в рух жирову частку і з урахуванням цього формується відносний рух середовища і частки. Виділена істотна роль прискорення жирової кульки [9, 10].

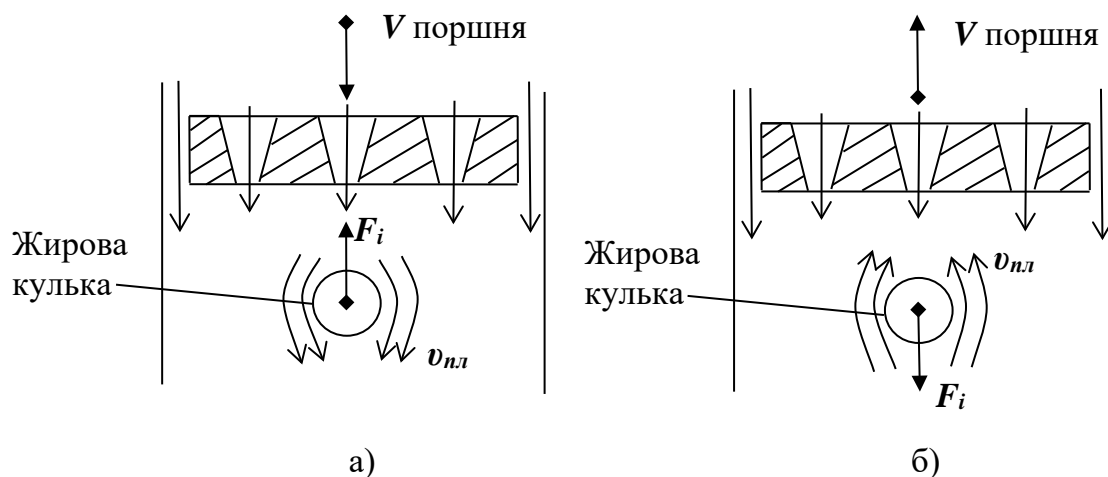


Рисунок 1. Схема виникнення сил інерції при імпульсній гомогенізації при русі поршня-ударника: а) вниз; б) вгору.

Експериментальний зразок пульсаційного гомогенізатора призначено для проведення експериментальних досліджень процесу гомогенізації молока. Областю застосування експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора є експериментальні дослідження, що проводять для знаходження оптимальних параметрів гомогенізатора (конструктивних, технологічних та енергетичних).

Продуктом, що обробляється в експериментальному зразку пульсаційного гомогенізатора є молоко. Воно має відповідати умовам ДСТУ 8553:2015 «Молоко-сировина та вершки-сировина. Правила приймання, відбирання та готування проб до контролювання».

В перспективі, використання пульсаційного гомогенізатора з незначним доопрацюванням дозволить створювати емульсії та суспензії, у тому числі шляхом змішування різних компонентів та може бути застосований в технологічній лінії для виробництва таких харчових продуктів як: питне молоко і вершки, яєчні меланжі та суміші на їх основі; згущене молоко комбінованого складу; суміші для морозива; майонез, маргарин, кетчуп, суміші для відгодовування телят та ін. [11, 12].

До основних характеристик, які відіграють найбільш важливу роль при виборі типу гомогенізатора відносять: продуктивність, ступінь диспергування та питомі енерговитрати на процес. Таким чином, доцільно проводити порівняльну характеристику експериментального



зразка пульсаційного гомогенізатора з найбільш перспективними типами гомогенізаторів по даним показникам (таблиця 1.1) [13, 14].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика різних типів гомогенізаторів

Тип гомогенізатора	Продуктивність, т/год	Мінімальний діаметр часток після гомогенізації, мкм	Питомі енерговитрати, кВт·год/т
Клапанний А1-ОГ2М-2,5	2,5	0,75	7,2
Клапанний, Rannie R37 45.81	4,7	0,75	6,5
Сопловий, ОГВ	1	1,0	4,4
Ультразвуковий (магнітострикційний)	0,3	0,8	13,3
Пульсаційний гомогенізатор	2,5	0,8	1,1

Порівняльна характеристика найбільш перспективних видів гомогенізаторів показує, що експериментальний зразок пульсаційного гомогенізатора молока забезпечує ступінь диспергування молочного жиру на рівні найкращих видів гомогенізаторів та має в 6–8 разів менші питомі енерговитрати.

Формулювання мети статті. Мета даної статті – розробити методику створення експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, придатний для проведення експериментальних досліджень процесу пульсаційної гомогенізації 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 пульсаційного гомогенізатора;
- розробити схеми та креслення пульсаційного гомогенізатора;
- провести необхідні розрахунки створеної експериментальної установки.

Основна частина. Відповідно до технічного завдання на виконання науково-технічної роботи технічні характеристики пульсаційного гомогенізатора мають становити [15, 16]:

- ступінь зниження питомих енерговитрат не менше ніж 60% у порівнянні з клапанними гомогенізаторами типу Rannie/Gaulin



відповідної продуктивності;

- середній діаметр жирових кульок молока після гомогенізації – не більше 1,0 мкм;

- габаритні розміри та маса – не більше ніж у клапанних гомогенізаторів типу Rannie/Gaulin відповідної продуктивності;

- продуктивність 0,5 – 5 т/год;

- питомі енерговитрати – не більше 2,0 кВт·год/т.

До обладнання харчової промисловості висувають додаткові вимоги безпеки продукту, що піддається обробці в установці. Молочні продукти, що пройшло цикл обробки в експериментальному зразку пульсаційного гомогенізатора, що розробляється, має відповідати вимогам ДСТУ 8553:2015: Молоко-сировина та вершки-сировина.

Експериментальний зразок пульсаційного гомогенізатора молока складається з ємностей для подачі молока у гомогенізатор і накопичення обробленого молока, насоса подачі молока, вентиля і робочої циліндричної прозорої камери імпульсного гомогенізатора, всередині якого розташований поршень з отворами. Поршень приводиться в коливальні рухи приводом, який складається з електродвигуна з електричним регулятором частоти обертання валу та кривошипного механізму з можливістю регулювання радіусу кривошипу [17, 18].

Схема зразка пульсаційного гомогенізатора для проведення експериментальних досліджень представлена на рисунку 2.

Пристрій працює таким чином. В ємність 1 заливається незбиране молоко, підігріте до необхідної температури, звідки насосом 2 воно подається у камеру гомогенізатора 4 через вентиль 3, який служить для регулювання подачі продукту. При коливальних рухах поршня 5 відбувається диспергування жирової фази молока, після чого оброблений продукт зливається в ємність 7 [19, 20].

Основною задачею проведення експериментальних досліджень є: обґрунтування параметрів та режимів роботи експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора для отримання необхідної за технологічними вимогами дисперсності молочної емульсії при мінімальних енерговитратах [21 - 24].

За цією метою проводилась перевірка, уточнення і за необхідності коригування отриманих аналітично даних [25].

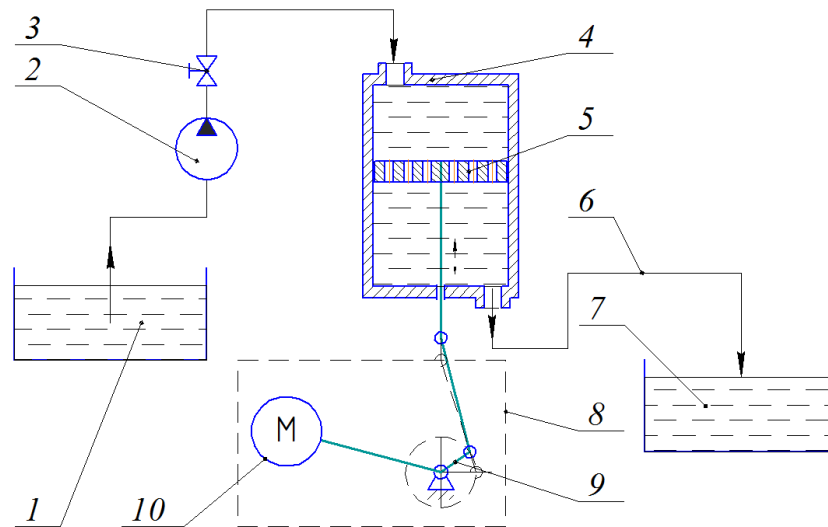
Розроблений кресленик загального виду експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора. Розроблена експериментальна установка дає можливість регулювати:

- подачу молока у камеру гомогенізатора;

- частоту коливань поршня;

- амплітуду коливань поршня;

- матеріал поршня і його товщину;



1, 7 – технологічні ємності відповідно для подачі та збирання молока; 2 – насос; 3 – вентиль; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршень; 6 – трубопроводи; 8 – привід руху робочого органу; 9 – кривошипний механізм з регулятором амплітуди; 10 – електродвигун з електричним регулятором частоти обертання валу.

Рисунок 2. Схема експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока:

– кількість, діаметр, розташування і форму отворів поршня.

Електроємність процесу гомогенізації клапанного гомогенізатора перевищує електроємність процесу гомогенізації пульсаційного гомогенізатора в 6,1 разів або 6,572 кВт·год/т:

$$T_{em} = \frac{7,2}{1,06} = 6,1. \quad (1)$$

$$E_{em} = 7,2 - 1,06 = 6,14 \text{ кВт·год/т.}$$

При 2040 годинах річного фонд робочого часу обладнання загальна сума економії витрат на електроенергію становитиме:

$$E_{el} = E_{em} \cdot T_p \cdot \Pi_o \cdot \text{Ц}_{el}, \quad (2)$$

де E_{el} – економія електроенергії, кВт·год/т;

T_p – фонд робочого часу обладнання, год.;

Π_o – продуктивність обладнання, т/год.

Ц_{el} – ціна однієї кВт·год. електроенергії, грн.

$$E_{el} = 6,14 \cdot 2040 \cdot 0,5 \cdot 4,393248 = 27514,03 \text{ грн.}$$

Питомі експлуатаційні витрати при проведенні експериментів з



пульсаційним гомогенізатором визначаються як сума питомих витрат на електроенергію, оплату праці та амортизацію [26]:

$$EB_n = E_n + ОП_n + A_n, \quad (3)$$

де EB_n – питомі експлуатаційні витрати всього, грн/т;

E_n – питомі витрати електроенергії, грн/т;

$ОП_n$ – питома оплата праці, грн/т;

A_n – амортизація питома, грн/т.

$$ОП_n = \frac{ОП_{міс}}{РЧ_{міс}}, \quad (4)$$

$$ОП_n = \frac{13350,0625}{170} = 95,81 \text{ грн/год.}$$

де $ОП_{міс}$ – оплата праці за місяць, з нарахуваннями, грн;

$РЧ_{міс}$ – робочий час за місяць, год.

$$ОП_{міс} = 9287 \cdot 1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,22 = 13350,0625 \text{ грн.}$$

$$A_n = \frac{A_{рік}}{T_p \cdot П_o}, \quad (5)$$

$$A_n = \frac{10723,4}{1020} = 5,26 \text{ грн / т,}$$

де $A_{рік}$ – амортизація за рік, грн.

$$A_{рік} = \frac{\Phi_{осн}}{T_e}, \quad (6)$$

де $\Phi_{осн}$ – вартість експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, грн;

T_e – термін експлуатації експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, років.

$$A_{рік} = \frac{53617}{5} = 10723,4 \text{ грн.}$$

$$EB_n = E_n + ОП_n + A_n = 4,66 + 95,81 + 5,26 = 201,53 \text{ грн/т.}$$

Таким чином, розроблена експериментальна установка у порівнянні з клапанною (найбільш розповсюдженою) гомогенізацією дозволяє отримати загальну економію в розмірі більше 201 грн/т.

Вихідними даними для визначення рівня стандартизації та уніфікації є перелік складових частин експериментального зразка



пульсаційного гомогенізатора.

Коефіцієнт застосовності визначається як відношення кількості типорозмірів складових частин у виробу до загальної кількості типорозмірів складових частин у виробу у відсотках

$$K_{np} = \frac{n - n_0}{n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де n – загальна кількість типорозмірів складових частин у виробі;

n_0 – кількість оригінальних типорозмірів складових частин у виробі

$$K_{np} = \frac{29 - 16}{29} \cdot 100\% = 44,8\%.$$

Коефіцієнт повторюваності визначається як відношення складових частин виробу, що повторюються до загальної кількості складових частин виробу

$$K_n = \frac{N - n}{N - 1} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де N – загальна кількість складових частин виробу.

$$K_n = \frac{88 - 29}{88 - 1} \cdot 100\% = 67,82\%.$$

В результаті розрахунку визначено коефіцієнт застосовності $K_{np} = 44,8\%$ та коефіцієнт повторюваності $K_n = 67,82\%$. Отримані показники дозволяють зробити висновок про достатню насиченість виробу складовими частинами, що повторюються та досить високий рівень повторюваності складових частин у складі експериментального зразку пульсаційного гомогенізатора.

Висновки. В результаті проведених досліджень показана методика та етапи створення експериментального зразку пульсаційного гомогенізатора молока, який необхідний для проведення досліджень процесу пульсаційної гомогенізації.

Приведена схема експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока, описано принцип роботи установки, обґрунтовано програму проведення експериментальних досліджень, Показана методика розрахунків техніко-економічних показників експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, та розраховано, що розроблена експериментальна установка у порівнянні з найбільш розповсюдженою клапанною гомогенізацією дозволяє отримати загальну економію в розмірі 201 грн/т.

Наведена методика розрахунку основних показників стандартизації та уніфікації експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора. В результаті розрахунку визначено коефіцієнт застосовності $K_{np} = 44,8\%$ та коефіцієнт повторюваності $K_n = 67,82\%$. Отримані показники дозволяють зробити висновок про досить високий



рівень повторюваності складових частин у складі експериментального зразку пульсаційного гомогенізатора.

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., Левченко Л. В. Аналітичні дослідження енерговитрат пульсаційного гомогенізатора молока. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць*. Харківський державний університет харчування та торгівлі. Харків: ХДУХТ, 2016. Вип. 1 (23). С. 170–181.

3. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Левченко Л. В. Ефективність гомогенізації молока у пульсаційному гомогенізаторі. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. №1 (84). С. 116–121.

4. 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.

5. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Левченко Л. В. Теоретичні дослідження пульсаційної гомогенізації молока. *Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: матеріали другої міжнар. наук.–практ. конф., 5–7 вер. 2017 р.* Харків: ХДУХТ, 2017. С. 42–43.

6. Кравців Р. И., Кравців В. І., Островський Я. Ю. Молоко і молочні продукти: Л.: ЛА Піраміда, 2001. 310 с.

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

8. Паляничка Н. О., Антонова Г. В. Експериментальні дослідження впливу основних факторів на ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т.1. С. 21–28.

9. 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.

10. Самойчук К. О., Паляничка Н. П., Верхоланцева В. О., Левченко Л. В. Методика розрахунку потужності пульсаційного гомогенізатора молока . *Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences: Conference*



proceedings: international research and practice conference, 27–28 grudzień 2017 р. Lublin: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2017. С. 176–179.

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

12. Ялпачик В. Ф., Буденко С. Ф., Ялпачик Ф. Ю., Гвоздев 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.

13. 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 с.

14. Di Marzo, L., Cree, P., Barbano, D. M. Prediction of fat globule particle size in homogenized milk using Fourier transform mid-infrared spectra. *Journal of Dairy Science* 2016, 99(11), 8549-8560 <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11284>

15. Dhankhar, P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*, 2014, 4(5), 1-8. <https://doi.org/10.9790/3021-04540108>

16. 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>

17. 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>

18. 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>

19. 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>

20. 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>

21. 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

22. 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>

23. Thomas, S.; Ameel, T.; Guilkey, J. Mixing kinematics of moderate Reynolds number flows in a T-channel. *Phys. Fluids* 2010, 22, 031601. <https://doi.org/10.1063/1.3283063>

24. 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.

25. Rayner, M.; Dejmek, P. Engineering Aspects of Emulsification and Homogenization in the Food Industry; CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2015; p. 322. ISBN 9781466580435. <https://doi.org/10.1201/b18436>.

26. Morales, J.; Watts, A.; McConville, J. Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci.* 2016, 22, 165–213. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42609-9_4

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 21.02.2023 р.

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

METHOD OF THE EXPERIMENTAL SAMPLE DEVELOPMENT OF THE MILK PULSATION HOMOGENIZER

Summary

For the development of new types of homogenizers, their research, and the definition of theories of dispersion and homogenization, an important stage is the development of an experimental sample of a research homogenizer. At present, there is practically no data on the methodology of developing experimental research installations of homogenizers. The purpose of this article is to develop a method for creating an experimental sample of a pulsating homogenizer, suitable for conducting experimental studies of the process of pulsating milk homogenization. Such a technique is necessary



for researchers at the stage of planning experimental studies of dispersion and homogenization processes.

As a result of the conducted research, the method and stages of creating an experimental sample of a pulsating homogenizer of milk, which is necessary for conducting research into the process of pulsating homogenization, are shown.

The diagram of the experimental sample of the pulsating homogenizer of milk is given, the principle of operation of the installation is described, the program of experimental research is substantiated, the method of calculating the technical and economic indicators of the experimental sample of the pulsating homogenizer is shown, and it is calculated that the developed experimental installation of the pulsating homogenizer, in comparison with the most common valve homogenization, allows obtaining a general savings in the amount of more than 201 UAH/t.

The method of calculating the main indicators of standardization and unification of an experimental sample of a pulsating homogenizer is given. As a result of the calculation, the applicability coefficient $K_{pr} = 44.8\%$ and the repeatability coefficient $K_p = 67.82\%$ were determined. The obtained indicators allow us to conclude about a fairly high level of repeatability of the constituent parts in the composition of the experimental sample of the pulsating homogenizer.

Key words: homogenization, dispersion of milk, emulsion, dispersion, experimental sample, homogenizer.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-3

УДК 631.67:634.2

С. Л. Сушко, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2933-2573

І. О. Чижиков, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-3022-4828

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: serhii.sushko@tsatu.edu.ua тел.: 050-013-39-43

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ФІТОМОНІТОРИНГУ ЯК ЗАСОБУ УПРАВЛІННЯ ВЕГЕТАЦІЙНИМИ ПОЛИВАМИ КІСТОЧКОВИХ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР

Анотація. В статті наведено результати вивчення впливу основних абіотичних факторів та функціонального стану кісточкових культур для діагностики вологозабезпеченості абрикоса та черешні. Виявлено закономірності змін індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурах дерев абрикоса й черешні та температури листків, а саме при підкрановому дощуванні індекс швидкості ксилемного потоку збільшувався у 1,2-1,3 рази, а температура листків знижувалася на 4-5°C, що запобігало непродуктивній транспірації та перегріванню листків. На основі встановлених закономірностей функціонального стану абрикоса й черешні розроблено алгоритм управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення.

Ключові слова: абрикос, черешня, фітомоніторинг, датчик, індекс швидкості потоку у стовбурі, температура листків, водний обмін, системи мікрозрошення

Постановка проблеми. Отримання значних та стабільних врожаїв плодкових кісточкових культур в ґрунтово-кліматичних умовах Південного Степу України через недостатню природну зволоженість можливе тільки в умовах зрошення. За багаторічними даними встановлено, що за літньої вегетації дерев (переважно у липні-серпні) спостерігаються ґрунтові й повітряні посухи та сухотії. Такі метеорологічні умови призводять до стресів рослин у різні періоди їх росту і розвитку, а особливо під час формування та закладання майбутнього урожаю. Це призводить до зменшення врожаю плодів та їх низької якості. Тому істотне місце в технології вирощування кісточкових культур у ґрунтово-кліматичній зоні Південного Степу слід відводити зрошенню плодкових насаджень системами мікрозрошення, які забезпечать не тільки виконання вегетаційних



поливів, а й сприятимуть поліпшенню мікроклімату в саду, а також економії енергоресурсів.

Для автоматизації управління зрошенням необхідним є отримання інформації про водний обмін та функціональний стан плодкових культур. Потрібно використовувати такі фізіологічні показники, які спроможні діагностувати стан плодкових дерев не порушуючи цілісність рослин та здатні автоматизувати процес діагностики функціонального стану рослин та виконання поливу.

У світовій практиці у цьому аспекті доведено переваги застосування фітомоніторингових досліджень рослин з використанням інформаційно-вимірювальних систем. Фітомоніторинг передбачає довготривале, одночасне спостереження за кількома процесами у цілісній інтактній рослині за допомогою систем непошкоджуючих датчиків. Згідно з методологією фітомоніторингу, насамперед виділяються ті фізіологічні параметри, які є найбільш інформативними та виступають як маркери функціонального статусу рослин, разом з тим вони можуть безперервно автоматично реєструватися. Проведення фітомоніторингових досліджень дозволить виявити закономірності водного обміну кісточкових культур за екстремальних погодних умов, що надасть можливість розробити метод управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення.

Аналіз останніх досліджень. Культура абрикоса й черешні формувалася в умовах посушливого клімату [1,2]. Тому ці кісточкові культури можуть нетривалий час переносити нестачу вологи у ґрунті та повітрі. Однак, взагалі, більш тривалий період з нестачею вологи у ґрунті й повітрі несприятливо впливає на ріст вегетативних органів, величину урожаю, знижує смакові якості плодів [2,3]. В посушливих умовах вирощування підвищену потребу у волозі абрикос й черешня відчують під час інтенсивного росту плодів, приблизно через півтора місяці після цвітіння, а поливи за 2 - 3 тижні до досягання можуть суттєво збільшити розміри плодів. При нестачі достатньої вологи у ґрунті в ранній період весняної вегетації абрикоса [4] й черешні [3] поливи призводять до збільшення плодів на 20-50%. Проте, при вивченні впливу нестачі вологи у ґрунті на плодоношення дерев у різних фенофазах розвитку плодів вказують, що дефіцит води інколи діє позитивно. Так, нетривалий водний стрес у фазі інтенсивного росту плодів та затвердіння кісточка може стримувати силу росту дерев кісточкових культур без зниження розміру плодів і урожаю, тобто загальну величину водоспоживання рослин можна скоротити [1,5].

Ефективність зрошення кісточкових культур досягається вибором оптимальних строків, норм та способів поливу, які засновано насамперед на урахуванні вологості ґрунту, періоді розвитку рослин та



їх фізіологічного стану. Норми поливу визначаються кліматичними умовами, механічним складом та фільтруючою здатністю ґрунту [2,5]. Методи призначення режимів зрошення за вологістю ґрунту або на основі рівнянь водного балансу ґрунту не дозволяють урахувати залежність водного стресу рослин одночасно як від вологості ґрунту, так і від кліматичних факторів. Тому необхідно використовувати різні фізіологічні показники, які допоможуть визначити водний обмін рослин та здатні автоматизувати процес поливу.

У наукових працях [6-9] обговорюються результати досліджень з фітомоніторингу швидкості ксилемного потоку у стовбурі з використанням методу теплового балансу, у яких зазначено, що інтенсивність водного обміну рослин у значній мірі залежить від умов освітленості, температури і вологості повітря. При достатньому вмісті в ґрунті фізіологічно доступної вологи швидкість висхідного ксилемного потоку залежить від інтенсивності транспірації і визначається ступенем розвитку листкового апарату на фоні змін метеорологічних умов. За недостатньої вологості ґрунту листки для поповнення транспіраційних витрат використовують вологу деревини стовбура. Наявність прискореного темпу ксилемного потоку вночі свідчить про поповнення запасів вологи у стовбурі, яку було витрачено протягом попереднього дня. Автори [10-12] доводять безперечну перспективність використання фітомоніторингових методів визначення потреби плодових рослин і винограду у воді з метою розробки та вдосконалення інформаційних технологій у плідівництві та виноградарстві для отримання стабільних урожаїв.

Отже, серед багатьох фізіологічних показників, які характеризують водний режим рослин швидкість водного потоку в стовбурі є найбільш інформативним, який можна зберігаючи цілісність рослин безперервно реєструвати у заданому режимі опитування. Тому цей показник доцільно застосовувати при діагностиці функціонального стану дерев, встановленні закономірностей їх водного обміну та управлінні поливами, які спрямовано на поліпшення ґрунтово-кліматичних умов вирощування, створення мікроклімату в саду та підвищення продуктивності кісточкових плодових рослин.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою є визначення впливу основних абіотичних факторів та функціонального стану кісточкових культур для діагностики вологозабезпеченості абрикоса й черешні, встановлення закономірностей водного обміну та розробка алгоритму управління параметрами фізіологічного стану дерев плодових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення, що дозволить зменшити вплив несприятливих факторів зовнішнього середовища на продуктивність кісточкових культур.



Основна частина. Вивчення функціонального стану абрикоса й черешні за різних умов навколишнього середовища дозволить простежити водообмін рослин, точно виявити виникнення в рослинах водного дефіциту, що надасть можливість для своєчасного проведення поливів кісточкових культур та забезпечить раціональне використання зрошувальної води в зоні їх вирощування у кліматичних умовах Південного Степу України.

Контролювання впливу погодних умов на водний та температурний режим дерев абрикоса й черешні, виконаного з використанням методології фітомоніторингу, дозволило виявити закономірності функціонального стану плодкових кісточкових культур за різних умов довкілля.

З початку травня по кінця вересня в автоматизованому режимі проведено безперервну реєстрацію градієнту температур від термопар датчиків ксилемного потоку у штамбах дерев та листків абрикоса й черешні. У цей період за основним показником фітомоніторингу – індексом швидкості ксилемного потоку було виявлено порушення в рослинах водного балансу, іншою мовою, час виникнення в них водного дефіциту за встановленим у попередні роки параметром терміну виконання поливів при підкроновому дощуванні, а саме, коли відношення величини передсвітанкового індексу ксилемного потоку до денного дорівнює або більше за одиницю, що і було підставою для початку проведення денних поливів абрикоса та черешні.

У вегетаційний період при застосуванні підкронового дощування за діагностичним показником необхідність потреби абрикоса й черешні у зрошенні виникала 38 раз. Встановлений параметр призначення поливів узгоджується з показниками метеорологічних елементів (температурою повітря, дефіцитом насичення водяної пари) (рис.1).

У ці дні перед призначенням початку дрібнодисперсного дощування температура повітря була вища за 25°C, а величина насичення дефіциту водяної пари набувала значень більш ніж 30 мб.

За добовими ритмами індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерев виявлено закономірності його динаміки та встановлені основні інформативні точки. Характерний добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку наведено на рисунку 2.

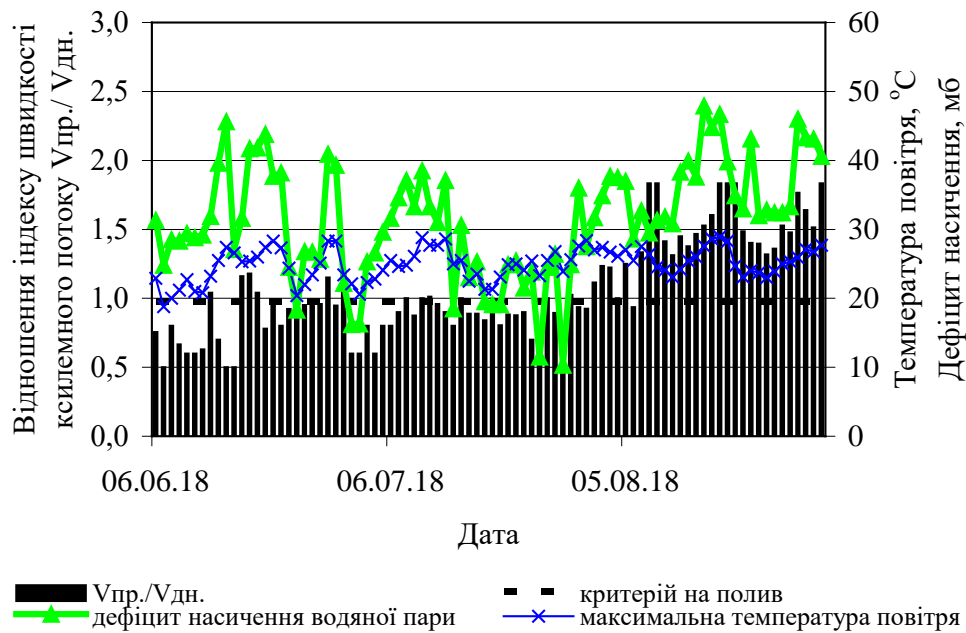


Рисунок 1. Діагностичний показник призначення поливів при підкороновому дощуванні за метеорологічних умов 2018 року

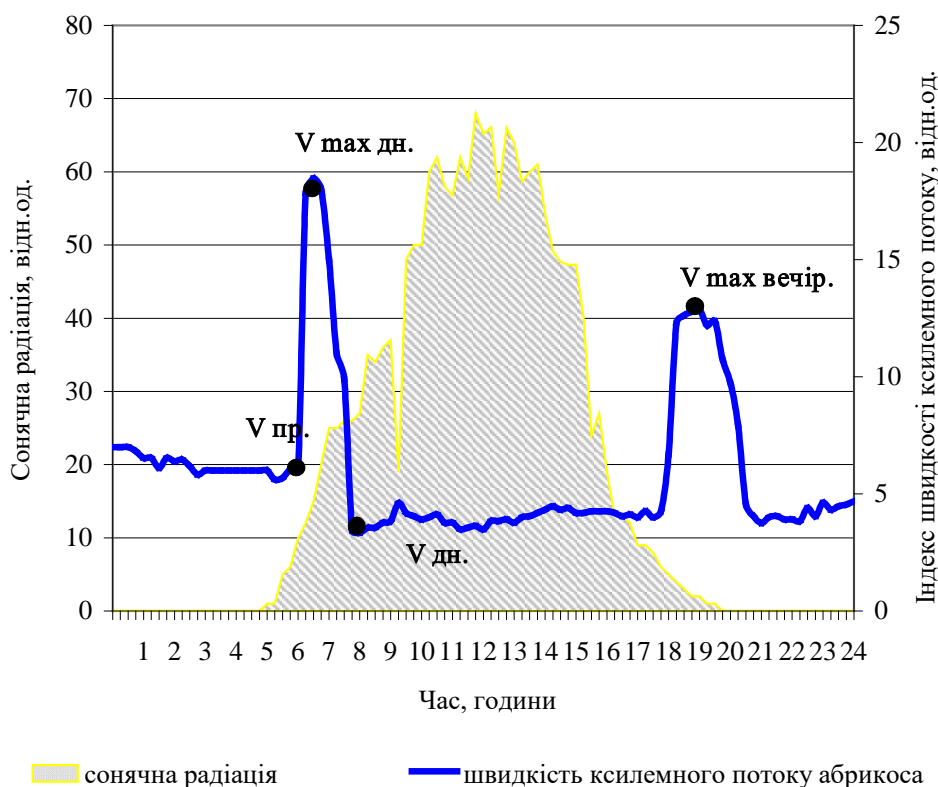


Рисунок 2. Добовий ритм індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерев

Встановлено, що навіть при оптимальному рівні зволоження ґрунту дерева можуть відчувати водний дефіцит, тобто коли



відношення передсвітанкової швидкості (точка $V_{пр.}$) до денної (точка $V_{дн.}$) буде більше за одиницю. Індекс швидкості водного току у стовбурі (на прикладі абрикоса) максимального значення (точка $V_{maxдн.}$) набував близько сьомої години ранку. Саме у цей час інтенсивність сонячної радіації зростає, що викликає транспірацію листків дерев. До цього моменту витрати вологи рослиною поповнювалися, як з ґрунту, так і з резервуара стовбура. Потім починається зменшення діаметра штамбу, з якої опірність водному току з резервуара стовбура стає меншою, ніж опірність потоку вологи з ґрунту. Близько восьмої години рівень індексу швидкості ксилемного потоку різко знижується (точка $V_{дн.}$). З подальшим збільшенням інтенсивності транспірації витрати води рослиною перевищують її надходження з ґрунту, а процес водопостачання підтримується із запасів вологи стовбура аж до максимального значення індексу ксилемного потоку у вечірній час доби (точка $V_{max.веч.}$). Проміжок часу між ранковими та вечірніми максимальними значеннями вказують на дисбаланс водного обміну рослин, коли витрати ними вологи перевищують її надходження з ґрунту. Після вечірнього максимуму зменшується транспірація, тим самим скорочуються витрати вологи зі стовбура, а вже менш інтенсивні витрати вологи рослиною дорівнюють її надходження з ґрунту. За денного часу доби дерева відчують водний дефіцит. Далі після заходу сонця індекс ксилемного потоку знижується до відповідного рівня щодо умов навколишнього середовища.

Отже, визначення добових ритмів індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерев є досить інформативним щодо їх функціонального стану, за яким можна вивчати водний обмін рослин.

Встановлення вищеназаних закономірностей дозволило розробити алгоритми для управління системою дрібнодисперсного дощування.

Основні функції управління, задаються локальними арифметико-логічними процедурами, які можна представити в наступному вигляді

$$U_{n,m} = \begin{cases} U_1 & \text{якщо } Y_1 < \text{con}X_{n,m} \leq Y_2; \\ U_2 & \text{якщо } Y_2 < \text{con}X_{n,m} \leq Y_3; \\ \dots & \dots \dots \\ U_L & \text{якщо } Y_{L-1} < \text{con}X_{n,m} \leq Y_L; \end{cases}$$

де X – матриця внутрішніх умов керуючого алгоритму,
 Y – матриця вхідних сигналів від вимірюючих датчиків,
 U – матриця вихідних сигналів на виконуючі пристрої системи зрошення.

Блок-схема процесу управління режимом зрошення наведена на рис. 3. Вона відображає алгоритм прийняття рішень щодо необхідності

поливу за даними параметрів навколишнього середовища і фізіологічними параметрами дерева. Вимірювання відбуваються через певні проміжки часу.

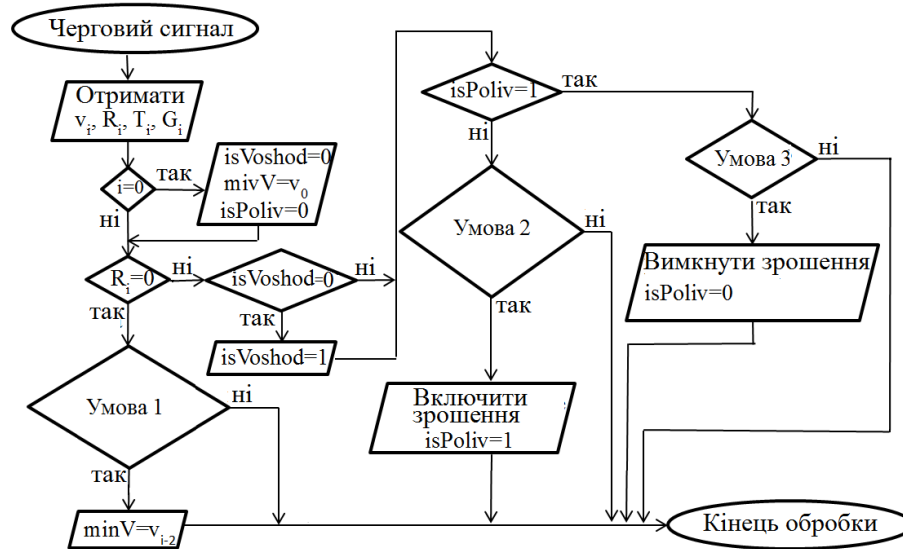


Рисунок 3. Блок-схема процесу управління режимом зрошення

Вимірюванню підлягають такі параметри:

v_i – індекс швидкості ксилемного потоку у стовбурі дерева;

R_i – сонячна радіація;

T_i – температура повітря, °C;

G_i – відносна вологість повітря, %.

На блок-схемі прийнято наступні позначення:

Умова 1:

$$i \geq 4 \text{ AND } (v_{i-4} \geq v_{i-2}) \text{ AND } (v_{i-3} \geq v_{i-2}) \text{ AND } (v_{i-1} \geq v_{i-2}) \\ \text{AND } (v_i \geq v_{i-2}) \text{ AND } isVoshod = 0$$

Умова 2:

$$\min V \geq v_i \text{ AND } T_i \geq 25^\circ\text{C AND } G_i < 70\%$$

Умова 3:

$$\min V < v_i \text{ OR } R_i = 0$$

Змінні системи:

$\min V$ – останнє мінімальне значення перед розсвітом;

$isPoliv$ – приймає значення 0, 1 (відповідно виключено або включено зрошення);

$isVoshod$ – приймає значення 0, 1 (відповідно був ранок чи ні)

При включеному поливі система функціонує за алгоритмом, який ілюструє блок-схема, наведена на рис. 4. В алгоритмі використані такі змінні:

G – зволоження листа: 0 – поверхня листової пластини суха, 1 –

поверхня листової пластини волога;

V – змінна, що приймає значення 0, якщо дощування виключено та 1, якщо дощування включено.

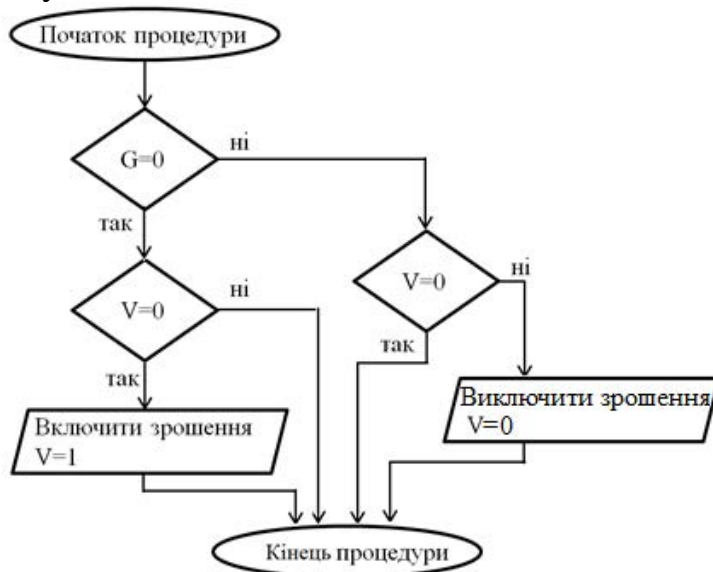


Рисунок 4. Блок-схема процесу управління внутрішнім циклом системи дощування

З блок схеми видно, що алгоритм є циклічним. Якщо листова поверхня суха ($G=0$), то якщо на цей момент дощування було виключене, треба включити дощування. Якщо, навпаки, листова поверхня змочена ($G=1$), то якщо на цей час дощування було включене, треба виключити дощування.

Висновки. 1. Застосування методології фітомоніторингу з вивчення динаміки індексу швидкості ксилемного потоку абрикоса й черешні при встановленні їх водного обміну та призначення поливів системами мікрозрошення є доцільним.

2. Виявлено закономірності змін індексу швидкості ксилемного потоку у стовбурах дерев абрикоса й черешні та температури листків, а саме при підкрановому дощуванні індекс швидкості ксилемного потоку збільшувався у 1,2-1,3 рази, а температура листків знижувалася на 4-5°C, що запобігало непродуктивній транспірації та перегріванню листків.

3. На основі встановлених закономірностей функціонального стану абрикоса й черешні розроблено алгоритм управління параметрами фізіологічного стану дерев плодкових кісточкових культур за допомогою системи мікрозрошення.

Список використаних джерел

1. Єжов В. М., Гриник І. В. Біохімія плодкових культур. - К.: ПП «Санспарель». - 2020. - 364 с., ілл.



2. Куян В. Г. Плодівництво. Житомир : ЖНАЕУ, 2009. 480 с.
3. Кіщак О.А. Основи промислової культури черешні в Лісостепу України: монографія. Київ: Аграр. наука, 2017. 240 с.
4. Смыков В. К., Иванов В. Ф., Иванова Г. С. Персик и абрикос. Киев: Урожай, 1993. 224 с.
5. Садівництво півдня України / за ред В.А. Рульєва. Запоріжжя: Дике поле, 2003. С. 145–148.
6. Ильницький О. А., Лищук А. И., Ушкаренко В. А. Фитомониторинг в растениеводстве. Херсон, 1997. 235 с.
7. Odyntsova V., Sushko S., Bondarenko L., Scherbakova N. Application of phenoclimatographic models in stone fruits protecting from spring frosts. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 267-280.
8. Нилов Н. Фитомониторинг в виноградарстве: Современные возможности и перспективы. *Виноделие и виноградарство*. 2004. №3. С. 26–28.
9. Нилов Н. Совершенствование информационных технологий в виноградарстве. *Виноделие и виноградарство*. 2004. №5. С. 8–10.
10. Караєв О. Г., Одинцова В. А., Сушко С. Л. Формирование базы данных для автоматизированного управления физиологическим состоянием плодовых деревьев мелкодисперсным дождеванием. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. No.1. 55–61.
11. Одинцова В. А., Сушко С. Л. Застосування фенокліматографічних моделей під час захисту кісточкових культур від весняних заморозків за допомогою автоматичної системи дрібнодисперсного дощування. *Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (Умань, 17-18 травня 2018 р.)*. С. 31–33.
12. Fernandez J. E., Green S. R., Caspari H. W., Diaz-Espejo A., Cuevas M. V. The use sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Aust. J. Agr. Res.* 2008. Vol. 59. P. 589–598.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2023 р.



S. Sushko, I. Chyzhykov
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

**USE OF METHODOLOGY OF PHYTOMONITORING AS A MEANS OF
MANAGEMENT OF VEGETABLE IRRIGATION OF BONE FRUIT
CULTURES**

Summary

The article presents the results of the study of the functional state of stone cultures for the diagnosis of moisture content of apricot and cherry in micro-irrigation using phytomonitoring methodology. The regularities of changes in the xylem flow index in tree trunks and the temperature of apricot leaves and cherries from the combined actions of micro-irrigation and abiotic factors were obtained in order to obtain the parameters of water exchange of plants during vegetation irrigation. It is established that during fine-grained subcronic rainfall apricot and cherry xylem flow rate in the trunk increases by 1.2-1.3 times, and the leaf temperature decreases by 4-5°C compared with drip irrigation and control (natural moistening). This contributed to the overall level of transpiration flow in plants. According to a study of the functional state of apricot and cherry, namely the seasonal dynamics of the xylem flow index, it was found that in cases where the value of the pre-dawn value of the xylem velocity index exceeds the daily one, water deficiency occurs in plants on such days. On the basis of the established regularities of the functional state of apricot and cherry, an algorithm for controlling the parameters of the physiological state of the fruits of fruit trees and a micro-irrigation system was developed.

Key words: apricot, sweet cherry, phytomonitoring, sensor, flow velocity index in the stem, leaf temperature, water exchange, microirrigation systems



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-4

УДК 631.356

В. П. Курка¹, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-1247-6770

А. Ю. Ліннік², к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3973-3733

О. М. Кирик², к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-4551-3187

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України²Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

e-mail: Linnik_Andrij@ukr.net, тел.: 097-584-09-26

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ОЧИСНИКА ГОЛІВОК КОРЕНЕПЛОДІВ ВЕРТИКАЛЬНО РОТОРНОГО ТИПУ

Анотація. В статті сформульовано методику проведення та аналізу отриманих даних експериментальних досліджень якісних показників роботи очисника голівок коренеплодів вертикально роторного типу з метою підтвердження адекватності теоретичних досліджень і врахування впливу можливих факторів, що не були враховані в теоретичних дослідженнях. Встановлено регресійні зв'язки у натуральних величинах, які характеризують зміну якісних показників роботи очисника голівок коренеплодів цукрового буряка роторного типу в залежності від поступальної швидкості руху очисного агрегату, кутової швидкості обертання очисного вала, кількості встановлених доочисних елементів. Аналіз отриманих залежностей показує, що основними складовими величинами, які впливають на параметр оптимізації є кутова швидкість обертання робочого органу і поступальна швидкість руху машини.

Ключові слова: коренеплід, очисник, гичка, кутова швидкість, рівняння регресії

Постановка проблеми. В технологічному процесі збирання цукрових буряків важливою операцією є очистка голівок коренеплодів від гички. Від якісного проведення такої операції залежатиме продуктивність наступних операцій по викопуванню і очищенні вороху коренеплодів [1, 2]. Для проведення такої операції використовується ряд машин з пасивними і активними робочими органами [3-5]. Було сконструйовано новий тип очисника голівок коренеплодів і проведено



теоретичні дослідження взаємодії його робочих органів з головками коренеплодів [3]. Для підтвердження адекватності теоретичних досліджень і врахування впливу можливих факторів, що не були враховані в теоретичних дослідженнях, на якість роботи очисника проведено польові експериментальні дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Питанням очищення голівок коренеплодів цукрового буряка присвячені праці Рибак Т. І. [6], Булгакова В. М. [7-9], Бориса А. М. [10, 11], Барановського В. М. [12, 13] проте, результати досліджень якості процесу очищення досліджувалися поверхнево. Для більш глибокого аналізу взаємодії очисника з голівкою коренеплоду виникло завдання встановлення регресійних залежностей взаємозв'язків всіх значимих факторів, які впливають на визначення якісних показників очищення від залишків гички голівок коренеплодів цукрового буряка.

Формулювання мети статті. Встановити адекватність попередньо виконаних теоретичних досліджень очисника головок коренеплодів та визначити вплив основних конструктивних параметрів та режимів роботи очисника на показники якості виконання процесу.

Основна частина. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання. Проаналізовано вплив зміни основних факторів таких як: поступальна швидкість руху очисника, кутова швидкість обертання ротора, кількість очисних елементів на якісні показники виконання роботи: наявність залишків гички, пошкодження голівок коренеплодів, вибиті коренеплоди з рядка. Експериментальне польове дослідження проводилося згідно складеної програми повно факторного експерименту.

У відповідності до розробленої програми експериментальних досліджень та з врахуванням умов і режимів роботи експериментальної установки, досліджували загальні залишки гички на голівках коренеплодів $\zeta_{\bar{a}}$ (%), сильнопошкодженні коренеплоди Π_k^∞ (%) і кількість вибитих коренеплодів із рядка B_k (%) від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_i і кількості очисних елементів ротора n_o , тобто відповідно $\zeta_{\bar{a}} = f(\omega_o; V_i; n_o)$, $\Pi_k^\infty = f(\omega_o; V_i; n_o)$ і $B_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$, які є визначальними при роботі очисників головок коренеплодів від залишків гички [8, 12].

При проведенні експериментів постійними були наступні конструктивно-технологічні параметри очисника: ширина лопаті $b = 0,08$ м, а висота встановлення нижнього торця очисної лопаті відносно поверхні ґрунту змінювалася від $h_o = 0 \dots 0,04$ м залежно від домінуючої висоти розташування головок коренеплодів відносно рівня залікової ділянки поля з умови не безвідривного контакту лопаті з



голівкою.

Дослідження проводились при одночасній зміні трьох факторів згідно рандомізованої план-матриці повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 [14, 15].

Функцію відгуку (параметр оптимізації показників якості очищення) знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома.

Перед проведенням експериментів при дослідженні залишків гички на головках коренеплодів $C_{\bar{a}}$, сильнопошкоджених коренеплодів \dot{I}_k і кількості вибитих коренеплодів із рядка B_k проводили кодування факторів і складання план-матриці, в яку заносили позначені рівні факторів кожного експерименту.

Визначали основний (нульовий) рівень для кожного фактора:

- для кутової швидкості обертання очисних лопатей ω_o :

$$X_{1_0} = \frac{83,7 + 41,9}{2,0} = 62,8 \text{ (рад/с);} \quad (1)$$

- для швидкості руху очисника головок V_i :

$$X_{2_0} = \frac{2,0 + 1,4}{2,0} = 1,7 \text{ (м/с);} \quad (2)$$

- для кількості очисних елементів ротора, n_o :

$$X_{3_0} = \frac{8,0 + 4,0}{2,0} = 6,0 \text{ (шт.);} \quad (3)$$

Інтервали варіювання та кодовані значення кожного фактору:

$$\Delta X_1 = \frac{83,7 - 41,9}{2,0} = 20,9 \text{ (рад/с);} \quad x_1 = \frac{\omega_o - 62,8}{20,9}; \quad (4)$$

$$\Delta X_2 = \frac{2,0 - 1,4}{2,0} = 0,3 \text{ (м/с);} \quad x_2 = \frac{V_i - 1,7}{0,3}; \quad (5)$$

$$\Delta X_3 = \frac{8,0 - 4,0}{2,0} = 2,0 \text{ (шт.);} \quad x_3 = \frac{n_o - 6,0}{2,0}. \quad (6)$$

Характеристика факторів та значення їх рівнів варіювання:

1. Кутова швидкість обертання очисних елементів: 83,7-62,8-41,9;
2. Поступальна швидкість руху очисника головок, V_i , м/с: 2,0-1,7-1,4;
3. Кількість очисних елементів ротора n_o , шт: 4,0-3,0-2,0

Отримані дані параметрів оптимізації кожного експерименту, тобто числові значення залишків гички на головках коренеплодів $C_{\bar{a}}$, сильнопошкоджених коренеплодів \dot{I}_k і кількості вибитих корене-плодів із рядка B_k залежно від зміни факторів – кутової швидкості обертання очисних лопатей, поступальної швидкості руху очисника головок V_i і кількості очисних елементів ротора n_o заносили у таблицю.

Обробку отриманих експериментальних даних при дослідженні залежності залишків гички на головках коренеплодів $C_{\bar{a}}$ (%),



сильнопошкоджених коренеплодів \dot{I}_k (%) і кількості вибитих коренеплодів із рядка B_k (%) від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_i і кількості очисних елементів ротора n_o , тобто відповідно $\zeta_{\bar{a}} = f(\omega_o; V_i; n_o)$, $\dot{I}_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$ і $B_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$ провели за загальновідомою методикою [15], при цьому кількісні значення параметрів оптимізації визначали відносно маси коренеплодів кожної однієї проби.

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто залежності $\zeta_{\bar{a}} = f(x_1; x_2; x_3)$, $\dot{I}_k = f(x_1; x_2; x_3)$, $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$, визначені експериментальним шляхом, знаходили у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного полінома

$$\begin{aligned} \hat{O}_i = & b_{0_i} + b_{1_i}x_1 + b_{2_i}x_2 + b_{3_i}x_3 + b_{12_i}x_1x_2 + b_{13_i}x_1x_3 + \\ & b_{23_i}x_2x_3 + b_{11_i}x_1^2 + b_{22_i}x_2^2 + b_{33_i}x_3^2, \end{aligned} \quad (7)$$

де \hat{O}_i - експериментальне значення відповідного i -го параметра, %;

$b_{0_i}, b_{1_i}, b_{2_i}, b_{3_i}, b_{12_i}, b_{13_i}, b_{23_i}, b_{11_i}, b_{22_i}, b_{33_i}$ - відповідні значення коефіцієнтів регресії i -их регресійних моделей;
 x_1, x_2, x_3 - вхідні кодовані фактори.

Визначали невідомі коефіцієнти регресії повного квадратичного полінома, при цьому отримані значення коефіцієнтів регресії зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів рівнянь регресії.

	Залишки гички $\zeta_{\bar{a}} = f(\omega_o; V_i; n_o)$	Сильнопошкодженні коренеплоди $\dot{I}_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$	Кількість вибитих коренеплодів $B_k = f(\omega_o; V_i; n_o)$
b_0	12,9	7,54	2,46
b_1	-0,16	0,15	-0,003
b_2	5,14	-10,51	-2,08
b_3	-2,53	0,21	-0,08
b_{12}	-0,001	-0,03	0,008
b_{13}	0,004	-0,006	0,001
b_{23}	-0,042	-0,12	0,01
b_{11}	0,0008	-0,0004	-0,00008
b_{22}	-1,31	3,51	0,31
b_{33}	0,17	0,07	0,003

Тоді загальний вигляд рівнянь регресії залежностей параметрів



оптимізації від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_i і кількості очисних елементів ротора n_o за результатами ПФЕ 3³ у кодованих величинах буде:

- залишки гички на головках коренеплодів $C_{\bar{a}} = f(x_1; x_2; x_3)$

$$C_{\bar{a}} = 12,19 - 0,16\bar{\delta}_1 + 5,14\bar{\delta}_2 - 2,53\bar{\delta}_3 - 0,001\bar{\delta}_1\bar{\delta}_2 + 0,004\bar{\delta}_1\bar{\delta}_3 - ; \quad (8)$$

$$- 0,042\bar{\delta}_2\bar{\delta}_3 + 0,0008\bar{\delta}_1^2 - 1,31\bar{\delta}_2^2 + 0,17x_3^2$$

- сильнопошкодженні коренеплоди $\check{I}_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$\check{I}_k = 7,54 + 0,15\bar{\delta}_1 - 10,51\bar{\delta}_2 + 0,21\bar{\delta}_3 - 0,03\bar{\delta}_1\bar{\delta}_2 + 0,006\bar{\delta}_1\bar{\delta}_3 - ; \quad (9)$$

$$- 0,12\bar{\delta}_2\bar{\delta}_3 - 0,0004\bar{\delta}_1^2 + 3,51\bar{\delta}_2^2 + 0,07x_3^2$$

- кількість вибитих коренеплодів із рядка $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$B_k = 2,46 - 0,003\bar{\delta}_1 - 2,08\bar{\delta}_2 - 0,08\bar{\delta}_3 + 0,008\bar{\delta}_1\bar{\delta}_2 - 0,001\bar{\delta}_1\bar{\delta}_3 + ; \quad (10)$$

$$+ 0,01\bar{\delta}_2\bar{\delta}_3 - 0,00008\bar{\delta}_1^2 + 0,31\bar{\delta}_2^2 + 0,003x_3^2$$

де x_1 - кутова швидкість обертання очисних елементів, рад/с;

x_2 - поступальна швидкість руху очисника головок, м/с;

x_3 - кількості очисних елементів ротора, шт.

Статистичну значимість коефіцієнтів b_i рівнянь регресій (8-10) проводили за t - критерієм Стьюдента. Згідно проведеної перевірки коефіцієнти $b_1 = -0,003$; $b_{12} = 0,008$; $b_{11} = 0,0008$; $b_{11} = -0,0004$; $b_{11} b_1 = -0,00008$; є не значимими, тобто остаточні рівняння регресії (8-10) за результатами проведених ПФЕ 3³ у кодованих величинах мають вигляд

- залишки гички на головках коренеплодів $C_{\bar{a}} = f(x_1; x_2; x_3)$

$$C_{\bar{a}} = 12,19 - 0,16\bar{\delta}_1 + 5,14\bar{\delta}_2 - 2,53\bar{\delta}_3 - 0,001\bar{\delta}_1\bar{\delta}_2 + ; \quad (11)$$

$$+ 0,004\bar{\delta}_1\bar{\delta}_3 - 0,042\bar{\delta}_2\bar{\delta}_3 - 1,31\bar{\delta}_2^2 + 0,17x_3^2$$

- сильнопошкодженні коренеплоди $\check{I}_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$\check{I}_k = 7,54 + 0,15\bar{\delta}_1 - 10,51\bar{\delta}_2 + 0,21\bar{\delta}_3 - 0,03\bar{\delta}_1\bar{\delta}_2 + ; \quad (12)$$

$$+ 0,006\bar{\delta}_1\bar{\delta}_3 - 0,12\bar{\delta}_2\bar{\delta}_3 + 3,51\bar{\delta}_2^2 + 0,07x_3^2$$

- кількість вибитих коренеплодів із рядка $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$B_k = 2,46 - 0,003\bar{\delta}_1 - 2,08\bar{\delta}_2 - 0,08\bar{\delta}_3 + 0,008x_1\bar{\delta}_2 + ; \quad (13)$$

$$+ 0,001\bar{\delta}_1\bar{\delta}_3 + 0,01\bar{\delta}_2\bar{\delta}_3 + 0,31\bar{\delta}_2^2 + 0,003x_3^2$$

де ω_o - кутова швидкість обертання очисних елементів, рад/с;

V_i - поступальна швидкість руху очисника головок коренеплодів, м/с;

n_o - кількість очисних елементів ротора, шт.

Перевірку адекватності вибраної моделі, тобто відповідності отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівнянь регресії (11-13) реальному експериментальному процесу проводиться за F - критерієм Фішера, табличне значення якого позначено $F_T(0,05; f_{ag}; f_u)$, де 0,05 означає 5 % рівень значущості (рівний $1-\alpha$, де α -



довірча імовірність).

Висновки. Для підтвердження адекватності теоретичних досліджень і врахування впливу можливих факторів, що не були враховані в теоретичних дослідженнях, на якість роботи доочисника проведено експериментальні польові дослідження при одночасній зміні трьох факторів згідно рандомізованої план-матриці повнофакторного експерименту. Визначено основний (нульовий) рівень для кожного фактора, невідомі коефіцієнти регресії повного квадратичного полінома, значимі і не значимі коефіцієнти, отримано кінцеві рівняння регресії.

Список використаних джерел

1. Liebe, S., Varrelmann M. (2014). Impact of root rot pathogens on storage of sugar beets and control measures. In: Zuckerindustrie. Sugar Industry, Berlin, Germany, vol. 139(7), Pp. 443–452.
2. Roller O. Entblatten stat Köpfen? Zuckerrübe, 5, 2010 Pp. 32–34.
3. Ліннік А. Ю., Диня В. І., Семенів І. І. 2019. Обґрунтування конструкції та кінематичного режиму роботи гичкоочисного пристрою.
4. Przybył, J. Stan techniki do zbioru buraka cukrowego i pozbiorowej obróbki korzeni. [w]. Rozdziała w monografii: Współczesna inżynieria rolnicza – osiągnięcia i nowe wyzwania. Tom I pod redakcją Ryszarda Hołownickiego i Macieja Kubonia. Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 2013. Pp. 425–452.
5. Bratucu Gh., Paunescu D. Establishing the optimum operating mode of sugar beet head cutting equipment using a cylindrical palpator. In: *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, Romania, Series II, vol. 8(57), no. 1, 2015. Pp. 51–56.
6. Рибак Т. І., Цьонь О. П., Сташків М. Я., Цьонь Г. Б. Вплив перерозподілу зусилля різання активного ножа дообрізувача гички буряків на його довговічність. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, (151), 2014. Pp. 222–227.
7. Булгаков В. М. Бурякозбиральні машини. К.: Аграрна наука. 2011.
8. Bulgakov V., Trokhaniak O., Beloiev H., Holovach I., Borys M., Ruzhylo Z., Ihnatiev Y. Theoretical investigation of the removal of halfrums from sugar beet root heads. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, 66(2), 2022. Pp. 75–78.
9. Булгаков, В. М., Ружило, З. В., Головач, І. В., & Троханяк, О. М. Побудова розрахункової математичної моделі задньоначіпленої асиметричної гичкозбиральної машини. 2021.



10. Борис А. М., Булгаков В. М., Яропуд В. М., Кірієнко О. О. Розробка та дослідження нового гичкозбирального робочого органу. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, (1), 2014. Рр. 71–78.
11. Борис А. М. Дослідження взаємодії робочого елемента копінно-роторного відокремлювача гички з головою коренеплоду. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, (97 (1)), 2013. Рр. 257–265.
12. Барановський В. М., Паньків М. Р., Береженко Є. Б., Береженко Б. М., Бойко В. А. Технологічні аспекти процесів роботи гичкозбиральних модулів. 2022.
13. Baranovsky V., Truhanska O., Pankiv M., Bandura V. Research of a contact impact of a root crop with a screw auger. *Research in Agricultural Engineering*, 66(1), 2020. Рр. 33–42. doi: 10.17221/75/2017-RAE
14. Васильковський О. М., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Петренко Д. І. Підручник дослідника. 2016
15. Зацерковний В. І., Тішаєв І. В., Демидов, В. К. Методологія наукових досліджень. 2017

Стаття надійшла до редакції 11.04.2023 р.

V. Kurka¹, A. Linnik², O. Kyryk²

¹National university of life and environmental sciences of Ukraine

²Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Berezhanly Agrotechnical institute

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PERFORMANCE OF THE CLEANER OF THE HEADS OF ROOTS OF THE VERTICALLY ROTARY TYPE

Summary

The article justifies the need to confirm the theoretical results of studies of the interaction of the working bodies of the cleaner with the head of sugar beet roots in order to confirm the adequacy of research and take into account the impact of possible factors, which were not taken into account in theoretical studies on the quality of work of the cleaner. The methodology for conducting and analyzing the obtained data of experimental studies of qualitative indicators of work of the cleaner of the heads of roots of the vertically rotary type is formulated. The analysis of changes in the main factors is carried out, such as: translational speed of the cleaner, angular speed of rotation of the rotor, the number of cleaning elements on qualitative indicators of performance: the presence of residues of the hook, damage to the heads of roots, knocked out roots from the line. Experimental field research was conducted according to a composite program of full factor experimentation, investigated, in particular, the following indicators: total residues of the hook on the heads of roots, the number of severely damaged roots and the number of broken roots from the line depending on the change in the angular speed of rotation of the cleaning elements, the translational speed of the cleaning machine and the number of



cleaning elements of the rotor. regression connections in natural quantities are established, which characterize the change in the qualitative performance of the cleaner of the heads of the roots of the sugar beet of the rotary type depending on the translational speed of the cleaning unit, the angular speed of rotation of the cleaning shaft, the number of installed cleaning elements. Analysis of the obtained dependencies shows that the main constituent values that affect the optimization parameter are the angular speed of rotation of the working body and the translational speed of movement of the machine.

Key words: remnants of stems, root, sugar beet, cleaning, angular velocity, regression equation.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-5

УДК 631.2:628.8

О. І. Кепко, к.т.н. доц.

ORCID: 0000-0003-1443-307X

Уманський національний університет садівництва

e-mail: kerpko@meta.ua, тел.: 063-049-99-29

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТЕПЛИЦЬ

Анотація. Економічна ефективність тепличного овочівництва досить суттєво залежить від вартості енергоносіїв, у зв'язку з чим впровадження енергозберігаючих технологій у тепличному овочівництві є питанням актуальним. Математична інтерпретація режимів та параметрів мікроклімату культивацийного приміщення дає можливість моделювати різні режими роботи опалювально-вентиляційного обладнання та аналізувати вплив на параметри мікроклімату тих чи інших технічних та технологічних рішень при проектуванні культивацийних приміщень. У даній роботі пропонується методика розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць, де використовується протилежний тип дихання рослин та грибів.

Ключові слова: тепловий баланс, культивацийне приміщення, гриби, математичне моделювання, імітаційне моделювання, замкнута система вентиляції.

Постановка проблеми. При проектуванні складних замкнутих опалювально-вентиляційних систем доцільним є створення математичних моделей процесів тепломасообміну в теплицях [1].

Процеси які проходять у теплицях із великими об'ємами виробництва [2, 3], вимагають моделювання цих процесів для оцінки об'єкта на будь-яких вхідних змінних [4, 5]. Особливо це питання актуальне для закритих систем вентиляції, в силу їх складності.

Аналіз останніх досліджень. Замкнута система опалення та вентиляції теплиць (ЗСОВ) представляє собою окремі культивацийні приміщення в яких вирощуються тепличні овочеві культури та гриби. Як відомо для забезпечення біологічних процесів рослини споживають CO₂ та виділяють кисень, а гриби навпаки, споживають кисень і виділяють CO₂. Враховуючи цю особливість була запропонована ЗСОВ з взаємопідживленням рослин і грибів CO₂ та киснем. При цьому повітря яке переміщується між теплицями має деякий тепловий



потенціал. Тобто має місце не тільки газообмін, а і тепломасоперенос. Більш докладно про ЗСОВ можна ознайомитись в [1, 7].

Формулювання мети статті. Для розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції СЗГ необхідно мати наступні вихідні дані: геометричні параметри приміщень та їх розташування; теплофізичні параметри огорожуючих конструкцій; технологічні параметри вирощування (температура, вологість, концентрація CO_2 в технологічних приміщеннях); температура зовнішнього повітря та температура в суміжних приміщеннях; масу субстрату; інтенсивність сонячної радіації; швидкість вітру.

При обґрунтуванні співвідношення розмірів приміщень в ЗСВ враховуємо, що основним критерієм, за яким судять про концентрацію CO_2 у грибниці є маса субстрату.

За даними літературних джерел величина повітрообміну в грибних приміщеннях при вирощуванні гливи коливається від 65 до 300 $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{год}$ і навіть до 500 $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{год}$ [8], а для шампінйона 20–120 $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{год}$ [8, 9, 10] причому об'єм приміщення принципового значення не має, впливаючи лише на інерційність процесів. Концентрація CO_2 , яку не рекомендується перевищувати при культивуванні гливи складає 0,06–0,1 % [5], для шампінйона – 0,06–0,12 % [8, 9, 10]. Прийнявши повітрообмін для гливи і для шампінйона – 100 $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{год}$ при концентрації CO_2 , відповідно, 0,08 і 0,1 % будемо мати виділення двоокису вуглецю субстратом – 0,08 $\text{м}^3\text{CO}_2/\text{т}\cdot\text{год}$ і 0,1 $\text{м}^3\text{CO}_2/\text{т}\cdot\text{год}$.

В свою чергу, критерій по якому судять про інтенсивність споживання CO_2 рослинами і, відповідно, про підживлення рослин двооксидом вуглецю, є масова ($\text{г}/\text{м}^2\cdot\text{год}$) або об'ємна ($\text{м}^3\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{год}$) подача CO_2 у теплицю. В літературі ця величина знаходиться в межах 0,0005–0,003 $\text{м}^3\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{год}$ [9]. При цьому концентрацію CO_2 , як правило, підтримують від 0,08 до 0,1 %. Втрати CO_2 при концентрації 0,15 % збільшуються внаслідок повітрообміну, отже підживлення CO_2 , при застосуванні традиційних технологій, стає менш ефективним.

Відомо, що газове підживлення тепличних культур пов'язане з величиною фотосинтетично активної радіації. Із збільшенням останньої прискорюються процеси фотосинтезу і відповідно здатність рослинами засвоювати CO_2 . Але при цьому, внаслідок парникового ефекту в приміщенні підвищується температура повітря внаслідок чого виникає необхідність збільшення об'ємів вентиляції, що, відповідно, зменшує ефект від газового підживлення рослин. На практиці підживлення припиняють за 1 годину до відкриття фрамуг. Замкнута система опалення та вентиляції у системі споруд „рослинна теплиця – грибниця” дозволяє зменшити втрати CO_2 при вентиляванні.



Основна частина. Розрахунок замкнутої системи опалення та вентиляції починають з визначення співвідношення маси субстрату і, відповідно, об'єму грибниці до площі рослинної теплиці. Далі проводять розрахунок теплових балансів кожного приміщення окремо, та визначення продуктивності системи вентиляції і потужності опалювальної системи, після чого визначають величини повітрообмінів між приміщеннями та повітрообміну із зовнішнім середовищем. Далі проводиться розрахунок потужності опалювально-вентиляційної системи приміщень з врахуванням значень температури припливного повітря та концентрації CO₂.

Методика розрахунку теплових балансів та визначення продуктивності системи вентиляції і потужності опалювальної системи розроблена з врахуванням рекомендацій, викладених в [8].

Знаючи величини виділення грибами та рекомендовані подачі двоокису вуглецю в рослинну теплицю, можна знайти відношення маси субстрату в грибниці до площі теплиці в ЗСВ.

Складемо рівняння балансу CO₂ між приміщеннями:

$$L_m A_m = L_C m_C, \quad (1)$$

де L_m – необхідний потік вуглекислого газу для теплиці, м³CO₂/м²·год;
 L_C – потік вуглекислого газу від субстрату, м³CO₂/ кг год;
 A_m – площа теплиці, м²;

звідки маса субстрату яка забезпечує вуглекислотне підживлення рослин в теплиці –

$$m_C = \frac{L_m A_m}{L_C}. \quad (2)$$

Розрахунки показали, що на 1 га площі теплиці, для забезпечення газового підживлення рослин, необхідно 100–250 т субстрату гливи (50–150 т субстрату шампінйона) або, що 1 т субстрату гливи здатна забезпечити двоокисом вуглецю 25–160 м² площі теплиці, 1 т шампінйона – 50–200 м².

Розрахунок повітрообміну в культивацийних приміщеннях при вирощуванні грибів виконується в залежності від умов видалення вуглекислоти (в зимовий період) та зайвої теплоти (в перехідний та літній періоди).

Витрата вуглекислоти, яку виділяють гриби в приміщенні [8]:



$$V_{CO_2} = k_t'' n v_{CO_2}, \quad (3)$$

де k_t'' – температурний коефіцієнт, який враховує вплив температури внутрішнього повітря на виділення грибами CO_2 ;
 n – кількість грибів (субстрату), кг, мішків;
 V_{CO_2} – виділення вуглекислоти одиницею субстрату, кг/год, мішок/год.

Витрата повітря, яке вентилується, м³/год [8]

$$L = \frac{V_{CO_2}}{C_в - C_{нов}}, \quad (4)$$

де $C_в$ – максимально допустима концентрація CO_2 всередині приміщення, л/м³;
 $C_{нов}$ – концентрація CO_2 в припливному повітрі (приймається рівною 0,33 – 0,5 л/м³) [8].

Повітрообмін по явній теплоті визначають з рівняння теплового балансу [8]

$$Q_{надл}^{явн} + c_p G t_в = c_p G t_{зв}, \quad (5)$$

де $Q_{надл}^{явн}$ – надлишок потоку явної теплоти в приміщенні (різниця між надходженнями і втратами теплоти), Вт;
 G – повітрообмін (масовий) в приміщенні, кг/с;

Звідки необхідний повітрообмін по явній теплоті

$$G = \frac{Q_{надл}^{явн}}{c_p (t_в - t_{зв})} \quad (6)$$

Об'ємний повітрообмін, м³/с

$$L = \frac{1}{\rho_{п}} G, \quad (7)$$



Витрату вентиляційного повітря в перехідний період приймають рівною розрахунковій, але не менше її значення для холодного періоду. Для теплого періоду року роблять перевірку по мінімальній нормі повітрообміну. Якщо ця норма не забезпечується, то витрату вентиляційного повітря в теплий період рахують за формулою [8]:

$$L = l m_C, \quad (8)$$

де l – норма мінімального повітрообміну, $\text{м}^3/(\text{Г}\cdot\text{КГ})$;

Для розробки математичної моделі скористуємося рівнянням теплового балансу СЗГ [8]:

$$Q_{T.H.} - Q_{T.втр.} = Q_{надл.}, \quad (9)$$

де $Q_{T.H.}$ – загальні теплонадходження в приміщення;

$Q_{T.втр.}$ – загальні втрати теплоти з приміщення;

$Q_{надл.}$ – надлишок (« \leftarrow ») дефіцит) теплоти в приміщенні.

Додатне значення $Q_{надл.}$ визначає потужність системи опалення, від'ємне – потужність системи кондиціонування.

$Q_{T.H.}$ визначаємо як суму теплонадходжень від сонячної радіації $Q_{с.р.}$, субстрату $Q_{суб}$ та системи освітлення $Q_{осв.}$:

$$Q_{T.H.} = Q_{с.р.} + Q_{суб} + Q_{осв.} \quad (10)$$

$Q_{T.втр.}$ визначаємо як суму тепловтрат через огорожуючі конструкції $Q_{тв}$, інфільтрацію $Q_{інф}$, випаровування $Q_{вип}$ та підігрів припливного повітря $Q_{п.нов.}$:

$$Q_{T.втр.} = Q_{тв} + Q_{інф} + Q_{вип} + Q_{п.нов.} \quad (11)$$

Підставивши формули (10) і (11) в тепловий баланс (9) отримаємо:

$$Q_{надл.} = Q_{с.р.} + Q_{суб} + Q_{осв.} - Q_{тв} - Q_{інф} - Q_{вип} - Q_{п.нов.} \quad (12)$$

Теплоповітряний баланс буде мати вигляд [8]
по тепловому потоку –

$$Q_{T.H.} - Q_{T.втр.} = Q_{оп.}; \quad (13)$$



по повітрю –

$$G_{вит} - G_{надх} = 0, \quad (14)$$

де $Q_{овв}$ – потужність опалювально–вентиляційної системи;

$$Q_{оп} = Q_{надл};$$

$$Q_{н.пов} = Q_{в} - Q_{пр};$$

$Q_{пр}$ – потік теплоти з припливним повітрям;

$Q_{в}$ – потік теплоти з відхідним повітрям;

$G_{вит}$ – витяжка (видалення) повітря з приміщення;

$G_{надх}$ – приплив (надходження) повітря в приміщення.

Виділивши з $Q_{Т.втр}$ (11) теплоту яка витрачається на підігрів припливного повітря $Q_{н.пов}$ і розділивши останню на дві складові $Q_{в}$ і $Q_{пр}$ отримаємо тепловий баланс

$$-Q_{Т.Н} + Q_{Т.втр} + Q_{н.пов} - Q_{пр} + Q_{в} = 0. \quad (15)$$

В системі, що розглядається, є два приміщення, кожне з яких має свій тепловий та теплоповітряний баланс. Об'єднавши їх в систему замкнутого повітрообміну рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$\begin{cases} Q_{Т.Н.1} - Q_{Т.втр.1} - Q_{надл.1} = 0 \\ Q_{Т.Н.2} - Q_{Т.втр.2} - Q_{надл.2} = 0, \end{cases} \quad (16)$$

або

$$\begin{cases} -Q_{Т.Н.1} - Q_{он.1} + Q_{м.в.1} - Q_{пр.1} + Q_{в.1} = 0 \\ -Q_{Т.Н.2} - Q_{он.2} + Q_{м.в.2} - Q_{пр.2} + Q_{в.2} = 0, \end{cases} \quad (17)$$

де цифрами 1, 2 позначені, відповідно, грибниця та теплиця.

Для прикладу розглянемо темну частину доби, зробивши припущення, що повітрообмін в обох приміщеннях однаковий $G_{М.1} = G_{М.2} = G_M$:

$$\begin{cases} -Q_{Т.Н.1} - Q_{он.1} + Q_{м.в.1} - c_p \cdot G_M \cdot t_{зв.1} + C_p \cdot G_M \cdot t_{в.1} = 0 \\ -Q_{Т.Н.2} - Q_{он.2} + Q_{м.в.2} - c_p \cdot G_M \cdot t_{зв.2} + C_p \cdot G_M \cdot t_{в.2} = 0, \end{cases} \quad (18)$$

де $t_{в}$, $t_{зв}$ – температура, відповідно, внутрішнього та зовнішнього



повітря.

Температура вхідного повітря для рослинної теплиці буде такою ж як внутрішня температура в грибниці і навпаки температура припливного повітря для грибниці буде дорівнювати температурі внутрішнього повітря в рослинній теплиці:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.e.1} - c_p \cdot G_M \cdot t_{e.2} + c_p \cdot G_M \cdot t_{e.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.e.2} - c_p \cdot G_M \cdot t_{e.1} + c_p \cdot G_M \cdot t_{e.2} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

В реальних умовах, при вирощуванні різних культур повітрообмін в приміщеннях фактично є різним. Також необхідно враховувати те, що в повітрі, при його циркуляції в замкнутій системі накопичуються шкідливості. Тому математична модель повинна враховувати повітрообмін із зовнішнім середовищем.

Припустимо, що за технологічними вимогами повітрообмін в приміщеннях $G_{M.1}$ і $G_{M.2}$ різний – в грибному приміщенні більший, в рослинному менший. Тоді, в першому приміщенні виникає надлишок G_M , на базі якого необхідно організувати повітрообмін із навколишнім середовищем. Організуємо його в першому приміщенні. В цьому випадку, після математичних перетворень отримаємо систему:

В цьому випадку, знайшовши всі складові рівняння (15) після математичних перетворень отримаємо систему рівнянь з якої знаходимо величини повітрообмінів $G_{M1.1}$ і $G_{M1.2}$.

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.e.1} - c_p \cdot [G_{M.1.1}(t_{e.2} - t_{e.1}) + G_{M.1.2}(t_{ze} - t_{e.1})] = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.e.2} - c_p \cdot G_{M.1.1} \cdot (t_{e.1} - t_{e.2}) = 0, \end{cases} \quad (20)$$

Моделювання потужності опалювальної установки грибниці та рослинної теплиці в діапазоні внутрішніх температур від 10 до 22°C за (12) приведено на рисунку 1 та 2 відповідно.

Моделювання теплоповітряного балансу для дослідних грибниці та рослинної теплиці приведені в таблицях 1, 2.

Висновки. Розроблена статична модель залежності повітрообміну від потужності опалювальної системи, яка являє собою систему лінійних рівнянь теплових балансів грибного та рослинного приміщень. В запропонованому вигляді модель дозволяє, в залежності від поточних значень температур, визначати величину повітрообмінів і відповідно до них потужність опалювальної системи.

Дослідження, проведені за допомогою імітаційної математичної моделі, показують, що найбільша ефективність роботи системи

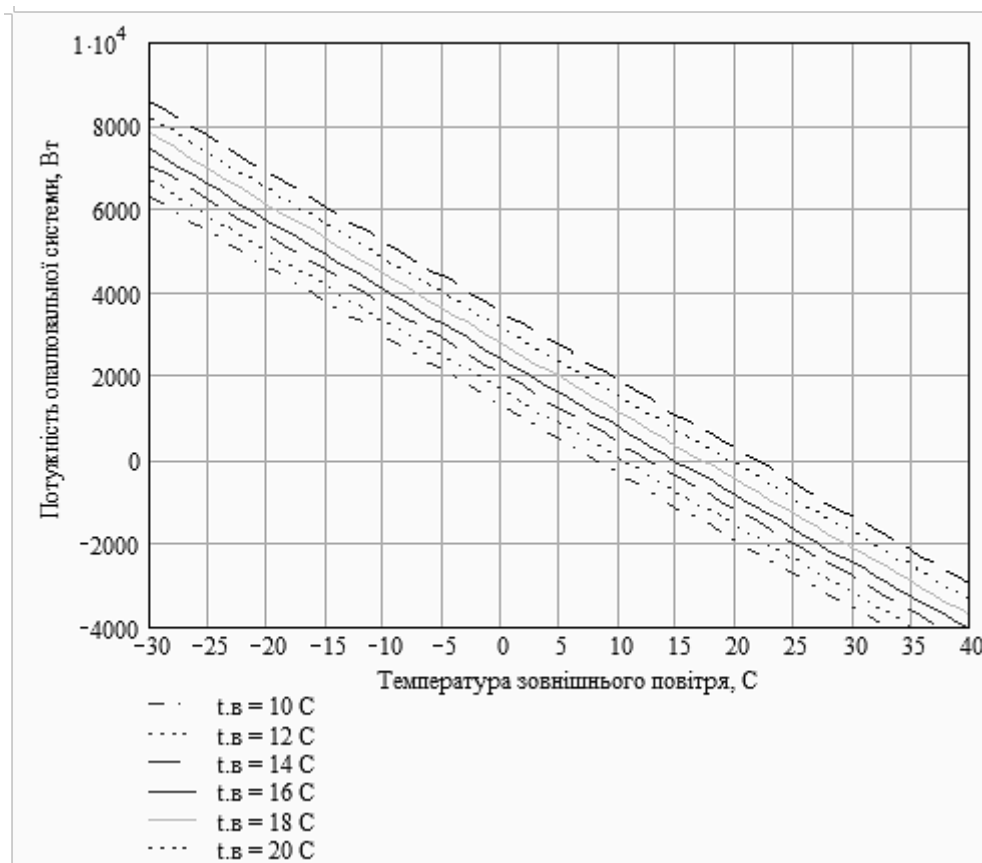


Рисунок. 1. Потужність опалювальної системи грибниці в залежності від температури зовнішнього повітря

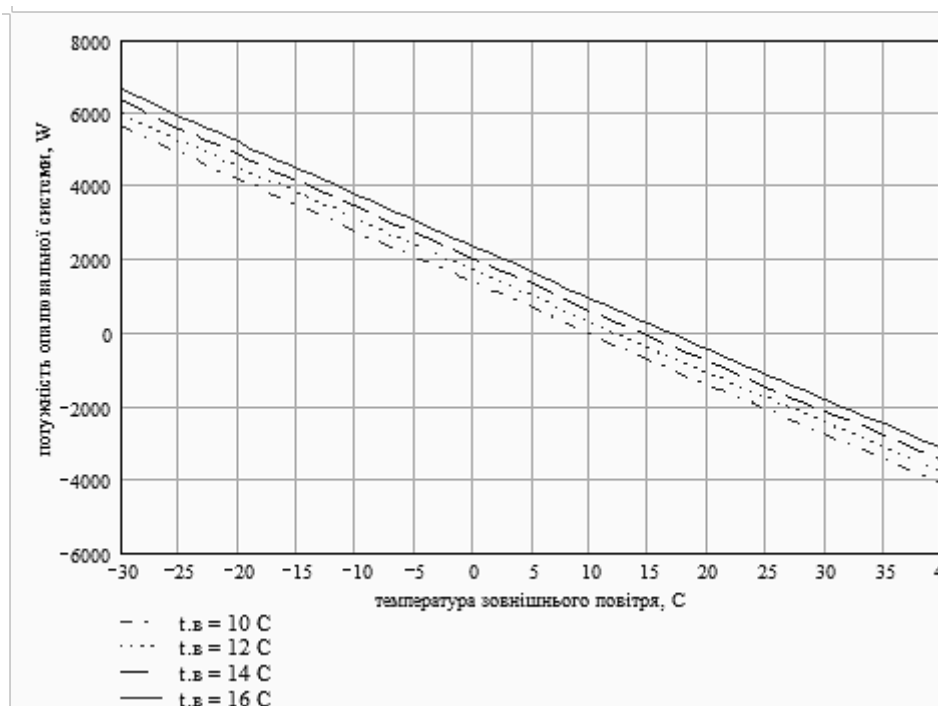


Рисунок. 2. Потужність опалювальної установки теплиці в залежності від температури зовнішнього повітря



Таблиця 1

Теплоповітряний баланс культиваційного приміщення для грибів

Показник	Зима	Літо
Надлишок («→» дефіцит) теплого потоку, $Q_{надл}$, кВт	– 4,466	4,617
Приплив (надходження) повітря в приміщення, $G_{м.сп}$, кг/с	0,054	– 0,523
Температура зовнішнього повітря, $t_{зв}$, °С	–21	24
Потік теплоти з припливним повітрям, $Q_{пр}$, кВт	– 1,132	–12,6
Потік теплоти на опалення приміщення, $Q_{опв}$, кВт	4,466	–
Потік теплоти на підігрів припливного повітря, $Q_{п.пов}$, кВт	1,995	–
Витяжка (видалення) повітря з приміщення, $G_{м.сп}$, кг/с	0,054	– 0,523
Температура повітря в приміщенні, $t_{в}$, °С	16	16
Потік теплоти з відхідним повітрям, $Q_{в}$, кВт	0,863	–8,4
Баланс: по повітрю, $G_{м}$, кг/с	0	0
по тепловому потоку, $Q_{баланс}$, кВт	0	0

Таблиця 2

Теплоповітряний баланс рослинної теплиці

Показник	Зима	Літо
Надлишок («→» дефіцит) теплого потоку, $Q_{надл}$, кВт	–3,81	4,696
Приплив (надходження) повітря в приміщення, $G_{м.сп}$, кг/с	0,0194	– 0,448
Температура зовнішнього повітря, $t_{зв}$, °С	–21	24
Потік теплоти з припливним повітрям, $Q_{пр}$, кВт	–0,408	–10,8
Потік теплоти на опалення приміщення, $Q_{опв}$, кВт	3,814	–
Потік теплоти на підігрів припливного повітря, $Q_{п.пов}$, кВт	0,681	–
Витяжка (видалення) повітря з приміщення, $G_{м.сп}$, кг/с	0,019	– 0,448
Температура повітря в приміщенні, $t_{в}$, °С	14	14
Потік теплоти з відхідним повітрям, $Q_{в}$, кВт	0,272	–6,3
Баланс: по повітрю, $G_{м}$, кг/с	0	0
по тепловому потоку, $Q_{баланс}$, кВт	0	0

спостерігається: при низьких температурах зовнішнього повітря; при максимально більшій різниці температур в приміщеннях. В залежності від наведених умов, використання ЗСВ дає можливість зменшити



теплову потужність на 12,7 – 20,5%.

Список використаних джерел

1. Лендел Т. І. Енергоефективне керування електротехнічним комплексом теплиці з урахуванням стану біологічного об'єкта : автореф. дис. ... канд. техн. наук, Київ: Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2016, Р. 22.

2. Sethi V. P. et al., «Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies» *Solar Energy*, vol. 96, Pp. 56–82, 2013.

3. Costantino A. et al., «Energy performance and climate control in mechanically ventilated greenhouses: A dynamic modelling-based assessment and investigation» *Applied Energy*, vol. 288, 2021.

4. Gorobec V. and Yatsenko O. «Development and heating systems mathematical model of heat and mass transfer in the greenhouse with alternative energy sources» *Energy and automation*, vol. 1, 2014.

5. Дудник А. О. Синтез та дослідження математичних моделей витрат енергоресурсів на опалення теплиць у зимовий період, *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Техніка та енергетика АПК, т. 194 (3), 2014. С. 218–222.

6. Гірченко М. Т., Голуб Г. А., Жоров В. І., Вдовенко С. А., Кепко О. І., Шаповалов Л. В. Патент. № 57956 А Україна, МКВ А01G9/24. Спосіб вентиляції споруд закритого ґрунту. (Україна). – №2002021688; Опубл. 15.07.2003. Бюл. № 7.

7. Golub G., Kepko O. Modelling the work of closed system of heating and ventilation of greenhouses. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 52, № 2. P. 85–90.

8. Голуб Г. А., Гайденко О. М., Кепко О. І. Інженерія виробництва гливи: колект. монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. 448 с.

9. Szudyga K. Maszkiewicz J. *Uprawa pieczarek*. Warszawa. Hortpress sp. z o.o. 1991, 123 с.

10. Vedder P.J.C. *Nowoczesna uprawa pieczarki*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1980. 423 с.

Стаття надійшла до редакції 12.04.2023 р.

О. Кепко

Uman National University of Horticulture

**CALCULATION METHOD OF CLOSED HEATING AND VENTILATION
SYSTEM OF GREENHOUSES**



Summary

The economic efficiency of greenhouse vegetable growing depends quite significantly on the cost of energy carriers, which is why the introduction of energy-saving technologies in greenhouse vegetable growing is an urgent issue. Mathematical interpretation of the modes and parameters of the microclimate of the cultivation room makes it possible to model different modes of operation of the heating and ventilation equipment and to analyze the influence on the parameters of the microclimate of certain technical and technological solutions in the design of cultivation rooms. This paper proposes a method for calculating a closed system of heating and ventilation of greenhouses, where the opposite type of respiration of plants and fungi is used. The closed system of heating and ventilation of greenhouses is a separate cultivation room in which greenhouse vegetable crops and mushrooms are grown. As you know, to ensure biological processes, plants consume CO₂ and release oxygen, and fungi, on the contrary, consume oxygen and release CO₂. Taking into account this feature, a system with mutual nutrition of plants and fungi with CO₂ and oxygen was proposed. At the same time, the air that moves between the greenhouses has some thermal potential. That is, there is not only gas exchange, but also heat and mass transfer. A static model of the dependence of air exchange on the power of the heating system was developed, which is a system of linear equations of heat balances of mushroom and plant premises. In the proposed form, the model allows, depending on the current temperature values, to determine the amount of air exchange and, accordingly, the power of the heating system. Research conducted with the help of a simulation mathematical model shows that the highest efficiency of the system is observed: at low temperatures of the outside air; with the maximum temperature difference in the premises. Depending on the given conditions, the use of ZSV makes it possible to reduce the thermal power by 12.7 - 20.5%.

Key words: heat balance, cultivation room, mushrooms, mathematical modeling, simulation modeling, closed ventilation system.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-6

УДК 631.56:665.335.5

В. В. Дідур, д.т.н.

ORCID: 0000-0001-7584-5073

Є. А. Петриченко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1037-077X

І. А. Лещенко, д.ф.

ORCID: 0000-0002-0937-6739

Уманський національний університет садівництва

e-mail: didur.vv@gmail.com

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕЗГИ НАСІННЯ САФЛОРА ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПРОЦЕС ВІДЖИМУ ОЛІЇ В ГВИНТОВОМУ ПРЕСІ

Анотація. В статті наведено результати аналізу реологічних властивостей мезги насіння сафлора, описано вплив її реологічних на процес віджиму олії в гвинтовому пресі. Описано як змінюються механічні властивості мезги при зміні вмісту олії, вологості, температури. Розглянуто взаємодію фаз мезги при пресуванні в гвинтових пресах. Представлено моделі реологічних тіл з вказанням їх властивостей, реологічні криві та рівняння стану. Надано схему пружно-еластичних і пластичних деформацій зсуву тіста при постійній напрузі за допомогою механічної моделі тіла: механічну модель, залежність деформації від часу при постійній напрузі та схему роботи моделі.

Ключові слова: реологічні тіла, властивості, реологічні моделі, мезга, пресування.

Постановка проблеми. Для науково обґрунтованого проектування пресового обладнання необхідне знання як самих законів руху харчових мас, так і структурно-механічних властивостей продуктів, що переробляються. Вивченням цих властивостей та закономірностей їх зміни займаються механіка та її розділ реологія – наука про деформації та рух різноманітних середовищ.

Аналіз останніх досліджень. Розгляду реологічних моделей різних матеріалів, що піддаються екструзуванню, присвячені класичні роботи Д. М. Мак-Келві, Д. Х. Чанга, Г. В. Виноградова, В. Де Сіндіо [1] та ін.

Відомості про використання реологічних моделей харчової сировини та напівфабрикатів викладено у роботах Ю. А. Мачихіна, С. А. Мачихіна [2], Б. М. Азарова, Б. А. Ніколаєва, Г. К. Бермана, Г. Г. Зурабішвілі та ін. Ними вивчений процес нагнітання в'язких матеріалів різними робочими органами: шнеками, плунжерами,



вальцями тощо, а також процес нагнітання харчових мас через формуючі отвори матриць.

Мезгу насіння олійних культур слід віднести до багатофазових, а точніше двофазових систем. У механіці ґрунтів розроблена і широко застосовується теорія розрахунку консолідації ґрунтів з одночасним урахуванням фільтраційних властивостей ґрунту і властивостей повзучості [3].

Термін «повзучість», як його зараз розуміють в механіці суцільних середовищ, не охоплює всього процесу деформування багатофазних ґрунтів. У зв'язку з цим більш відповідним є термін «консолідація», під яким розуміють деформування багатофазного середовища в часі при постійному зовнішньому навантаженні. При цьому процес ущільнення відбувається як за рахунок поступового вичавлювання порової рідини, так і за рахунок одночасного протікання реологічних процесів в «скелет» ґрунту [3]. «Скелетом» мезги є гелева фаза [4] – грубодисперсний органічний гелевий порошок, складний за хімічним складом, який має гідрофільні властивості. Рослинна олія з розчиненими в ній речовинами має рідку і гідрофільну фазу. Таким чином, при розробці теорії процесу консолідації мезги насіння олійних культур необхідно враховувати органічний вміст її фаз. З огляду на особливість мезги, доцільно розглянути методика вивчення реології мезги насіння олійних культур.

У механіці ґрунтів однофазними, або квазіоднофазними називають такі ґрунти, при деформації яких співвідношення фаз в одиниці об'єму не змінюється або ним можна знехтувати. Основним критерієм при віднесенні ґрунту до тієї чи іншої розрахункової схеми є доцільність обліку зміни співвідношення фаз в одиниці об'єму ґрунту. Зміна напружено-деформованого стану в часі в двофазних системах ґрунтів пов'язана не тільки з проявом реологічних властивостей «скелета», але і з фільтрацією порової рідини в бік дренажу. Таким чином, процеси, що відбуваються при консолідації ґрунтів подібні до процесів, при віджимі мезги насіння олійних культур в пресах. Теорія консолідації розроблена і широко використовується в механіці ґрунтів [1, 3-5].

Формулювання мети статті. Серед розглянутих джерел не знайдені дослідження з теорії процесу консолідації мезги насіння олійних культур в гвинтових пресах. Тому актуальними задачами є виявлення закономірностей процесу консолідації мезги насіння олійних культур і розробка математичного апарату для його вивчення. Це є шляхом до розробки методів проектування апаратів технологічної лінії віджимання олії з насіння сафлору та інших олійних культур.

Основна частина. М'ятка, що пройшла волого-теплову обробку в жаровні, має назву мезги. Саме мезга надходить в гвинтовий прес. Механізм зміни напружено-деформованого стану мезги в гвинтових



пресах відноситься до багатофазних систем. Основним критерієм при виборі є зміна співвідношення фаз в одиниці об'єму мезги при переміщенні робочим каналом гвинтового пресу. У багатофазній меззі зміна в часі напружено-деформованого стану пов'язана не тільки з проявом реологічних властивостей «скелета» мезги, а й з фільтрацією рослинної олії в бік дренажу, зтиснутого повітря та ін.

Як зазначалось раніше, процеси, що відбуваються при консолідації ґрунтів подібні до процесів, при віджимі мезги насіння олійних культур в пресах [6]. При цьому процес ущільнення мезги відбувається як за рахунок поступового вичавлювання олії, так і за рахунок одночасно протікаючих реологічних процесів в «скелеті» мезги.

Загальна характеристика структури м'ятки і мезги полягає в наступному: I – звичайна м'ятка, що отримується в результаті подрібнення ядра насіння з деяким вмістом оболонки, або подрібнене насіння. II – м'ятка, що отримується в результаті подрібнення проміжних продуктів після жаріння і попереднього вилучення олії.

Мезга, отримана як з першого, так і другого виду м'яток являє собою дисперсну систему, що складається з двох фаз. Гелевої гідрофільної фази – грубодисперсного гелевого порошку, складного за хімічним складом, що має гідрофільні властивості та рідкої гідрофільної фази – олії з розчиненими в ній речовинами.

У разі двофазної мезги геометричні розміри ущільнюваної області будуть істотно впливати на тривалість процесу деформування. При цьому очевидно, що процес деформування протікає в залежності від фізико-механічних властивостей кожної фази мезги окремо і від характеру їх взаємодії.

При математичному описі процесів консолідації двофазної мезги має бути відомо наступне:

А. Реологічні рівняння стану кожної фази мезги.

В. Характер взаємодії окремих фаз мезги.

С. Зміна співвідношення фаз мезги до одиниці об'єму в процесі консолідації.

Деформування в часі двофазної мезги, яке включає два процеси, що протікають одночасно. Перший процес – формування об'ємної зміни в часі гелевої фази, що відбувається в результаті деформування в'язких зв'язків між частинками мезги. Другий, що протікає паралельно, – процес переміщення фаз мезги відносно один одного.

Прийнята в даній роботі розрахункова модель двофазної мезги ґрунтується на наступних умовах А, В, С.

А. Рівняння стану двофазної мезги.

Механічні властивості мезги визначаються не тільки гелевою частиною, але і наявністю олії, її кількістю, ступенем відокремленості. Так, при дуже великому вмісті олії матеріал може виповзати при



пресуванні і при повній відсутності повзучості самої гелевої частини. З цим доводиться рахуватися при побудові схем переробки насіння сафлору. Однак при переробці насіння кожної даної олійної культури при даній олійності матеріалу, при наявному залишку оболонки в ньому, і при інших рівних умовах вирішальними для пресування є саме властивості гелевої частини матеріалу.

Єдине рівняння стану для двофазної мезги запропонувати не можна. Необхідно отримати експериментальне рівняння стану окремо для кожної фази.

Пластичні властивості гелів і, отже, гелевої частини пресованого матеріалу, зокрема величини верхньої межі плинності, змінюються в залежності від ряду обставин. Дослідження пластичності показують, що при збільшенні вологості відбувається збільшення плинності спочатку поступово, а потім при певній вологості настає різкий стрибок в бік підвищення плинності. Причому подальше збільшення вологості дає надзвичайно різке збільшення плинності. Часто дуже невелике перевищення вологості мезги над оптимальним призводить до сильного виповзання матеріалу з пресу. При цьому відбувається стрибкоподібний перехід до пластичної течії.

З іншого боку, деяке зниження вологості нижче оптимальної призводить до різкого зниження пластичності мезги, неправильного поєднання частинок, погіршення віджиму олії. Можна припускати, що зниження вологості збільшує нижню межу плинності матеріалу, який стає вище напружень, що створюються, так, що проміжна зона пластичних деформацій не використовується.

Спостереження за поведінкою мезги при переробці вказують на підвищення пластичності при нагріванні, і навпаки. Для того щоб почалося з'єднання частинок в гвинтовому пресі та утворення макухи, повинна бути досягнута певна пластичність матеріалу. Тому необхідна достатня температура матеріалу і преса. Але це лише нижня межа технічно можливої зони температур. Верхня межа якої визначається зовсім неприпустимими температурами, при яких починається утворення газів в результаті розпаду речовин насіння. Усередині цієї зони лежить вузька оптимальна зона температур, в якій досягається необхідна пластичність. Розташування цієї зони пов'язано з вологістю та іншими характеристиками матеріалу.

Висловлено припущення про зниження пластичності при денатурації білків.

Взаємодія фаз мезги при пресуванні в гвинтових пресах. Маса мезги просувається передніми поверхнями витків в просторі кільцеподібного перетину. Цей перетин обмежений з одного боку поверхнею маточини витків і проміжних кілець і з іншого боку – внутрішньою поверхнею зеєрного барабану.



У робочому просторі зеєрного барабану відбувається поряд з проштовхуванням мезги вперед, так само її ущільнення, що зростає в міру просування до вихідної щілини. Спочатку ущільнення матеріалу йде за рахунок зменшення проміжків між частинками, проникнення одних частинок в проміжки між іншими, причому збільшується число і поверхня контактів між частинками. Відбувається пластична деформація самих частинок, що приводить до зближення внутрішньої поверхні (всередині частинок). В результаті ущільнення пресованого матеріалу відбувається віджимання олії. Олія під дією напору градієнтів, що виникли в ній віджимається в бік внутрішньої поверхні зеєрного барабану. При цьому тиск, що існує в олії, впливає на гелеву фазу, прагнучи зсередини збільшити об'єм пор. Інтенсивність витікання олії через поздовжні щілини між колосниками зеєрного барабану не однакова по довжині зеєра. Це залежить від властивостей мезги і конструкції пресу.

Фізичні властивості мезги як системи, що складається з двох частин - гелевої і олійної, є складним поєднанням властивостей цих частин. Залежно від загального вмісту олії і що особливо важливо, від вмісту олії, що виділяється на поверхні, поєднуються властивості в більшій чи меншій мірі гелевої або олійної частин.

С. Закономірності зміни співвідношення фаз мезги в одиниці об'єму.

Дослідження [7] показують, що переважна більшість олії (до 98% від витягнутої) віджимається в першій половині преса, що підтверджується і характером зміни олійності макухи по довжині валу: повільна зміна в самому початку і в кінці вала і значна до середини вала. Максимальна кількість віджимається в зоні першого і другого ступенів тиску.

Олійність різних шарів пресованого матеріалу по глибині каналу неоднакова. Так олійність бавовняної макухи, отриманої в пресах ФП у внутрішньому шарі, що примикає до валу виявилася на 1,83 – 4,1% вище ніж в зовнішньому шарі, що примикає до зеєрного циліндру. Різниця між олійністю пресованого матеріалу за шарами зменшується до виходу.

Методи реології отримали досить широке поширення. Дослідниками, починаючи з робіт Шведова (1890) і Бінгама (1919), були запропоновані різні схеми поведінки матеріалу, в основу яких покладені експериментальні факти.

Найпростішим експериментом, що виявляє реологічні властивості однофазних ґрунтів, є стискання зразка породи циліндричної форми з торців постійним навантаженням з можливістю вільного бічного розширення. Виявляється, що деформація не зупиняється миттєво, а продовжує розвиватися з плином часу. У цьому випадку її називають



деформацією повзучості. При цьому деформація зразка буде тим більше, чим довше він перебував під постійним навантаженням.

Для кількісної оцінки явищ необхідний аналітичний зв'язок між змінними деформаціями, напруженнями, швидкостями деформації і часом. Такий зв'язок встановлюється на основі тієї чи іншої гіпотези, в залежності від якої і розрізняються теорії повзучості. У роботах [3, 5] розглядається теорія ґрунту, в основі «скелету» якого лежать природні мінерально-дисперсні утворення. Тому використовуючи напрацьовану теорію ґрунту, ми повинні враховувати реологію органічних речовин, до яких відносяться харчові маси [1, 2, 7, 8].

Властивості твердих тіл складні і різноманітні. Тому слід в кожному конкретному випадку вибирати математичну модель, яка відображає найбільш істотні властивості матеріалу в розглянутій задачі.

Реологічні моделі представлені на рисунках 1 і 2.[8].

Ідеальні тіла. Всі ідеалізовані тіла є умовними, неіснуючими в природі, але вони є якби відправним пунктом, що розглядається при описанні поведінки реальних матеріалів. Відомі три моделі ідеалізованих матеріалів: ідеально-пружне тіло, або Гукове тіло, ідеально-пластичне тіло Сен-Венана і ідеально в'язка рідина, або ньютонівська рідина.

Пружне тіло є консервативною системою, тобто енергія, витрачена на деформацію, накопичується в тілі і може бути повернута при розвантаженні.

В'язка рідина і пластичне тіло є диссипативними системами: механічна енергія, витрачена на подолання внутрішнього тертя і на пластичну деформацію, перетворюється в теплоту.

У пружному тілі напружений стан пов'язаний з миттєвою деформацією, в'язкої рідини і в пластичних тілах – з миттєвим станом течії. У разі в'язкої течії механічна енергія залежить від швидкості деформації, в разі пластичної не залежить.

Ідеально-пружне тіло.

Пружне тіло, що підкоряється закону Гука, може бути описано рівнянням

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

де σ – нормальна напруга;

E – модуль пружності;

ε – лінійна деформація.

При цьому приймається, що деформації виникають безпосередньо після прикладання навантаження і швидкість поширення деформації практично миттєва, внаслідок чого в даному випадку модуль

Модель	Загальні властивості	Реологічні криві	Рівняння стану
I Ідеальні тіла			
а 	Модель твердого тіла Гука, Пружне тіло		$\tau = G\gamma$ або $\delta = E\varepsilon$
б 	Модель ідеально пластичного тіла Сен-Венана		$\tau = \tau_y$
в 	Модель ідеально в'язкої рідини Ньютона		$\tau = \eta\dot{\gamma}$
II Складні (складені) моделі			
г 	Пружно-пластичне тіло		1. При $\tau < \tau_y$ пружний стан $\tau = G\gamma$ 2. При $\tau = \tau_y$ пластична течія

Рисунок 1. Реологічні тіла [9]

можна назвати модулем миттєвої деформації. Якщо розглядати деформацію призми, яка перебуває під дією (дотичної) напруги, прикладеної до верхньої межі, то закон Гука має вигляд



$$\tau = G\gamma, \quad (2)$$

де τ – дотична напруга;

G – модуль зсуву;

γ – кут здвигу або градієнт зміщення зсуву або градієнт зсуву.

Модуль зсуву G пов'язаний з модулем розтягування E залежністю

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}, \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт Пуансона.

Якщо реальне тверде тіло в будь-якому діапазоні напруги після зняття напружень миттєво повертається до своєї первісної форми, то воно виявляє властивості ідеально-пружного тіла.

Моделлю ідеально-пружного тіла є спіральна пружина (рис. 1а).

Ідеально-пластичне тіло. До тих пір поки величина прикладеної до тіла напруги лежить нижче деякого критичного значення σ_T (τ_T) (границі текучості), матеріал залишається жорстким: в той момент, коли напруга досягає межі текучості, починається пластична, течія матеріалу при постійній нарузі.

Модель ідеально-пластичного тіла Сен-Венана може бути представлена у вигляді елемента, що лежить на площині з постійним по величині тертям, що не залежить від нормальної сили (рис. 1б). Статичний і кінематичний коефіцієнти тертя приймаються рівними. Тіло починає рухатися до тих пір, поки напруга не перевищить граничне напруження зсуву. Після цього елемент може рухатися з будь-якою швидкістю.

Модель в'язкої рідини представлена на рис. 1в у вигляді перфорованого поршня, що переміщається в циліндрі з рідиною. Модель характеризується тим, що в ній напруга пропорційна швидкості деформації, тому рівняння стану для такої рідини буде записуватися у вигляді

$$\tau = \eta\dot{\gamma}, \quad (4)$$

де η – коефіцієнт в'язкості;

$\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву.

$$\tau = \tau_T. \quad (5)$$

Для моделювання реальних тіл, що мають всі реологічні властивості, але їх не однаковою мірою, можна комбінувати в різних поєднаннях моделей ідеальних тіл. Іноді спроба відбити всі властивості реальних тіл в їх сукупності призводить до вельми складних і тому неприйнятних реологічних моделей. У деяких випадках реологічна модель може



задовільно відображати властивості реальних тіл тільки в певних інтервалах зміни температури, вологості, тиску та інших параметрів. За межами цих інтервалів поведінка реологічного тіла внаслідок зміни його властивостей може сильно розходитися з складеною моделлю.

Моделі ідеальних тіл можуть з'єднуватися між собою паралельно, або послідовно. При паралельному з'єднанні повне навантаження на тіло складається з навантажень, що передаються окремими елементами, а швидкість подовження елементів однакова. При послідовному з'єднанні повна швидкість подовження дорівнює сумі швидкостей складових елементів, а кожен з елементів передає повне навантаження. Всі моделі, що показані працюють на простому розтягненні, але вони можуть описувати не тільки подовження, але і зрушення і всебічне розтягнення-стиснення. Пружнопластичне тіло виходить при послідовному з'єднанні пружного і пластичного елементів (рис. 1г). при $\tau < \tau_r$ має місце пружний стан, при якому $\tau = G\gamma$; при $\tau = \tau_r$ настає стан пластичної течії.

Модель Максвеллівського тіла являє собою послідовне з'єднання моделей Гуковського і Ньютоновського тіл (рис.2д).

За умови, що сумарна деформація γ дорівнює сумі деформацій пружного і в'язкого елементів, маємо:

$$\gamma = \gamma_y + \gamma_v \quad (6)$$

де пружна складова за законом Гука

$$\gamma_y = \frac{\tau}{G}. \quad (7)$$

а для в'язкого елемента

$$\gamma_v = \frac{\tau}{\eta}. \quad (8)$$

диференціюючи по t вирази (1) та (2), отримуємо

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_y + \dot{\gamma}_v, \quad (9)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\tau}}{G}. \quad (10)$$

Підставляючи вирази (3) і (5) в рівняння (4), знаходимо

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\tau}}{G} + \frac{\tau}{\eta}. \quad (11)$$


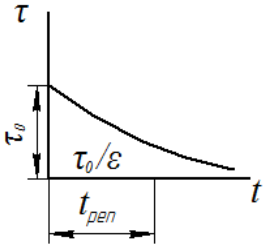
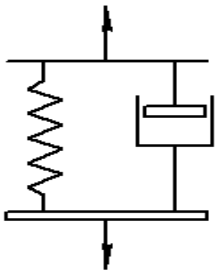
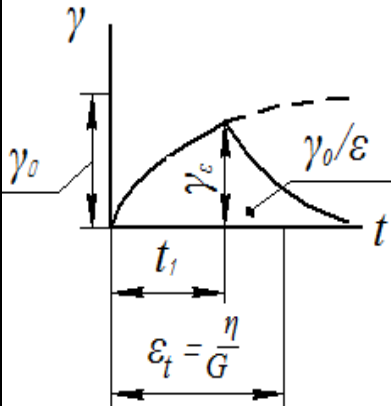
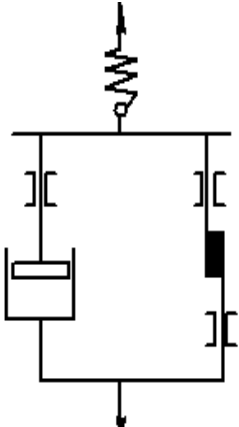
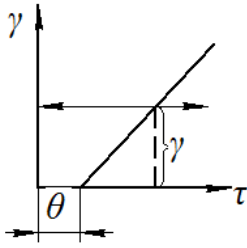
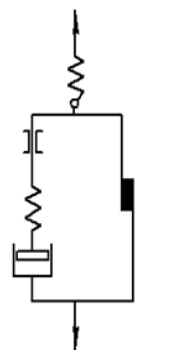
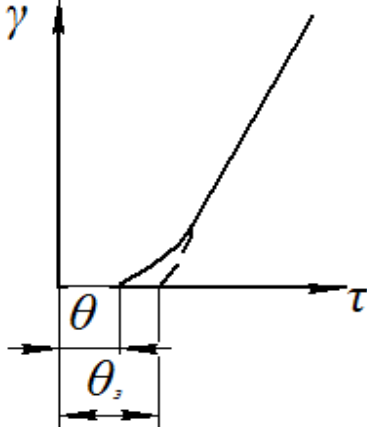
Модель	Загальні властивості	Реологічні криві	Рівняння стану
д 	Пружне в'язке релансуюче тіло Максвелла		$\gamma = \frac{\tau}{G} + \frac{\tau}{\eta}$
е 	Тіло Кельвіна або Фойгта, пружний наслідок		$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$
ж 	Тіла Бінгама		$\tau = \tau_y - \eta_{пл}\dot{\gamma}$
з 	Тіла Шведова		$\gamma = \frac{\tau - \tau_y}{\eta_{пл}} + \frac{\tau}{G}$

Рисунок 2. Реологічні тіла [9]



Рівняння (6) вперше було запропоновано Максвеллом. Це рівняння є лінійним диференціальним рівнянням відносно τ . Його рішення буде:

$$\tau = \left(e^{-\frac{G}{\eta}t} \right) \left[\tau_0 + G \int \dot{\gamma} e^{\frac{G}{\eta}t} dt \right], \quad (12)$$

де τ_0 – напруга в початковий момент часу ($t=0$).

Якщо миттєво завантажити розглянуте тіло і вважати, що в момент $t=0$ докладена напруга τ_0 , то безпосередньо після завантаження тіла в'язка деформація дорівнює нулю і деформація тіла дорівнює тільки пружній деформації:

$$\gamma_0 = \frac{\tau_0}{G}. \quad (13)$$

Якщо після цього забезпечити незмінність у часі цієї деформації, тобто $\dot{\gamma} = 0$, то і рівняння (6) набуде вигляду

$$\frac{\dot{\tau}}{G} + \frac{\tau}{\eta} = 0. \quad (14)$$

звідки, інтегруючи, знаходимо

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{G}{\eta}t}. \quad (15)$$

Величина $\frac{\eta}{G} = T_{\text{рел}}$ була названа Максвеллом періодом релаксації, при $t=0$ $\tau = \tau_0$, а при $t = T_{\text{рел}} = \frac{\eta}{G}$; $\tau = \frac{\tau_0}{e}$, тобто період релаксації - це той час, протягом якого напруга падає в e раз. при збільшенні t напруга τ зменшується і при $t \rightarrow \infty$ тіло приходиться в ненапружений стан. Графік релаксації при постійній деформації показаний на рис. 2д.

Тіло Кельвіна або Фойгта (рис. 2е). Модель Кельвіна виходить при паралельному з'єднанні пружного і в'язкого елементів. В цьому випадку сума напруг дорівнює сумі напруг τ_y та τ_v пружного і в'язкого елементів:

$$\tau = \tau_y + \tau_v \quad (16)$$

Враховуючи, що

$$\tau_y = \gamma G, \quad \tau_v = \eta \dot{\gamma}, \quad (17)$$

Отримаємо:

$$\tau = \gamma G + \eta \dot{\gamma}. \quad (18)$$

Рівняння (10) являє собою лінійне диференціальне рівняння щодо γ . Інтегруючи його, знайдемо спільне рішення

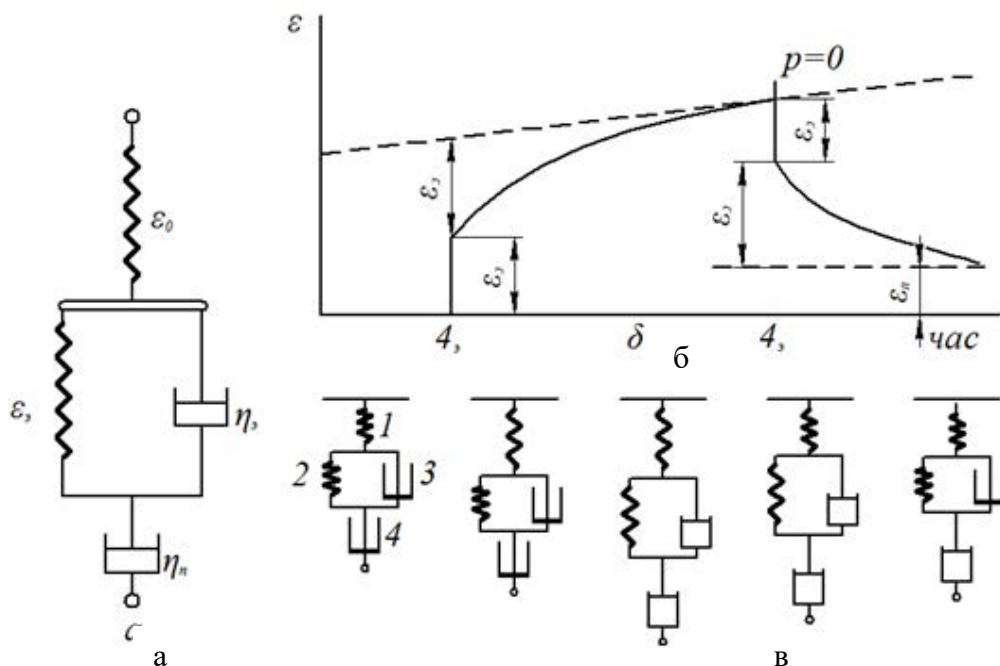
$$\gamma = e^{-\frac{G}{\eta}t} \left[\gamma_0 + \frac{1}{\eta} \int \tau e^{\frac{G}{\eta}t} dt \right], \quad (19)$$

де γ_0 – деформація в початковий момент часу ($t=0$);

$$\gamma_0 = \frac{\tau_0}{G}. \quad (20)$$

Пружно-пластичні властивості твердо-рідких тіл, аналогічних тісту, для більшої наочності іноді характеризують механічними моделями, що складаються з декількох пружних елементів - пружин і поршнів, що рухаються у в'язкій рідині [2].

На рис. 3 приведена схема механічної моделі, що складається з чотирьох елементів: двох елементів тіла Максвелла (E_0, η_{II}) і двох елементів тіла Кельвіна (E_1, η_1).



а – механічна модель; б – залежність деформації від часу при постійній нарузі; в – схема роботи моделі

Рисунок 3. Схема пружно-еластичних і пластичних деформацій зсуву тіста при постійній нарузі за допомогою механічної моделі тіла [10]

Дія моделі відбувається в умовах постійної нарузі. Загальна



сумарна пружно-еластично-пластична деформація зрушення такої моделі розвивається послідовно. Залежно від тривалості дії розвиток сумарної деформації цієї моделі може бути наближено вираженими рівняннями, що складається з трьох частин, які характеризують миттєво-пружну, еластичну і пластичну деформації:

$$\varepsilon = \frac{P}{E_0} + \frac{P}{E_s} (1 - e^{-\tau/\theta}) + \frac{P}{\eta} \tau. \quad (21)$$

Для реальних дисперсних систем вони є недостатньо точними, оскільки ці системи характеризуються статистичним рядом частинок, що мають «спектр» деформацій зсуву, що розрізняються в умовах однакових напружень.

Реальні величини пружно-еластичних і залишкових, пластичних деформацій, необхідних для обчислень модулів зсуву і в'язкості тіста, отримують за допомогою різних приладів – еластовіскозіметрів. Найбільш цінні відомості про механічні властивості незруйнованої структури мучного тіста отримують шляхом деформацій його зсуву при постійній нарузі, концентрації сухих речовин і температурі в умовах вельми малих градієнтів швидкості деформації. Це дає можливість визначити технологічні властивості зерна і борошна з нього, оцінити процеси деформацій в умовах малих швидкостей збільшити обсяг тіста при бродінні і випічці [11].

Висновки. Знання фізико-механічних і реологічних властивостей продуктів виробництва і закономірностей їх зміни може вказати нові шляхи управління технологічними процесами, полегшити розробку методів контролю і автоматизації цих процесів, а також відшукати правильне рішення при проектуванні нового обладнання та вимірювальної апаратури.

Список використаних джерел

1. В. De Cindio, N. Baldino, D. Gabriele, F.R. Lupi Rheological Properties of Food Materials. *Encyclopedia of Food and Health*, University of Calabria, Arcavacata di Rende (CS), Italy. 2016. Pp. 610–617. DOI:10.1016/B978-0-12-384947-2.00592-4
2. Мачихин Ю. А. Формование пищевых масс / Ю.А. Мачихин, Г. К. Берман, Ю.В. Клаповский. М.: Колос, 1992. 272 с.
3. Guangli Z. Rheological properties of soil: a review 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 64 012011. DOI 10.1088/1755-1315/64/1/012011
4. Mckeon T. A., Hayes D. G., Hildebrand D. F., Weselake R. J. Introduction to industrial crops. *Industrial Oil Crops*. Amsterdam, Netherlands, Academic press and Champaign-Urbana, IL, USA, AOCS, 2016. P. 1–13
5. Yin Jian-Hua, Weiqiang Feng A New Simplified Method and Its



Verification for Calculation of Consolidation Settlement of a Clayey Soil with Creep. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 54, 2016. Pp. 333–347. DOI:10.1139/cgj-2015-0290

6. Bhandary P. Radhika A. Krishnamoorthy, A. U. Rao A review on consolidation theories and its application *International Journal of Geotechnical Engineering*. London. Vol. 14, 2020. Pp. 102–111.

7. Dijkstra A., Duijn G. Vegetable Oils: Oil Production and Processing. *Encyclopedia of Food and Health*. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00707-8

8. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Vereshchaga A. Vereshchaga Rheology of the pulp of castor-oil seeds and its effect on the process of pressing. *Advances Of Science: Proceedings of articles the international scientific conference*. Karlovy Vary, Kyiv: MCNIP, 2018. P.609-618.

9 Дидур В. А., Ткаченко В. А. Технология переработки семян клещевины на малотоннажных предприятиях. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Мелітополь: Копіцент «Документ-сервіс», 2014. Вип. 4. С. 21–35.

10. Дидур В. А., Ткаченко А. В. Термодинамічні характеристики елементів насіння підсопнячника. *Науковий вісник НУБіП України*. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2016. Вип. 251. С.19–30.

11. Михайлик В. Визначення структурно-механічних властивостей тіста зі шроту олійних культур. *Праці ТДАТУ*. ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 1.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2023 р.

V. Didur, I. Petrychenko, I. Leshchenko
Uman National University of Horticulture

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SAFFLOWER SEED MUSCLE AND THEIR INFLUENCE ON THE OIL PRESSING PROCESS IN A SCREW PRESS

Summary

Scientifically based design of press equipment requires knowledge of both the laws of the flow of food masses and the structural and mechanical properties of processed products. The pith of oilseeds should be classified as a two-phase system. When developing a theory of the process of its consolidation, it is necessary to take into account the organic content of its phases. In the case of a two-phase pulp, the geometric dimensions of the densified area will significantly affect the duration of the deformation process. At the same time, it is obvious that the process of deformation proceeds depending on the physical and mechanical properties of each pulp phase separately and on the nature of their interaction. In the mathematical description of the consolidation processes of two-phase pulp, the following should be known: rheological equations of



state of each phase of the pulp, the nature of the interaction of individual phases of the pulp, the change in the ratio of the phases of the pulp per unit volume during the consolidation process. The article presents the results of the analysis of the rheological properties of the pulp of safflower seeds. the influence of the rheological properties of pulp on the process of oil extraction in a screw press is described. It is described how the mechanical properties of the pulp change when the oil content, humidity, and temperature change. The interaction of pulp phases during pressing in screw presses is considered. Models of rheological bodies with their properties, rheological curves and equations of state are presented. A scheme of elastic-elastic and plastic shear deformations of the dough under constant stress using a mechanical model of the body is provided: a mechanical model, the dependence of deformation on time under constant stress and a scheme of the model.

Key words: rheological bodies, properties, rheological models, pulp, pressing.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-7

УДК 631.361.43: 664.788

Н. О. Фучаджи, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1248-4068

В. О. Верхоланцева, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-1961-2149

Н. О. Паляничка, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

О. О. Червоткіна, асист.

ORCID: 0000-0002-6814-0566

¹*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

e-mail: natalia.fuchadzhy@tsatu.edu.ua, тел.: 068-877-85-89

НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ ОБРУШУВАЛЬНИХ МАШИН

Анотація. Стаття присвячена розробці підривних машин. У роботі розглянуто напрямки вдосконалення підривних машин, а саме модернізації робочих органів і конструкцій в цілому.

Перспективи розвитку технології виробництва рослинної олії на сучасному етапі ринкового реформування в Україні тісно пов'язані, насамперед, з удосконаленням найбільш енерго- та матеріаломістких технологічних процесів.

Подрібнення олійної сировини є однією з основних технологічних операцій у виробництві рослинної олії. Від ефективності цього процесу безпосередньо залежать обсяги виробництва і якість кінцевого продукту.

Вимоги щодо скорочення поопераційного складу технологічних процесів, зниження енергетичних витрат на його виконання та підвищення якості готової продукції зумовили створення різноманітних способів підготовки насіння до обробки та інтенсифікацію операцій обробки. На їх основі можливі рішення та конкретні завдання при розробці компактних технологічних процесів виробництва круп на агрегатному обладнанні.

Значні витрати матеріально-енергетичних ресурсів, втрати сировини і готової продукції та висока інертність системи централізованої переробки насіння олійних культур вимагають негайної децентралізації виробництва хліба на основі створення технологічного забезпечення і технічного оснащення малих переробних підприємств і цехів фермерських господарств. Вирішення проблеми технічного забезпечення автономного виробництва зернових культур безпосередньо в регіонах вирощування сировини зумовлює необхідність створення нових засобів цільового технологічного



призначення та повного технічного рішення у вигляді агрегатного обладнання .

Ключові слова: обрушення, дека, бичі, лопатки, струни.

Постановка проблеми. Перспективи розвитку технології виробництва рослинної олії на сучасному етапі ринкової реформи в Україні тісно пов'язані, насамперед, з удосконаленням найбільш енерго- та матеріалоемних технологічних процесів.

Обрушення олійної сировини – одна з основних технологічних операцій при виробництві рослинної олії. Від ефективності цього процесу безпосередньо залежать обсяги виробництва та якість кінцевого продукту.

Перспективними є дослідження машин ударної дії, які відповідають вимогам ресурсозберігаючих технологій і придатні для обрушення різних культур. [11]

Аналіз останніх досліджень. Визначення напрямків розвитку наукового потенціалу галузі переробки олійних культур належить вітчизняним ученим, якими створені наукові школи по рішення практичних і теоретичних проблем удосконалення технологій виробництва продовольчих товарів. Суттєвий вплив на розвиток технологій олійного виробництва мали наукові роботи д.т.н. В. В. Белобородова, д.т.н. В. А. Маслікова, д.т.н. А. І. Голдовського. [5, 6, 8].

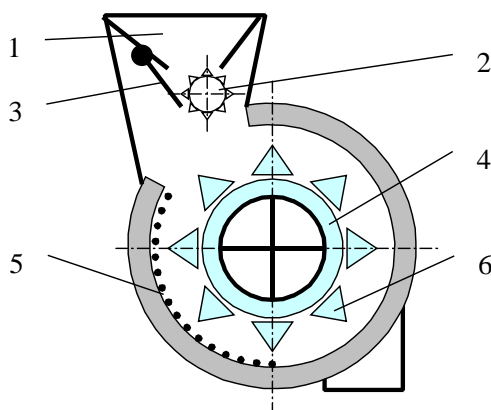
Формулювання мети статті. Створення агрегатного устаткування для переробки олійних культур в рослинну олію на місцях вирощування сировини, споживання готової продукції та утилізації побічних продуктів виробництва обумовлює обґрунтування геометрії робочих органів, встановлення оптимальних кінематичних параметрів і визначення необхідних витрат енергії та потрібної потужності на реалізацію технологічного процесу.

Основна частина Для обрушення олійного насіння застосовуються різні конструкції обрушувальних машин. Залежно від фізико – механічних властивостей тканин олійного сім'я створена машини для руйнування плодової і насінної оболонки, різні за принципом роботи. Для сім'я соняшнику і іншого шкірястого насіння, що має крихку оболонку, дія машин для руйнування оболонки заснована на ударі сім'я об тверду поверхню [1, 3]. Для насіння, що має волоконну оболонку, міцну і еластичну, застосовується розрізання оболонки.

До обрушувальних належать машини у яких обрушення відбувається за рахунок одноразового чи багаторазового удару. Прискорення, що необхідне до розганяння для здобуття критичної ударної швидкості насіння отримує від бичів, що обертаються та

відкидають насіння на деку або за допомогою лопаток встановлених на роторі чи трубок, з'єднаних з живильним бункером. У іншому випадку насіння вільно зісковзує з напрямного конуса та зіштовхується у вільному падінні зі струною, що обертається у горизонтальній площині. [2, 4]

Типовою машиною для обрушення багаторазовим ударом є бичові насіннерушки (рис. 1), у яких дека виконана з абразивною чи сталевую поверхнею, причому в останньому випадку гладка сталевая поверхня замінюється на ребристу, котра утвориться при укладанні вздовж циліндра профільних шматочків або круглих стержнів. Обертовий ротор звичайно має поздовжні бичі, встановлені під кутом до утворюючого циліндра, що забезпечує переміщення насіння від прийому до виходу. Ефективність обрушування може регулюватися зміною швидкості обертання ротора, а також рівня насіння в робочій зоні, що, у свою чергу, залежить від кута нахилу бичів і положення заслінки на вихідному отворі циліндра [1, 2].



1 – живильний бункер; 2 – рифлений живильний валець; 3 – регульовальна заслінка; 4 – бичевий барабан; 5 – дека; 6 – бичі.

Рисунок 1. Бичова насіннерушка типу МРН

Після розгляду роботи бичерушки стає очевидним, що рух насіння усередині робочої камери носить хаотичний характер, що не може не відобразитися на якості її роботи.

Якщо насіння не обрушилося при першій зустрічі з бичами, то, хоча вони відкидаються на деку з великою швидкістю, через неупорядкований рух в своєму польоті до деки вони зіштовхуються один з одним та втрачають отриману кінетичну енергію. Внаслідок цього вони не руйнуються у момент зустрічі з декою. Вірогідність зіштовхування насіння під час польоту збільшується із збільшенням відстані між бичами та декою (тобто при відвалених деках).

Крім того, сила удару бичів по насінню залежить від того, на яке місце бича потрапляє насіння. Найбільша сила удару спостерігається у



того насіння, які потрапляють на зовнішню кромку бича, найменша – у насіння, що потрапляє на внутрішню кромку бича [4].

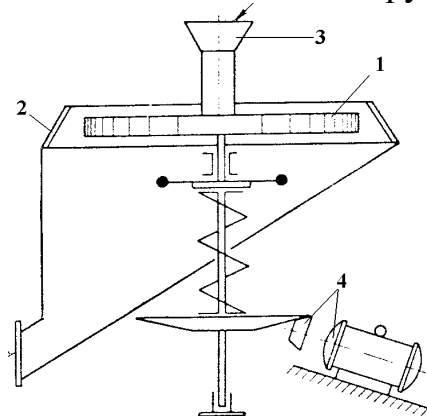
Хвильова поверхня деки також зумовлює нерівномірність удару насіння об неї. Насіння може зіткнутися з декою під різними кутами. Наприклад, якщо насіння зустрічається з хвилею деки по нормалі, то під впливом кінетичної енергії виникає удар, який руйнує оболонку. Оскільки площа контакту насіння та деки в цьому випадку найменша, то ефект руйнування буде найбільший. Якщо насіння зустрічається з декою по нормалі, але потрапляє до заглиблення хвилі, то через збільшення площі контакту ефект руйнування буде меншим, ніж у першому випадку. Коли насіння з декою зустрічається під деяким кутом, то відбувається розкладання сил, нормальна складова може виявитися недостатньою для руйнування оболонки [10]. Оскільки під час роботи одночасно спостерігаються усі три види зустрічі насіння з декою при певній швидкості обертання бичевого барабану, то обрушування дає й недоруж, й подрібнене ядро й ціле ядро.

До переваги бичевих машин слід віднести велику продуктивність та можливість обрушування насіння з високою вологістю. Недоліками бичевих луцильних машин є неупорядкований рух насіння, ненормоване число повторних ударів насіння об деку та бичі (від 8 до 20), неоднакова сила удару бичів по насінню, що визначає відносно низькі якісні показники її роботи й робить процес обрушення некерованим.

Обрушення насіння одноразовим ударом відбувається у відцентрових луцильниках та пристроях ударної дії. В конструкції луцильної машини відцентрової дії реалізується тільки один удар насіння об деку (рис. 2) [7]. Робочими органами машини є диск 1 з лопатками і конічна дека 2. Під дією відцентрової сили насіння, рухаючись по лопатках від центру до його периферії, і сходять з лопаток з великою швидкістю. Пролітаючи зазор між декою і ротором, насіння ударяються об деку, за рахунок чого й відбувається обрушення. Обрушене насіння падає вниз, чому сприяє нахил деки, і виводяться по лотку з машини. Згідно даних [10] рушанка має вищу якість в порівнянні з рушанкою, отриманою в бичевій насіннерушці.

На якість роботи відцентрової луцильної машини великий вплив має число обертів ротора, яке повинно регулюватися з точністю до 10 об/хв [9]. Важливим фактором, що впливає на якість обрушення відцентрових луцильних машин, є напрямок удару насіння об деку. Експериментально встановлено, що найменше енергії витрачається на руйнування оболонки, при збереженні цілим ядра, при прямому ударі насіння об деку. При прямому ударі кінетична енергія насіння не втрачається на тертя об деку, а витрачається на деформацію оболонки насіння, що забезпечує більш якісне їх обрушення, оскільки кількість

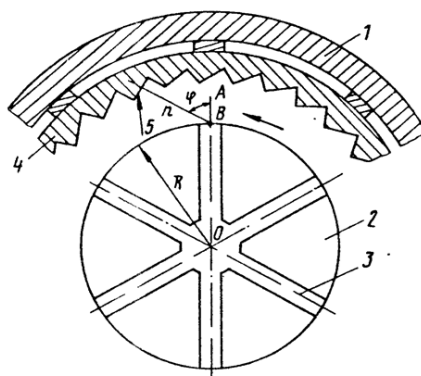
неорушеного та недорушеного насіння в складі рушанки зменшується.



1 – диск з радіальними лопатками; 2 – дека; 3 – живильний бункер;
4 – привод

Рисунок 2. Схема відцентрової насіннерушки

Конструкторами А.Н.Кудрявцевим та В.А.Ватутіним [10] була запропонована конструкція відцентрової насіннерушки із ступінчатою декою, в якій удар наближається до прямого (рис. 3). Проте ця машина має суттєві недоліки: ступенева дека має зони, де умови прямого удару не виконані; підвищений аеродинамічний опір; відсутність регулювання кута удару об деку із зміною технологічних властивостей перероблюваної сировини.



1 – корпус; 2 – ротор; 3 – радіальні канали; 4 – дека

Рисунок 3. Схема відцентрової насіннерушки із ступінчатою декою

Конструкційне рішення деки із регулюванням напрямку удару, є дека виконана із сегментів (відбивних лопаток) шарнірно з'єднаних із корпусом машини. Сегменти можуть повертатись відносно вертикальних осей шарнірів та фіксуватись під заданим кутом механізмом регулювання. Конструкція на практиці не перевірена, вона має недоліки, властиві конструкції ступеневої деки.

Конструкційне рішення деки із регулюванням напрямку удару запропоноване багатьма авторами [9]. Конструкція деки в цьому



пристрої виконана із сегментів (відбивних лопаток) шарнірно з'єднаних із корпусом машини. Сегменти можуть повертатись відносно вертикальних осей шарнірів та фіксуватись під заданим кутом механізмом регулювання. Конструкція на практиці не перевірена, вона має недоліки, властиві конструкції ступеневої деки.

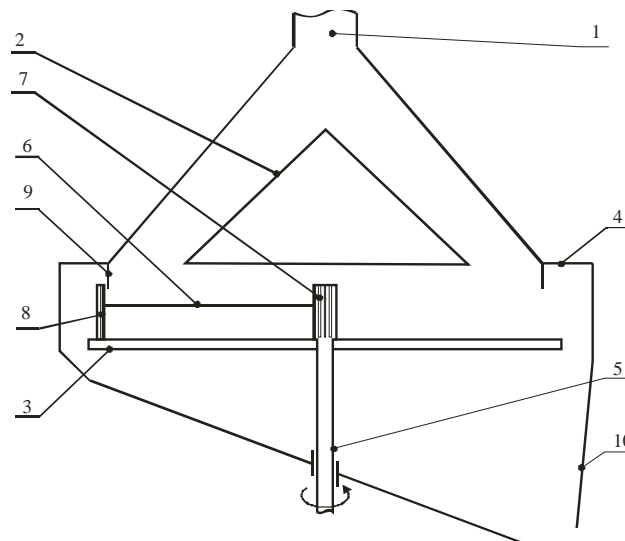
Не менш перспективним напрямком удосконалення відцентрових луцильних машин має бути впровадження схем роторів із криволінійними напрямними трубками сталої кривизни [7] і роторів з еластичними трубками, кривизна яких може змінюватись механізмом регулювання, які запропоновані автором роботи.

В цих машинах вибором кривизни трубки можна змінювати напрямок відносної швидкості насіння і наближати удар його об деку до прямого, при гладкій конічній поверхні деки.

До переваг цього методу слід віднести високу технологічну ефективність та порівняно малі витрати енергії. Недоліки – швидке зношування робочих органів – лопатей (трубок) та відбиваючої деки. Через це лопаті (трубки) виконують змінними, а дека виконує гармонічні рухи у вертикальному напрямку, що збільшує ширину зони удару та довговічність деки.

Основні напрямки вдосконалення таких обрушувальних машин це визначення оптимальних розмірів та форми ротора, підвищення зносостійкості робочих органів. Використання надійних варіаторів для регулювання швидкості обертання ротора [7].

В основу другого типу машин для обрушення насіння одноразовим ударом слід віднести луцильний пристрій ударної дії. Як було зазначено вище оптимальним для здійснення найбільш ефективного руйнування оболонки є прямий удар. Враховуючі ці дослідження, на базі кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету було розроблено пристрій для обрушення насіння ударної дії (рис.4) [9]. Впровадження нової конструкції робочих органів, дозволяє забезпечити постійність прямого удару, нормування числа ударів, зниження металоємності пристрою та, як наслідок, енергоємності процесу обрушення.



1 – живильний бункер; 2 – напрямний конус; 3 – диск; 4 – корпус;
5 – вал; 6 – струни; 7 – струнорозподільник; 8 – струнотримач;
9 – перегородка; 10 – вихідний патрубок.

Рисунок 4. Схема пристрою для обрушення за допомогою удару

Розроблені робочі органи пристрою для обрушення насіння ударом дозволяють забезпечити постійність одноразового прямого удару, а саме струна, що жорстко встановлена у площині, яка перпендикулярна площині падіння насіння. Енергія, яка виникає при попаданні продуктів обрушення на диск, спрямовується на їх видалення. Внаслідок одноразового прямого удару зменшується енергія, яка витрачається на руйнування оболонки, при збереженні цілого ядра, що призводить до зменшення енергоємності пристрою.

Висновки. Вимоги до скорочення поопераційного складу технологічних процесів, зменшення витрат енергії на його реалізацію та підвищення якості готової продукції обумовили створення різних методів підготовки насіння до переробки та інтенсифікації обробних операцій. На їх основі можливі рішення і конкретних завдань при розробці компактних технологічних процесів виготовлення крупи на агрегатному устаткуванні.

Значні витрати матеріальних та енергетичних ресурсів, втрати сировини і готової продукції та висока інертність системи централізованої переробки олійних культур потребують негайної децентралізації виробництва хлібопродуктів на основі створення технологічного забезпечення та технічного оснащення малих переробних підприємств і цехів фермерських господарств. Рішення проблеми технічного забезпечення автономного виробництва крупів безпосередньо в регіонах вирощування сировини робить необхідним створення нових засобів конкретного технологічного призначення та завершеного технічного рішення у вигляді агрегатного устаткування.



Список використаних джерел

1. Andrey Dmitriev, Bulat Ziganshin¹, Damir Khaliullin¹, Alexey Aleshkin Study of efficiency of peeling machine with variable deck *Engineering for rural development* Jelgava, 2020 1053–1058 DOI:10.22616/ERDev.2020.19.TF249
2. Aremu D. O., Adewumi I. O., Ijadunol J. A. Design, Fabrication and Performance Evaluation of a Motorized Maize Shelling Machine *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 2015. Vol. 5, No.5
3. Chandan Solanki, D. Mridula, S.K. Aleksha Kudos and R.K. Gupta Buckwheat Dehuller and Optimization of Dehulling Parameters *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 2018 7 (11) 1041-1052 DOI:0.20546/ijcmas.2018.711.120
4. Rajesh Kumar Vishwakarma, Uma Shanker Shivhare, Saroj Kumar Nanda Novel method and machine for dehulling of guar seeds and optimisation of dehulling process *Food and Bioproducts Processing* Volume 99, July 2016, Pages 51-57 DOI:10.1016/j.fbp.2016.04.001
5. Белобородов В. В. Основные процессы производства растительных масел. М.: Пищевая промышленность 1966. 478 с
6. Гавриленко И. В. Оборудование для производства растительных масел. 2-е изд. Переработ. и доп. М.: Пищевая промышленность, 1972. 312 с.
7. Єременок І. В. Удосконалення луцильної машини відцентрової дії: дис. к-та техн. наук: 05.05.11. Київ, 2001. 152 с.
8. Кошевой Е. П. Технологическое оборудование предприятий производства растительных масел. СПб: ГИОРД, 2011. 368 с.
9. Фучаджи Н. О. Оптимізація технологічного процесу луцення власнокруп'яних культур: дис. к-та техн. наук: 05.18.03. Херсон 2006. 168 с.
10. Шутенко Є. І., Соц С. М. Технологія круп'яного виробництва ОНАХТ. 2010. 272 с.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2023 р.

N. Fuchadzhy, O. Kovalov, N. Palianychka, O. Chervotkina
¹Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university

**DIRECTIONS FOR IMPROVING THE DESIGNS
OF MODERN HUSKING MACHINES**

Summary

The article is devoted to the development of husking machines. The paper examines directions for improving husking machines, namely modernization of working bodies and structures as a whole.

Prospects for the development of vegetable oil production technology at the current



stage of market reform in Ukraine are closely related, first of all, to the improvement of the most energy- and material-intensive technological processes.

Crushing of oil raw materials is one of the main technological operations in the production of vegetable oil. Production volumes and the quality of the final product directly depend on the efficiency of this process.

Requirements to reduce the post-operational composition of technological processes, reduce energy costs for its implementation and improve the quality of finished products led to the creation of various methods of seed preparation for processing and intensification of processing operations. Based on them, solutions and specific tasks are possible in the development of compact technological processes for the production of cereals on aggregate equipment.

Significant costs of material and energy resources, losses of raw materials and finished products and high inertness of the system of centralized processing of oilseeds require immediate decentralization of bread production based on the creation of technological support and technical equipment of small processing enterprises and workshops of farms. The solution to the problem of technical support for the autonomous production of cereals directly in the raw material growing regions makes it necessary to create new means of a specific technological purpose and a complete technical solution in the form of aggregate equipment.

Key words: husking machines, board, whips, shoulder-blades, strings.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-8

УДК 629.114.2-192.001.18

О. І. Алфьоров¹, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-0357-3141

В. Б. Савченко², к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1303-6494

О. А. Свіргун², к.т.н.

ORCID: 0000-0001-6069-8269

¹Сумський національний аграрний університет²Державний біотехнологічний університет

e-mail: svit-v@btu.kharkov.ua, тел.: 097-144-77-94, 099-423-45-43

ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ НА СТЕНДАХ ТА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Анотація. Розглянуто статистичні аспекти прискореної оцінки характеристик механічної надійності за неоднорідними або випадково цензурованими даними. Запропоновано методи оцінювання показників надійності, які враховують особливості інформації, отримуваний при прискорених стендових або скорочених експлуатаційних випробуваннях елементів мобільних машин. Наведено реальні приклади прискореного оцінювання надійності в умовах обмеженого обсягу даних за допомогою розглянутих методів.

Ключові слова: надійність машин, результати випробувань, статистичний аналіз, показники надійності, емпіричний розподіл, моделювання реалізацій.

Постановка проблеми. Прискорена оцінка механічної надійності елементів мобільних машин здійснюється шляхом проведення в короткий термін і аналізу результатів стендових і експлуатаційних (іноді полігонних) випробувань. Особливості кожного з цих видів випробувань призводять до необхідності вирішення специфічних завдань статистичного аналізу даних при оцінці показників надійності. Під час стендових випробувань, які проводяться на етапах проектування і випуску дослідних зразків, часто використовується малий об'єм вибірок результатів випробувань об'єкта, який оцінюється, а це знижує точність одержуваних статистичних висновків. Крім того, в завдання аналізу результатів прискорених стендових випробувань, проведених в жорстких (форсованих) режимах, входить і оцінка показників надійності, які можна очікувати при роботі об'єкта в нормальних експлуатаційних режимах використання. При прискореній оцінці за результатами скорочених експлуатаційних випробувань



виникають проблеми статистичного аналізу неповних (випадково цензурованих) вибірок даних. Зазначені особливості інформації про надійність мобільних машин і завдань з її аналізу, які виникають при прискореній оцінці, потребували додаткового вдосконалення існуючих методів [1, 2], що і знайшло відображення в цій статті.

Аналіз відомих результатів та постановка завдань. Поліпшення якості оцінювання надійності за результатами прискорених стендових випробувань дослідних (модернізованих) зразків, як показано нижче, може бути досягнуто за рахунок залучення додаткових даних про випробування аналога-попередника з подальшим спільним аналізом, при якому об'єднувані неоднорідні дані, розглядаються як реалізації подібних випадкових величин [2, 3]. Аналіз експлуатаційних даних про скорочені (або випадково перервані) випробування може бути раціонально проведений на основі певної модифікації відомого множувального методу [3-9]. Удосконалення методології статистичного аналізу результатів прискорених стендових та експлуатаційних випробувань на надійність елементів мобільної техніки у зазначених вище напрямках є основною метою цієї роботи.

Основна частина. Дослідження питання ефективного спільного оцінювання параметрів розподілів за двома вибірками подібних випадкових величин, проведене в [5-10], дало можливість для логарифмічно нормального закону, який зазвичай використовується для опису розподілів втомної довговічності, отримати за допомогою метода максимальної правдоподібності відповідні оцінки параметрів. Узагальнюючи ці результати, розглянемо варіант, коли є дві групи подібних між собою випадкових величин: x_1, x_2, \dots, x_l та y_1, y_2, \dots, y_s . При цьому кожна з величин x_j чи y_j має логарифмічно нормальний розподіл, тобто, нормально розподілені величини $X_j = \ln x_j$ та $Y_j = \ln y_j$.

Відповідні щільності розподілів мають вигляд

$$f_1(X_j) = \frac{1}{\sigma_{xj} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X_j - m_{xj})^2}{2\sigma_{xj}^2}}; \quad f_2(Y_j) = \frac{1}{\sigma_{yj} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Y_j - m_{yj})^2}{2\sigma_{yj}^2}}, \quad (1)$$

де $m_{xj}, m_{yj}, \sigma_{xj}, \sigma_{yj}$ – параметри, які оцінюються за вибірковими даними.

Умови подібності величин всередині кожної групи можна записати [4] у вигляді



$$\begin{aligned}
 m_{x_2} &= m \cdot \gamma_2 + m_{x_1}; & m_{y_2} &= m \cdot \gamma_2 + m_{y_1}; \\
 m_{x_3} &= m \cdot \gamma_3 + m_{x_1}; & m_{y_3} &= m \cdot \gamma_3 + m_{y_1}; \\
 \dots\dots\dots & & \dots\dots\dots & \\
 m_{x_l} &= m \cdot \gamma_l + m_{x_1}; & m_{y_s} &= m \cdot \gamma_s + m_{y_1};
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

де $\gamma_2, \gamma_3, \dots$ – відомі постійні коефіцієнти;

m – параметр подібності, що оцінюється за вибірковими даними.

Умову міжгрупової подібності величин x_j та y_j будемо задавати у вигляді

$$m_{y_1} = \beta + m_{x_1}, \tag{3}$$

де β - параметр подібності, який підлягає статистичній оцінці.

З подібності всіх аналізованих величин випливає також, що

$$\sigma_{x_j} = \sigma_{y_j} = S.$$

Умовна функція правдоподібності з урахуванням (1), (2) і (3) може бути записана у вигляді

$$\begin{aligned}
 L(m_{x_1}, m, \beta, S) &= n_o \left(\ln \frac{1}{2\pi} - \ln S \right) - \frac{1}{2S^2} \left[\sum_{i=1}^{n_1} (X_{1i} - m_{x_1})^2 + \right. \\
 &+ \sum_{j=2}^l \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ji} - m_{x_1} - m \cdot \gamma_j)^2 + \sum_{i=1}^{\kappa_1} (Y_{1i} - \beta - m_{x_1})^2 + \\
 &\left. + \sum_{j=2}^s \sum_{i=1}^{\kappa_j} (Y_{ji} - m_{x_1} - \beta \cdot \gamma_j)^2 \right],
 \end{aligned}$$

де X_{ji} і Y_{ji} – вибіркові значення величин X_j і Y_j , відповідно;

n_j і κ_j – об'єм вибірок значень величин X_j і Y_j , відповідно;

$$n_o = \sum_{j=1}^l n_j + \sum_{j=1}^s \kappa_j \text{ – загальний об'єм всіх вибірок.}$$

Рівняння правдоподібності, які отримуються з необхідних умов максимуму функції правдоподібності L : $\frac{\partial L}{\partial m_{x_1}} = 0$; $\frac{\partial L}{\partial m} = 0$; $\frac{\partial L}{\partial \beta} = 0$;

$\frac{\partial L}{\partial S} = 0$, мають вигляд



$$\begin{aligned}
m_{x1} \cdot n_o + m \left(\sum_{j=2}^l n_j \cdot \gamma_j + \sum_{j=2}^s \kappa_j \cdot \gamma_j \right) + \beta \cdot K &= \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{n_j} X_{ji} + \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{\kappa_j} Y_{ji}; \\
m_{x1} \left(\sum_{j=2}^l n_j \cdot \gamma_j + \sum_{j=2}^s \kappa_j \cdot \gamma_j \right) + m \left(\sum_{j=2}^l n_j \cdot \gamma_j^2 + \sum_{j=2}^s \kappa_j \cdot \gamma_j^2 \right) + \\
+ \beta \sum_{j=1}^s \kappa_j \gamma_j &= \sum_{j=2}^l \sum_{i=1}^{n_j} X_{ji} \gamma_j + \sum_{j=2}^s \sum_{i=1}^{\kappa_j} Y_{ji} \gamma_j;
\end{aligned} \tag{4}$$

$$m_{x1} K + m \sum_{j=2}^s \kappa_j \gamma_j + \beta \cdot K = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{\kappa_j} Y_{ji};$$

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{n_1} (X_{1i} - m_{x1})^2 + \sum_{j=2}^l \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ji} - m_{x1} - m \cdot \gamma_j)^2 + \sum_{i=1}^{\kappa_1} (Y_{1i} - \beta - m_{x1})^2 + \\
+ \sum_{j=2}^s \sum_{i=1}^{\kappa_j} (Y_{ji} - m_{x1} - \beta - m \cdot \gamma_j)^2 = n_o \cdot S^2,
\end{aligned}$$

$$\text{де } K = \sum_{j=1}^s \kappa_j.$$

Розв'язок перших трьох лінійних рівнянь системи (4) дає оцінки максимальної правдоподібності для параметрів m_{x1} , m і β , а потім за допомогою останнього рівняння оцінюється параметр S .

Практичне використання викладеного вище методу розглянемо на реальному прикладі статистичного аналізу результатів прискорених стендових натурних випробувань на багатоциклову втомну довговічність штампованих зварних корпусів мостів трактора. Випробування виконані з метою оцінки впливу зміни конструкції фланцевого закінчення на довговічність зварного з'єднання фланця з центральною частиною корпусу. Режими проведення та результати випробувань на машині МУП-50 серійних (аналог-попередник) та експериментальних корпусів на згин при регулярному циклічному навантаженні, що закінчилися втомним руйнуванням зварного шва, наведено в табл.1.

За результатами натурних випробувань, проведених на кількох рівнях інтенсивного навантаження з однаковим коефіцієнтом асиметрії циклу $P_{\min}/P_{\max} = \frac{1}{3}$, може бути побудована крива втоми, яка дозволяє переходити до оцінки довговічності при експлуатаційних навантаженнях. Для опису лівої похилої ділянки кривої багатоциклової втоми часто використовується статечний вираз виду



Таблиця 1

Режими проведення та результати випробувань корпусів моста

Навантаження P_{\max} / P_{\min} , кН	Циклічна довговічність N , тис.циклів		X	Y
	серійні корпуси	експериментальні корпуси		
150/50	1374	1600	14,133	14,286
	866	1897	13,672	14,456
	707	1264	13,469	14,050
120/40	1435	3715	14,177	15,128
	1702	4565	14,347	15,334
	1228	2844	14,021	14,861
90/30	3592	>5000	15,094	-
			$\Sigma = 98,913$	88,115

$$\sigma^m N = C,$$

де σ – максимальне напруження циклу навантаження;

m – показник ступеня (нахилу) кривої втоми;

N – кількість циклів до руйнування;

C – величина, що характеризує опір зварного шва втомному руйнуванню.

У цьому випадку максимальне напруження в перерізі зварного шва можна вважати пропорційним до максимального згинального навантаження P_{\max} , яке діє поперечно на корпус моста при випробуваннях: $\sigma = \alpha \cdot P_{\max}$. Тоді рівняння кривої втоми в координатах навантаження – кількість циклів, набуває вигляду

$$P_{\max}^m N = C / \alpha^m = \tilde{C}. \quad (5)$$

Конструктивна модернізація корпусу моста призвела до зміни напруженого стану в зварному шві у експериментальних зразків, причому технологія зварювання залишалася без змін. Ця інформація дає підставу вважати, що відмінність у втомній довговічності між серійним та експериментальним варіантами корпусів може бути враховано в кривій втоми (5) тільки за рахунок величини коефіцієнта пропорційності α . Таке припущення дозволяє статистично оцінювати параметри моделі (5), спільно використовуючи результати випробувань серійного та експериментального варіантів, як вибірки подібних випадкових величин. Математичним апаратом для такої оцінки слугують рівняння правдоподібності (4).

Введемо позначення: $P_1 = 150$ кН, $P_2 = 120$ кН, $P_3 = 90$ кН – рівні максимального навантаження в циклі; $N_1^{(1)}$, $N_1^{(2)}$, $N_1^{(3)}$ – відповідні



величини ресурсу серійних корпусів під час випробувань; $N_2^{(1)}$, $N_2^{(2)}$ - величини ресурсу корпусів, які досліджувались; α_1 і α_2 - значення коефіцієнта пропорційності для серійних та експериментальних корпусів, відповідно.

Тоді, переходячи до позначень, прийнятих у (4), вважатимемо, що $X_1 = \ln N_1^{(1)}$, $X_2 = \ln N_1^{(2)}$ і $X_3 = \ln N_1^{(3)}$, а також $Y_1 = \ln N_2^{(1)}$ і $Y_2 = \ln N_2^{(2)}$. Відповідні вибіркові значення величин X_{ji} та Y_{ji} та їх суми наведено у табл. 1. Постійні величини γ_j , які входять в (2), визначаються так: $\gamma_2 = \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$ і $\gamma_3 = \ln\left(\frac{P_1}{P_3}\right)$, а параметр подібності $\beta = m \cdot \ln\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)$.

В умовах прикладу, що розглядається $l = 3$; $s = 2$; $n_1 = n_2 = 3$; $n_3 = 1$; $\kappa_1 = \kappa_2 = 3$; $n_o = 13$; $K = 6$.

Після розрахунку коефіцієнтів системи рівнянь правдоподібності (4) перші три рівняння набувають вигляду

$$13m_{x1} + 1,85m + 6\beta = 187;$$

$$1,85m_{x1} + 0,56m + 0,67\beta = 27,3;$$

$$6m_{x1} + 0,67m + 6\beta = 88,1.$$

Розв'язок отриманої системи дає оцінки для середньої величини логарифму циклічної довговічності серійного варіанта на верхньому рівні навантаження (при $P_1 = 150$ кН) $m_{x1} = 13,65$, для загального показника ступеня кривих втоми серійного та експериментального варіантів $m = 2,83$ та для параметру подібності $\beta = 0,717$. За цими значеннями можна оцінити величину відношення напружень у серійному та експериментальному варіантах $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = 1,288$, а також загальне відношення середніх величин ресурсу на всіх рівнях навантаження при випробуваннях $\frac{\bar{N}_2}{\bar{N}_1} = \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^m = (1,288)^{2,83} = 2,05$, що характеризує реальну ефективність конструктивної модернізації корпусу моста.

За допомогою останнього рівняння системи (4), підставляючи в нього значення m_{x1} , m і β , визначаємо величину параметра S , що характеризує розсіювання довговічності, який в умовах прикладу становить $S = 0,217$.

Враховуючи, що розподіл ресурсу корпусів передбачається логарифмічно нормальним, та використовуючи умови подібності (2) і (3), нескладно отримати вираз для прогнозування гамма-відсоткового ресурсу експериментальних корпусів у межах лівої (похилої) ділянки кривої втоми.



$$N_{2\gamma}^{(p)} = \exp \left[m \cdot \ln \left(\frac{P_1}{P_{\max}} \right) + \beta + m_{x1} - S \cdot U_{\gamma} \right], \quad (6)$$

де P_{\max} – максимальне навантаження циклу;

U_{γ} – квантиль нормального розподілу [10-12], який відповідає заданій ймовірності γ .

Вираз (6) можна використовувати для оцінки гамма-відсоткового ресурсу при знижених, у порівнянні з випробувальними значеннями, максимального навантаження (з урахуванням відомого коефіцієнта асиметрії циклу), що дозволяє прогнозувати експлуатаційну довговічність. Так, в умовах прикладу, при характеристиках циклу $P_{\max} = 75$ кН і $P_{\min} = 25$ кН розрахунок 90%-го ресурсу ($U_{\gamma} = 1,282$) за формулою (6) дає прогнозовану величину ресурсу експериментального корпусу $N_{2\gamma} = 9346$ тис. циклів. При цьому розрахунковий медіанний ресурс (при $U_{\gamma} = 0$) складає більше ніж 10^7 циклів, що дає підставу вважати для експериментальних корпусів рівень навантаження $P_{\max} = 75$ кН, таким що не перевищує медіанне значення меж витривалості при коефіцієнті асиметрії циклу $\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{1}{3}$.

Необхідно відзначити, що наведені статистичні оцінки, завдяки використаному методу аналізу, виконані не тільки за результатами випробувань 6 експериментальних зразків, але включають і інформацію про випробування ще 7 серійних корпусів. Об'єднання вибірок дозволяє підвищити точність оцінок та статистичних висновків. Тим не менш, кількісний дефіцит даних при стендових випробуваннях неминучий, що, безумовно, позначається на достовірності точкових оцінок показників надійності. Певною мірою компенсувати цей недолік можна переходом до інтервального оцінювання. Сучасні методи статистичного моделювання, зокрема, метод бутстреп-моделювання, дозволяють багаторазово імітувати (відтворювати випадковим чином) реальні результати випробувань, при цьому щоразу виконуючи за вибіркою точкову оцінку параметрів [11-15]. Статистична сукупність значень параметрів, що отримується, може використовуватися для визначення меж відповідних емпіричних довірчих інтервалів.

Незважаючи на безумовну необхідність проведення прискорених стендових випробувань дослідних зразків, найбільш повну і достовірну інформацію про характеристики надійності техніки, що серійно випускається, можна отримати на основі збору та аналізу експлуатаційних даних [16-22]. Прискорення оцінки тут досягається за рахунок скорочення термінів проведення випробувань або



спостережень, наприклад, до одного або двох сезонів робіт, за умови використання для оцінювання показників надійності спеціальних методів статистичного аналізу та прогнозування.

Зазвичай результати скорочених експлуатаційних випробувань у статистичному сенсі є так званими неповними вибірками [1-3]. Причому, в більшості випадків їх можна віднести до вибірок, які є випадково цензурованими справа [1-3,7]. Стосовно таких вибірок найкращим методом аналізу є множувальний метод непараметричного оцінювання [1-3,7]. На відміну від багатьох в чому евристичних методів Джонсона, Нельсона та інших, множувальному методу можна дати досить просте і строге імовірнісне обґрунтування [1-3]. Нижче розглянутий модифікований для згрупованих за інтервалами даних варіант множувального методу оцінки емпіричної функції ймовірності безвідмовної роботи.

Групуючи всю випадково цензуровану праворуч вибірку напрацювань до відмов і до призупинення випробувань по інтервалах, отримаємо, що в будь-який i -ий інтервал потрапить деяка кількість n_{oi} напрацювань до відмови і n_{pi} напрацювань до призупинення випробувань. Загальну кількість об'єктів, які випробовувалися, позначимо M .

Тоді, для будь-якого i -го інтервалу групування випадково цензурованої праворуч вибірки, емпірична ймовірність безвідмовної роботи R_i (вважаючи $R_0 \equiv 1$) може бути визначена як добуток

$$R_i = \prod_{j=1}^i \left(1 - \frac{n_{oj}}{M_j} \right), \quad (7)$$

$$\text{де } M_j = M - \sum_{k=1}^{j-1} (n_{ок} + n_{пк}) - \theta_j n_{nj};$$

θ_j – параметри, які визначають частку напрацювань до призупинення випробувань в кожному інтервалі.

Параметри θ_j визначаються за умови незалежності випадкових напрацювань до відмови та до призупинення випробувань, що забезпечується для кожного i -го інтервалу групування виконанням співвідношення:

$$R_i (1 - F_{pi}) = 1 - \sum_{j=1}^i \frac{(n_{oj} + n_{pj})}{M}, \quad (8)$$

де $F_{pi} = 1 - \prod_{j=1}^i \left[1 - \frac{n_{pj}}{M_j} + \theta_j (n_{pj} - n_{oj}) \right]$ – емпірична функція розподілу напрацювання до призупинення випробувань, що



оцінюється множинним методом.

З умови (8) витікає, що параметри θ_j можна визначити за формулою

$$\theta_j = \frac{1 - \sqrt{1 - W_j}}{W_j},$$

$$\text{де } W_j = \frac{(n_{oj} + n_{pj})}{M - \sum_{k=1}^{j-1} (n_{ok} + n_{pk})}.$$

При проведенні практичних розрахунків розглянутим способом, слід обмежуватися інтервалом, який передуює тому, в якому значення емпіричної функції розподілу всієї цензурованої вибірки

$$\tilde{F}_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^i (n_{oj} + n_{pj})}{M}$$

сягає одиниці. Після непараметричної оцінки емпіричної функції ймовірності безвідмовної роботи, її значення можна використовувати безпосередньо для визначення інших показників надійності, наприклад, середнього або гамма-відсоткового ресурсу, а можна попередньо підібрати теоретичний закон розподілу, оцінивши його параметри за отриманими емпіричними значеннями ймовірності.

Послідовність аналізу цензурованих експлуатаційних даних, розглянемо на прикладі. В результаті експлуатаційних спостережень за 40 тракторами (марка і модель не вказуються без згоди виробника) при їх використанні на всіх видах сільськогосподарських робіт, отримано випадково цензуровані справа дані про напрацювання (у мото-годинах) до перших механічних відмов задніх ведучих мостів. Відповідний варіаційний ряд (упорядкована в порядку зростання вибірка) напрацювань до відмови, та до призупинення спостережень без відмови (позначені зірочкою), має вигляд:

600, 872*, 1025*, 1082*, 1089, 1158, 1220, 1230*, 1282, 1318, 1387, 1401, 1419*, 1425, 1425*, 1540, 1602*, 1606, 1672*, 1680, 1700, 1740*, 1784, 1806*, 1926*, 1970, 1978, 1978*, 2025*, 2060*, 2120, 2123*, 2192*, 2200*, 2279*, 2520, 2858, 3390*, 3600, 4414*.

Після групування вибірки по 8 інтервалах ($\Delta t = 400$ мото-годин) одержано частоти попадань напрацювань до відмов n_o і до призупинень n_n в кожен інтервал. Ці дані наведено в таблиці 2. В ній також для кожного інтервалу наводяться результати розрахунку емпіричної функції розподілу \tilde{F}_c , допоміжних величин W_j , θ_j , M_j , і оцінюваної



емпіричної функції ймовірності безвідмовної роботи ведучих мостів R_j .

З використанням значень емпіричної функції R_j , проведено наближену оцінку параметрів форми ν і масштабу a закону Вейбулла. Для цього було використано відомий спосіб попередньої лінеаризації рівняння закону Вейбулла з наступною оцінкою параметрів за методом найменших квадратів. Відповідні розрахункові формули мають вигляд [4]

$$\nu^* = \frac{\kappa \sum y_j \cdot x_j - \sum y_j \sum x_j}{\kappa \sum x_j^2 - \left(\sum x_j \right)^2}; \quad a^* = \exp\left(\frac{c}{\nu^*}\right), \quad (9)$$

$$\text{де } c = \frac{\sum x_j \sum y_i \cdot x_j - \sum y_j \sum x_j^2}{\kappa \sum x_j^2 - \left(\sum x_j \right)^2};$$

$$y_i = \ln \ln\left(\frac{1}{R_j}\right); \quad x_j = \ln t_j;$$

κ – кількість інтервалів групування; t_j - права межа j -го інтервалу.

Таблиця 2

Оцінка емпіричної ймовірності безвідмовної роботи ведучих мостів

№ інт.	t_j , мото- Г	n_o	n_{Π}	\tilde{F}_c	W_j	θ_j	M_j	R_j
1	1000	1	1	0,050	0,050	0,5064	39,4936	0,9747
2	1400	6	3	0,275	0,2368	0,5337	36,3989	0,8141
3	1800	7	5	0,575	0,4138	0,5664	26,168	0,5963
4	2200	3	7	0,825	0,5882	0,6091	12,7363	0,4559
5	2600	1	2	0,900	0,4286	0,5695	5,861	0,3781
6	3000	1	0	0,925	0,250	0,5359	4,000	0,2836
7	3400	0	1	0,950	0,3333	0,5505	2,4495	0,2836
8	3800	1	0	0,975	0,500	0,5858	2,000	0,1418

В результаті оцінки параметрів функції розподілу напрацювання до відмови ведучих мостів за формулами (9) отримано значення $\nu^*=2,9$ і $a^*=2741$ мото-годин.

Уточнена оцінка параметрів теоретичного розподілу за критерієм



найменших квадратів проводиться шляхом прямої мінімізації суми:

$$S(a, \nu) = \sum_{j=1}^k \left\{ R_j - \exp \left[- \left(\frac{t_j}{a} \right)^\nu \right] \right\}^2,$$

яку можна здійснювати, наприклад, методом покоординатного спуску [10, 12], використовуючи значення a^* і ν^* в якості початкового наближення. Уточнені в такий спосіб величини параметрів в умовах прикладу складають $\nu = 2,04$ і $a = 2710$ мото-годин. Середнє напрацювання до відмов мостів складає $T_o = a \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\nu}\right) = 2710 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,04}\right) = 2400$ мото-годин.

Аналогічним чином було проведено оцінку параметрів функції розподілу фактичної тривалості експлуатаційних спостережень \tilde{F}_c , яка дала такі результати: $\nu_c = 3,54$ та $a_c = 1917$ мото-годин. Відповідно, середня тривалість спостережень склала $T_c = 1725$ мото-годин. Отже, за рахунок прискореної оцінки характеристик надійності за цензурованими даними, тривалість експлуатаційних спостережень у середньому по одній машині була скорочена на 675 мото-годин (приблизно на 28%). Слід зазначити, що для отримання повних даних про напрацювання до відмови мостів на 20 машинах, випробування яких було призупинено, потрібно було б подовжити їхні експлуатаційні випробування в середньому на 1350 мото-годин, що приблизно відповідає їх річному напрацюванню в умовах рядової експлуатації.

Висновки та перспективи досліджень. При прискореній оцінці характеристик надійності за результатами стендових випробувань, для забезпечення достовірності статистичних висновків, доцільно об'єднання даних про випробування дослідних зразків з результатами випробувань конструктивно подібних аналогів. Практична реалізація такого підходу, яка була виконана для прискорених випробувань в томи корпусів ведучих мостів, підтвердила його ефективність.

З огляду на те, що найчастіше внаслідок скорочених експлуатаційних випробувань чи спостережень, одержувані дані можна у статистичному відношенні кваліфікувати як випадково цензуровані вибірки, для їхнього аналізу слід використовувати найбільш ефективні сучасні методи. До них може бути віднесений модифікований для згрупованих за інтервалами даних множувальний метод, зміст якого викладено у статті.

Як при стендових, так і при експлуатаційних випробуваннях перспективним напрямом компенсації недостатності обсягу статистичної інформації, є використання методів статистичного непараметричного (бутстреп) моделювання з побудовою інтервальних довірчих оцінок.



Список використаних джерел

1. Анилович В. Я., Гринченко А. С., Литвиненко В. Л. Надежность машин в задачах и примерах / Под ред. В.Я. Аниловича. Харьков: Око, 2001. 320с.
2. Анілович В. Я. Анілович Міцність та надійність машин / В. Я. Анілович, О. С. Гринченко, В. В. Карабін та ін.; За ред. В.Я. Аніловича. К. Урожай, 1996. 288с.
3. Grynchenko O. S.; Kukhtov V. G. Надійність машин: Практикум; ТОВ «Планета - Принт».: Харьков, Украина, 2018; 140с
4. Гринченко А. С. Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль; Віровець А.П. "Апостроф": Харьков, Украина, 2012. 259 с.
5. Алфьоров О. І., Гринченко О. С. Прогнозування показників механічної надійності за результатами прискорених випробувань. *Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка*. Харків, 2013. Вип. 133: *Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному вир-ві*. С. 255–261.
6. Alforyov O., Grynchenko O., Ponomarenko V., Shchur T., Tomporowski A., Kruszelnicka W., Walichnowska P. Agricultural Equipment Design Optimization Based on the Inversion Method. *Agriculture* 2022, 12, 1410. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091410>
7. Alforyov O., Grynchenko O. Quickened defining test with limiting combined regimens. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin-Rzeszów. 2013. Vol. 15, № 7. P. 36–40.
8. Гринченко А., Алфєров А. Основы прогнозирования и управления надежностью в условиях экстремальных нагрузок; ТОВ «Планета - Принт».: Харьков, Украина, 2017. 136 с.
9. Woo S. Reliability Design of Mechanical Systems a Guide for Mechanical and Civil Engineers, 2nd ed.; Springer Nature Singapore Pte Ltd.: Singapore, 2020. 476 p.
10. Grynchenko O., Alforyov O. Mechanical Reliability. In Prediction and Management under Extreme Load Conditions; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2020. 125p.
11. Савченко В. Б., Свіргун О. А., Іванов В. І., Концевич О. А., Шевченко І. В. Використання методів статистичного моделювання при прогнозуванні надійності ведучих мостів. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 13. С. 248–252.
12. Wan, L.; Chen, H.; Ouyang, L.; Chen, Y. A new ensemble modeling approach for reliability-based design optimization of flexure-based bridge-type amplification mechanisms. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020, 106, Pp. 47–63.
13. Xiao, N.C.; Zuo, M.J.; Zhou, C.N. A new adaptive sequential



sampling method to construct surrogate models for efficient reliability analysis. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2018, 169, Pp. 330–338.

14. Xiao, N.C.; Zhan, H.Y.; Kai, Y. A new reliability method for small failure probability problems by combining the adaptive importance sampling and surrogate models. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2020, 372, 113336.

15. McPherson J. W. *Reliability Physics and Engineering: Time-To-Failure Modeling*; Springer: Cham, Switzerland, 2019.

16. Tuinema B.W., Rueda Torres J. L., Stefanov A. I., Gonzalez F. M., van der Longatt M.A.M. *Probabilistic Reliability Analysis of Power Systems*; Springer: Cham, Switzerland, 2020.

17. Birolini, A. *Reliability Engineering*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2017.

18. Solanki R. B., Kulakarni H. D., Singh S., Verma A. K., Varde P. V., Optimization of regression model using principal component regression method in passive system reliability assessment. *Prog. Nucl. Energy* 103, (2018) Pp. 126–134.

19. Wang C. *Structural Reliability and Time-Dependent Reliability*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021.

20. Verma A. K.; Ajit S., Karanki D. R. *Reliability and Safety Engineering*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2010.

21. Gu J., Pecht M. Prognostics and health management using physics-of-failure. *In Proceedings of the 2008 Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Las Vegas, NV, USA, 28–31 January 2008; Pp. 481–487.

22. Si X., Chang-Hua H., Wang W., Zhou D. A Wiener-process-based degradation model with a recursive filter algorithm for remaining useful life estimation. *Mech. Syst. Sign. Process.* 2013, 35, Pp. 219–237.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

O. Alfiorov¹, V. Savchenko², O. Svirgun²

¹Sumy National Agrarian University

²State Biotechnological University

ASSESSMENT OF RELIABILITY INDICATORS BASED ON THE RESULTS OF TESTS ON STANDS AND IN OPERATION

Summary

An accelerated assessment of the mechanical reliability of machine elements is carried out based on the results of analysis of bench and operational tests carried out in a short time. If such tests are carried out at the design stage, then they are characterized by a small amount of data on the studied characteristics of the object. This reduces the accuracy of statistical inferences. It is possible to improve the accuracy of reliability estimation under such conditions by using additional data that were obtained earlier when testing similar objects. When combining and joint analysis, heterogeneous data are



proposed to be considered as realizations of similar random variables.

In the proposed work, an example of combining information on fatigue life tests of serial and modernized tractor drive axles is considered in detail. The use of the likelihood equations made it possible to obtain estimates of the strength and reliability indicators characterizing the real efficiency of the constructive modernization of the drive axle housing. It is also concluded that it is possible to use bootstrap modeling to simulate an increase in the volume of samples when assessing individual reliability indicators.

It is known that the most complete and reliable information about the reliability characteristics of mass-produced equipment can be obtained on the basis of the collection and analysis of operating data. Acceleration of the assessment here is achieved by reducing the time of testing through the use of special methods of statistical analysis and forecasting. This is because the results of reduced field tests are usually so-called censored samples. They contain not only data about machine failures, but also data that the machine has not been brought to a failure state for a certain period of time.

The considered example shows that the proposed multiplier method for restoring the empirical distribution function allows taking into account both information about failures and information about the absence of failures in the interval estimation. The empirical values of the function can be further approximated by a theoretical law, the parameters of which are proposed to be determined using the least squares method. It is shown that taking into account the full information about the reduced tests can significantly speed up the required result.

Key words: machine reliability, test results, statistical analysis, reliability indicators, empirical distribution, simulation of implementations.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-9

УДК 631.95:338.27

О. Г. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

А. С. Комар, інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені**Дмитра Моторного*

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

ОГЛЯД МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАШИННИХ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА

Анотація. В статті наведено огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації відходів тваринництва, а саме гною та посліду. Розглянуті переваги прийняття оптимальних рішень із використанням ПЕОМ, статистичні моделі у вигляді одновимірних та багатовимірних рівнянь регресії та динамічні системи, методи лінійного та нелінійного програмування у дослідженнях з механізації процесів сільськогосподарського виробництва. Однією з основних задач під час проведення досліджень із механізації процесів сільськогосподарського виробництва є отримання достовірних статистичних моделей, їх дослідження та оптимізація стосовно конкретних критеріїв або умов виробництва. Особливу увагу приділено використанню методу Парето-оптимізації для порівняльної оцінки технологічних процесів видалення, переробки та використання підстилкового гною в біологічно активні добрива.

Ключові слова: методи дослідження, оптимізація, утилізація, гній, послід, математичні моделі, технологія, технологічний процес.

Постановка проблеми. Залежно від характеру вивчення технологічних процесів застосовують різні математичні методи дослідження. Наявність великої кількості технологій та технічних засобів, призначених для утилізації гною та посліду, а також різних можливостей сільськогосподарських підприємств призвели до необхідності розробки методів проектування раціональних, найбільш ефективних та адаптованих для заданих умов технологій.

Аналіз останніх досліджень. Питаннями прийняття рішень на основі математичних моделей присвячена численна література, зокрема роботи вчених А. Г. Аганбегяна, А. М. Бондаренко,



Є. С. Вентцель, А. М. Валге, Л. В. Канторовича, Н. М. Моїсеєва, В. Д. Попова, Г. С. Поспелова, П. М. Павленко, А. В. Спесівцева, Н. П. Федоренко, Д. Б. Юдіна та ін. [1-3].

Незважаючи на спільність розв'язуваної задачі, розроблені математичні моделі оптимізації складу, структури та використання засобів технічної оснащеності сільського господарства мають низку суттєвих відмінностей.

Усі математичні моделі можна умовно розділити на аналітичні та статистичні. У першому випадку основні кількісні показники процесів (технологічних операцій) пов'язуються аналітичними залежностями. Система цих рівнянь і є аналітичною моделлю. Під час розробки статистичних моделей (імітаційні моделі, модель Монте-Карло) виходять із того, що виробничим діям природньо властивий елемент випадковості, що вони не є детермінованими, а підпорядковуються законам розподілу випадкових величин (статистичні моделі дозволяють досліджувати систему будь-якого типу). Можливість урахування нелінійності, динаміки, імовірнісної природи деяких явищ дозволяє зробити статистичну модель адекватної дійсності і, досліджуючи її, здійснювати так званий натурний експеримент у прискореному масштабі часу [4-6].

Формулювання мети статті. Огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації гною та посліду.

Основна частина. Для прийняття рішень застосовують неформалізовані та формалізовані методи. При неформалізованих методах людина приймає рішення взагалі без жодних обґрунтувань, керуючись так званим здоровим глуздом, досвідом чи інтуїцією.

Ухвалення формалізованих рішень – це творчість, такі рішення приймаються за чіткими рекомендаціями. Ці рішення приймаються на основі двох основних методів: логічне моделювання та оптимізації.

При логічному моделюванні використовуються так звані правила, які становлять висококваліфіковані фахівці, а застосовують правила користувачі, які ухвалюють рішення [7,8]. Правила визначають, що треба робити у тих чи інших випадках. Такі правила є гарною підказкою під час прийняття рішень виконавцями нижчої кваліфікації.

Прийняття оптимальних рішень із використанням ПЕОМ має дві суттєві переваги [9,10]: дає швидку відповідь на поставлене питання та надає можливість широкого експериментування, здійснити яке на реальному об'єкті часто просто неможливо.

Статистичні моделі у вигляді одновимірних та багатовимірних рівнянь регресії знайшли широке застосування при дослідженнях та оптимізації параметрів сільськогосподарських машин та агрегатів, а також сільськогосподарських технологічних процесів [11-13]. Однак класичний регресійний аналіз без урахування особливостей



сільськогосподарських процесів призводить до похибок моделей і навіть їх нестійкості, що унеможлиблює їх подальше використання.

У загальному вигляді рівняння регресії має вигляд, поданий формулою [7]

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (1)$$

Завдання ідентифікації статистичної моделі полягає в тому, щоб отриманим у процесі пасивного чи активного експерименту даним отримати достовірні значення коефіцієнтів a_i . Для вирішення цього завдання Гаусом запропоновано алгоритм, який отримав назву методу найменших квадратів.

Оснoву методу становить мінімізація суми квадратів відхилень експериментальних та розрахункових значень функції, яку подано формулою [1]

$$s = \sum_{i=1}^n (y_j - \tilde{y}_j)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де y_j - експериментальні значення;

\tilde{y}_j - розрахункові значення, отримані за рівнянням регресії формули (1).

Статистична значимість коефіцієнтів визначається за t-критерієм Ст'юдента, поданого формулою [5]

$$t_i = \frac{\beta_i}{\sigma_{b_i}} \geq t_{\text{табл}}(\nu, P), \quad (3)$$

де t_i - розрахункове значення критерію;

σ_{b_i} - помилка визначення коефіцієнта a_i ;

$t_{\text{табл}}(\nu, P)$ - табличне значення критерію для ступенів свободи та довірчої ймовірності P .

Якщо дотримується співвідношення, то коефіцієнти значимі лише на рівні довірчої ймовірності P .

Значимість, адекватність всього рівняння регресії оцінюється за F - критерієм Фішера, представленого формулою [1]

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sigma_{\text{ад}}^2}{\sigma_y^2} \leq F_{\text{табл}}(\nu_1, \nu_2, P) \quad (4)$$

де $\sigma_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$,

$F_{\text{табл}}$ - табличне значення рівняння Фішера для ступенів свободи та рівня ймовірності P ;



N – кількість точок спостережень;
 m – кількість коефіцієнтів рівняння регресії;
 y_i - розраховані за рівнянням регресії точки.

Математична модель значуща, якщо дотримується нерівність (4) [1,3,5].

Найбільшого поширення набули вирішення задач, які реалізуються методами лінійного програмування через їх простоту та універсальність.

Лінійними називаються такі залежності, в яких змінні формалізуються лише в першому ступені та відсутня математична операція добутку змінних [1].

При використанні методів лінійного програмування поставлена задача описується системою лінійних рівнянь. Найбільш поширений метод розв'язання задач лінійного програмування – симплексний або метод послідовного покращення плану. Цей метод дозволяє знайти рішення будь-якої задачі лінійного програмування, зробивши обмежену кількість кроків (ітерацій), кожен з яких є алгебраїчним перетворенням, виробленим за встановленими правилами.

Для вирішення задач лінійного програмування використовують також методи диференціальних рент та метод потенціалів.

При розподілі технічних засобів за видами робіт можна використовувати економіко-математичну модель транспортної задачі [1,5,12].

Задачі, в яких математичні моделі містять змінні не в першому ступені або є добуток змінних, вирішують методами нелінійного програмування [5]. Серед них найбільш розроблено квадратичне програмування. Цей метод застосовується під час вирішення планово-економічних завдань максимум (мінімум) квадратичної функції при лінійних обмеженнях.

Окремим різновидом математичних методів є динамічне програмування. Його використовують під час вирішення завдань, у яких аналізовані змінні (задані певні величини) розглядаються у поступовій динаміці, а вирішення їх визначається залежно від зміни цільової функції у часі [1,3,5].

Питання аналізу динамічних систем у дослідженнях з механізації процесів сільськогосподарського виробництва займають значне місце. До динамічних систем відносяться всі механічні системи, що рухаються, технології та технічні засоби, що розвиваються в просторі обмеженого часового інтервалу та в межах координат показників, системи автоматичного управління тепло-вологісними режимами в теплицях та тваринницьких приміщеннях тощо [8,14].



Як основна модель для вищевказаних систем використовуються системи диференціальних рівнянь (лінійних і нелінійних), які у загальному вигляді надаються формулою

$$\dot{x} = F(A, x, y, t), \quad (5)$$

де \dot{x} – вектор похідних першого порядку;

x, y, t – вектори аргументів рівнянь системи;

A – невідомі коефіцієнти моделі.

Рівняння у приватних похідних, якими описуються тепловологові поля та інші процеси сільськогосподарського виробництва, як правило, різними методами [5,7] приводяться до виду (5).

Питанням ідентифікації динамічних систем присвячено достатньо велика кількість робіт [1-3]. Задача оптимізації складу, структури та використання засобів технічної оснащеності сільського господарства може бути вирішена з використанням мережної моделі, що є різновидом логічної моделі [11,12].

Однією з основних задач під час проведення досліджень із механізації процесів сільськогосподарського виробництва є отримання достовірних статистичних моделей (вирішення задачі ідентифікації), їх дослідження та оптимізація стосовно конкретних критеріїв або умов виробництва. Для вирішення задачі ідентифікації стосовно динамічних систем використовують різні евристичні методи, проте універсального математичного апарату, подібного до методу найменших квадратів, досі не розроблено. При практичних розрахунках використовуються різні алгоритми та методи, що мають суттєві відмінності, але всі ці завдання мають загальну властивість – вони відносяться до класу пошукових завдань, наприклад пошуку кінцевої кількості змінних у заданому користувачем гіперпросторі. Для порівняння методів та аналізу їх можливостей були виконані роботи з ідентифікації різноманітними методами еталонної моделі. В результаті порівняльного аналізу були розроблені рекомендації для рішення таких задач.

Для порівняльного аналізу методів ідентифікації було використано такі алгоритми [5,7,8-10]:

- регресійного аналізу;
- нелінійного програмування;
- подвійного інтегрування та розкладання вхідних та вихідних обурень у ряд Фур'є.

При використанні регресійного аналізу було виявлено, що точність розрахунку значною мірою залежить від точності вихідних даних. За таких умов модель недостатня стійка. Щодо процесів сільськогосподарського виробництва цей метод може бути

використаний при ідентифікації досить повільних процесів зі слабкою післядією.

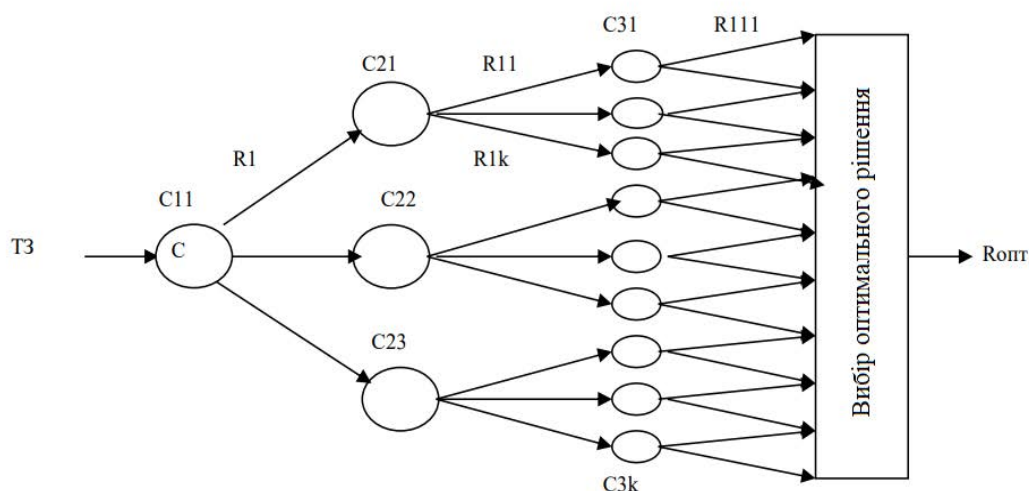
Процес оптимізації шляхом застосування алгоритму ідентифікації методом нелінійного програмування не залежить від початкових умов. Практично розрахунок можна розпочинати з нульових початкових умов. Процес ідентифікації є дуже стійким.

Оптимізація процесів у сільськогосподарському виробництві шляхом застосування алгоритму ідентифікації методом інтегрування диференціального рівняння та розкладання вхідних і вихідних обурень у ряд Фур'є на конкретному прикладі дозволила досягти результатів, досить близьких до дійсних значень, проте їхня похибка більша, ніж при використанні методу нелінійного програмування [5,7].

У сільськогосподарському виробництві велика увага приділяється прийняттю оптимальних варіантів [9-12], від маршрутних карт до технологічних ліній, від оптимізації технічних засобів під умови та умов під технічні засоби до оптимізації технологій тощо, за допомогою яких стає можливим керувати виробничим процесом.

М.М. Капустін [1] у машинобудуванні запропонував системно-структурні моделі автоматизованого проектування технологічних процесів.

Процес проектування на кожному рівні є багатоваріантною процедурою. В результаті проектування на всіх стадіях утворюється дерево допустимих варіантів технологічного процесу (ТП), які відповідають заданим технічним обмеженням. Модель багаторівневого ТП із вибором оптимального рішення на останньому рівні представлено на рисунку 1.



ТЗ – технічне завдання; С – синтез проектних рішень; R – варіанти рішень.

Рисунок 1. Модель багаторівневого ТП з вибором оптимального рішення на останньому рівні.



Вершинам дерева відповідають операції синтезу проектних рішень S , а дугам - одержані варіанти цих рішень R . Дуги дерева останнього рівня характеризують проектні варіанти заданого ступеня деталізації.

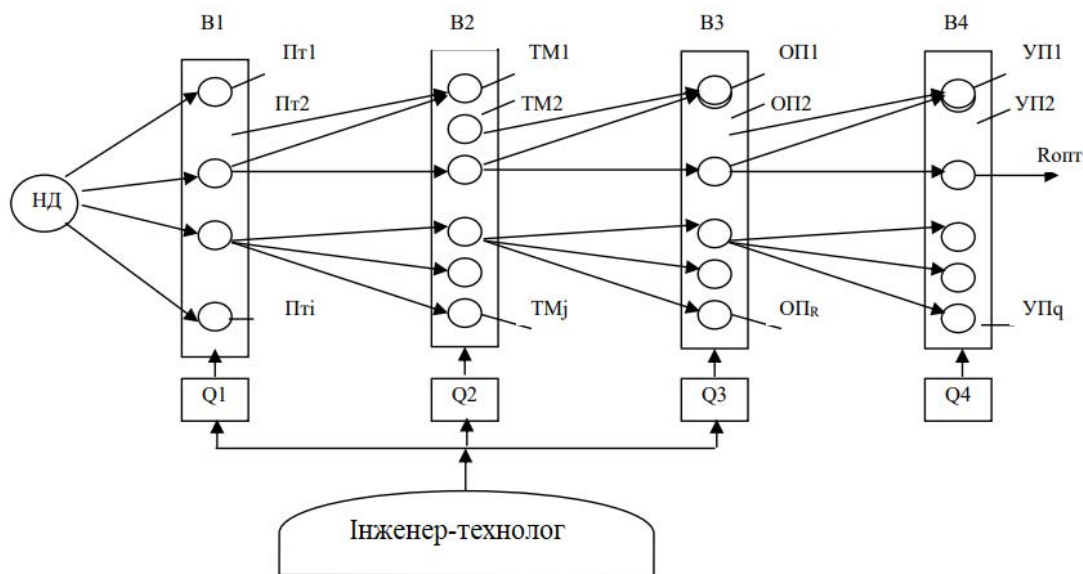
Загалом процес багаторівневого проектування можна подати у вигляді послідовності перетворень різних рівнів та процедури відбору Q оптимального варіанта за заданим критерієм на останньому рівні.

Розглянута модель процесу проектування характеризується низькою ефективністю. Щоб вибрати один раціональний варіант, необхідно до кінця спроектувати дуже велику кількість допустимих технічних обмежень варіантів. Ефективність процесу можна різко підвищити, якщо організувати вибір раціональних варіантів проектних рішень на кожному рівні. При цьому виникає проблема формування критеріїв проміжного відбору Q_1, Q_2, \dots, Q_R найбільш раціональних варіантів на різних рівнях [1,5].

Зважаючи на різний ступінь деталізації проектних рішень на всіх рівнях крім останнього, не може існувати точного критерію оцінки та відбору проектних рішень. Так, на першому рівні неможливо сформулювати критерій, що дозволяє вибрати один оптимальний варіант принципової схеми технологічного процесу. Це пов'язано з тим, що уявлення про спроектований процес тут має суто принциповий характер і на наступних рівнях деталізується та уточнюється. Тому на всіх рівнях проектування, крім останнього, критерії оцінки проектних рішень носять тією чи іншою мірою евристичний характер. Вони отримані на основі досвіду вирішення аналогічних задач.

У зв'язку з евристичним характером критерію відбору найбільш раціональних рішень, функціонування багаторівневих систем автоматизованого проектування здійснюється так, що на кожному проміжному рівні проектування відбирається не єдиний найкращий варіант, а дещо найбільш близький до нього [2,3,7]. На останній стадії вибирається один остаточний варіант, що має найбільше чи найменше проти інших значення комплексного критерію якості. Модель багаторівневого процесу технологічного проектування з ступінчатими відборами рішень на кожному рівні представлено на рисунку 2.

Модель багаторівневого процесу технологічного проектування з ступінчатими відборами рішень на кожному рівні характеризується високою ефективністю, тому що користувач на кожному етапі проектування має можливість відібрати кілька варіантів найближчих до найкращого варіанту. На останній стадії проектування вибирається один остаточний варіант, який, на думку користувача, виходячи з його кваліфікації та компетентності, відповідає критерію якості [5].



НД - початкові дані на проектування технологій; $P_{r,i}$ – варіанти технологій; $T_{M,j}$ - варіанти виконання технологічних операцій; $O_{P,R}$ – варіанти технічних засобів виконання операції; $U_{P,q}$ – результати одержаних технологій; B1-B4 - блоки відбору найбільш раціональних рішень за критеріями Q1-Q4; $R_{опт}$ – аналіз варіантів із вибором оптимального рішення.

Рисунок 2. Модель багаторівневого процесу технологічного проектування з ступінчатими відборами рішень на кожному рівні.

В роботі Афанасьєва А.В. розроблено комплекс комп'ютерних програм, побудованих у системі програмі Microsoft Excel, які забезпечують розрахунок технологічних процесів видалення, переробки та використання підстилкового гною в біологічно активні добрива [1, 16-18].

Для порівняльної оцінки технологій використовують методи Парето-оптимізації [1,5,7]. Цей метод ґрунтується на аналізі кількох можливих рішень однієї й тієї ж задачі (дослідження різних варіантів). Для вибору раціональної технології серед конкуруючих використовують методи прийняття рішень [8]. Розраховуються з допомогою ПЕОМ кілька варіантів технології, з яких надалі необхідно вибрати раціональний варіант, придатний до використання на практиці.

Визначення ефективності застосування обраної технології за допомогою методу Парето-оптимізації можна здійснити за одним або кількома критеріями одночасно.

Цей клас завдань може бути записано у вигляді наступної оптимізаційної задачі за формулами

$$Q(X) \rightarrow \min, \quad Q(X) \rightarrow \max, \quad (7)$$

$x \in S \qquad \qquad \qquad x \in S$



де $Q(X)$ – скалярна функція, критерій оптимізації;
 s – множина допустимих станів X .

Інші критерії в цьому випадку використовуються як обмеження.

На практиці частіше виникають задачі одночасної оптимізації за кількома критеріями. Одночасний облік безлічі критеріїв можливий в задачах багатокритеріальної оптимізації, в яких критерій оптимізації $K_m(X)$ є не скаляром, а вектором, як зазначено у формулі [1,8]

$$K_m(X) = [K_1(X), K_2(X) \dots K_n(X)]. \quad (8)$$

Задача зводиться до одночасного пошуку екстремуму за K критеріями, який представлено формулою

$$K_i(X) \rightarrow \underset{x \in S}{extr} (i = 1 \dots n). \quad (9)$$

Вирішення цієї задачі можливе при одночасному визначенні стану $\{X^*\}$. У цьому задачі багатокритеріальної оптимізації записується як послідовність за формулою

$$K_i\{X^*\} < K_i(X) (i = 1 \dots n). \quad (10)$$

При цьому значення X_1 є строго кращим, ніж стан X_2 якщо $K(X_1) < K(X_2)$ [1].

Багатокритеріальна оптимізаційна задача може так само вирішуватися з обґрунтуванням одного комплексного критерію ефективності E_k , який є лінійною комбінацією одиничних критеріїв E_j , представлену формулою [7]

$$E_k = \sum_{j=1}^n \lambda E_j \rightarrow \max, \quad (11)$$

де n - число врахованих критеріїв;
 λ - вагова характеристика критерію.

Даний метод має певні труднощі у знаходженні вагової характеристики критерію та приведення критеріїв оцінки до єдиної розмірності.

Вище викладеного недоліку позбавлений метод багатокритеріального аналізу оцінки варіантів технологій [1,2,8]. Цей метод пов'язаний із безпосереднім розподілом прийнятих критеріїв оптимізації y_1, y_2, \dots, y_n для кожного допустимого варіанту та



відкиданням безперспективних. Чим більше критеріїв введено, тим повніше уявлення про об'єкт. Порівняння між собою будь-яких двох варіантів рішень дозволяє визначити, чи перевищують критерії оптимізації одного варіанта відповідні показники іншого варіанту. Якщо відповідь ствердна, то варіант з кращими критеріями може розглядатися як домінуючий.

Особливість багатокритеріальної оптимізації за Парето полягає в ефективній попередньої оцінки варіантів з різними значеннями критеріїв. В результаті порівняння відбувається ранжування технологій за ступеня ефективності. Після першої ітерації визначається перший оптимальний варіант. Для визначення другого за оптимальністю варіанта виконується попарне порівняння варіантів, що залишилися ($n-1$). Розрахунки виконуються до того часу, поки все n варіанти не будуть ранжирувані по ефективності.

Висновки. Аналіз сукупності технологічних процесів утилізації гною (посліду) та взаємозв'язків із впливовими факторами, обумовлює значну апіорну невизначеність умов. Різноманітність цілей та засобів вирішення завдань визначають необхідність залучення додаткової інформації міждисциплінарного характеру, особливо теорії перебігу біохімічних процесів. У зв'язку з цим в даний час формується тенденція до інтелектуалізації процесів прогнозування стану об'єкта, що вивчається, або явища на основі реалізації теоретичних положень, практичних розробок інформатики та штучного інтелекту в просторі вирішення поставлених завдань.

Список використаних джерел.

1. Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. К.: НАУ, 2017. 392 с.
2. Трибрат Р. О. Моделювання технологічних процесів у тваринництві: метод. рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Миколаїв: МНАУ, 2016. 47 с.
3. Uvarov R., Briukhanov A., Shalavina E. Study results of mass and nutrient loss in technologies of different composting rate: case of bedding poultry manure. *Engineering for rural development Proceedings*. 2016. С. 851–857
4. Wiegers K. E. Software Requirements. *Redmond*: Microsoft Press, 2008. 2-nd edition. 516 p.
5. Томашевський В. М. Моделювання систем: підруч. для студ. ВНЗ. / за заг. ред. М. З. Згуровського. К.: Видавнична група ВНЗ, 2008. 352 с.



6. 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.

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

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б.В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

14. 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). 1144.2. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16. No2, b. Pp. 183–188.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

O. Skliar, R. Skliar, A. Komar
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

OVERVIEW OF METHODS OF RESEARCH AND OPTIMIZATION OF MACHINE TECHNOLOGIES OF ANIMAL WASTE DISPOSAL

Summary

The article provides an overview of the methods of research and optimization of machine technologies for the disposal of livestock waste, namely manure and droppings. The advantages of optimal decision-making using personal computers, statistical models in the form of unidimensional and multidimensional regression equations and dynamic systems, linear and non-linear programming methods in research on the mechanization of agricultural production processes are considered. One of the main tasks during research on the mechanization of agricultural production processes is obtaining reliable statistical models (solving the problem of identification), their research and optimization in relation to specific criteria or conditions of production. It is shown that the model of the multi-level process of technological design with stepwise selection of solutions at each level is characterized by high efficiency, because the user at each stage of design has the opportunity to select several options closest to the best option. Special attention is paid to the use of the Pareto-optimization method for comparative evaluation of technological processes of removal, processing and use of litter manure into biologically active fertilizers. The peculiarity of multi-criteria Pareto optimization consists in the effective preliminary assessment of options with different criteria values, as a result of such a comparison, technologies are ranked by degree of efficiency. The analysis of the totality of technological processes of manure (excrement) utilization and relationships with influential factors determines significant a priori uncertainty of conditions. The variety of goals and means of solving tasks determine the need to involve additional information of an interdisciplinary nature, especially the theory of the course of biochemical processes. In this regard, there is currently a tendency to intellectualize the processes of forecasting the state of the object being studied or the phenomenon based on the implementation of theoretical provisions, practical developments in informatics and artificial intelligence in the space of solving the tasks.

Key words: research methods, optimization, utilization, manure, litter, mathematical models, technology, technological process.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-10

УДК 631.372; 631.334

С. П. Погорілий, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-9701-2678

В. Г. Присяжний, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-5096-3241

В. Ю. Мірний

ORCID: 0000-0003-0560-2484

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

e-mail: mirnyivalera@gmail.com, тел.: 066-298-77-54

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАВІСНОГО ПРИСТРОЮ МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ТИПУ “АВТОТРАКТОР” ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4

Анотація. В статті наведено аналіз конструкцій навісних пристроїв та місця їх встановлення на МЕЗ. Складено аналітичні залежності, які встановлюють взаємозв'язки між вагою технологічного модуля (ТМ) та силою, що виникає в гідравлічному циліндрі навісного пристрою. На основі аналітичних залежностей складено графічні залежності навантажень, які виникають під час виконання процесу агрегування ТМ з МЕЗ. Показано зміну навантажень на гідравлічні циліндри від висоти підйому ТМ. Складено математичну залежність і отримано реакції котрі виникають в опорах навісного пристрою. Обґрунтовано параметри гідравлічних циліндрів, який забезпечить підйом ТМ. За результатами проведених наукових досліджень обґрунтовано конструкцію навісного пристрою до мобільного енергетичного засобу типу “Автотрактор”, який забезпечує агрегування ТМ масою до 2 т. Конструкція навісного пристрою відповідає вимогам стандарту до навісних пристроїв категорії 2. Навісний пристрій має просту конструкцію, є легким у виготовленні, не має дороговартісних та складних у виготовленні елементів.

Ключові слова: навісний пристрій, автотрактор, мобільний енергетичний засіб, сільськогосподарський агрегат, тяговий клас.

Постановка проблеми. Використання комбінованих сільськогосподарських агрегатів, які дають можливість виконувати кілька технологічних операцій за один прохід, стрімко набуває популярності. Для цього необхідно створити багатофункціональний мобільний енергетичний засіб, котрий буде забезпечувати розміщення кількох технологічних модулів (ТМ) на його базі та буде ефективним на виконанні сільськогосподарських операцій. В Інституті механіки та

автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України було створено такий мобільний енергетичний засіб МЕЗ-115 «Автотрактор» [1]. Він має наступні основні технічні характеристики: маса – 3,4 т, потужність двигуна – 84,6 кВт (115 к. с.), колісна формула – 4x4, максимальна швидкість руху – 90 км/год, база – 3,3 м.

Аналіз останніх досліджень. Для забезпечення агрегування МЕЗ із серійними с.-г. машинами необхідно обладнати енергозасіб оригінальним навісним пристроєм (рис.1.). Відомі навісні пристрої не задовольняють потреб, адже вони мають значні габаритні розміри [2]. При встановленні такого навісного пристрою, він заважатиме безперешкодному агрегуванню с.-г. машин на раму МЕЗ [3].



Рисунок 1. Відомі навісні пристрої

Виникає необхідність розроблення власного навісного пристрою. Під час розроблення конструкції навісного пристрою керувалися вимогами стандарту до навісних пристроїв [4]. Він повинен не перешкоджати агрегуванню ТМ на рамі МЕЗ, повинен мати просту конструкцію та не мати дороговартісних елементів (поворотний вал підйомних важелів, підймальні важелі, тощо).

Формулювання мети статті. Обґрунтувати параметри навісного пристрою для агрегування багатофункціонального мобільного енергетичного засобу МЕЗ-115 «Автотрактор» (МЕЗ) тягового класу 1,4 з сільськогосподарськими (с.-г.) машинами та знаряддями.

Основна частина. З урахуванням вищезазначеного та аналізу відомих конструкцій навісних пристроїв розроблено власну конструкцію навісного пристрою (рис.2.).

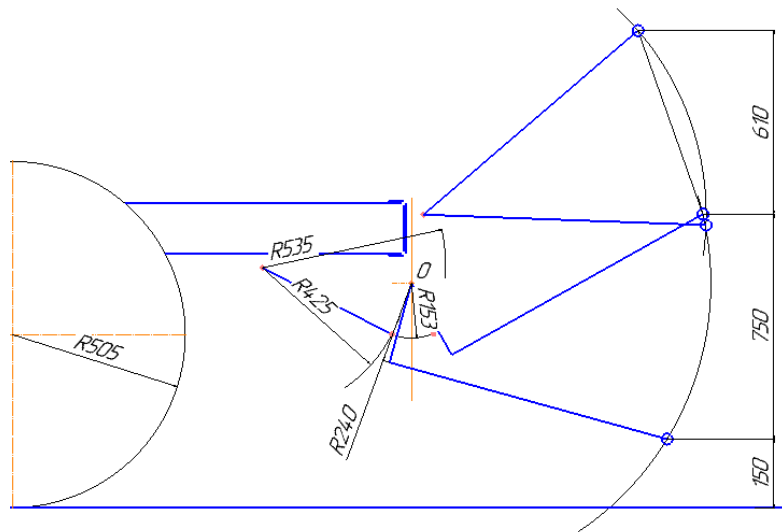


Рисунок 2. Схема навісного пристрою

Для обґрунтування параметрів навісного пристрою МЕЗ побудуємо розрахункову схему сил (рис. 3.). Сили які діють в системі – це сила F , яка виникає зі сторони дії гідроциліндра та вага ТМ $G_{ТМ}$.

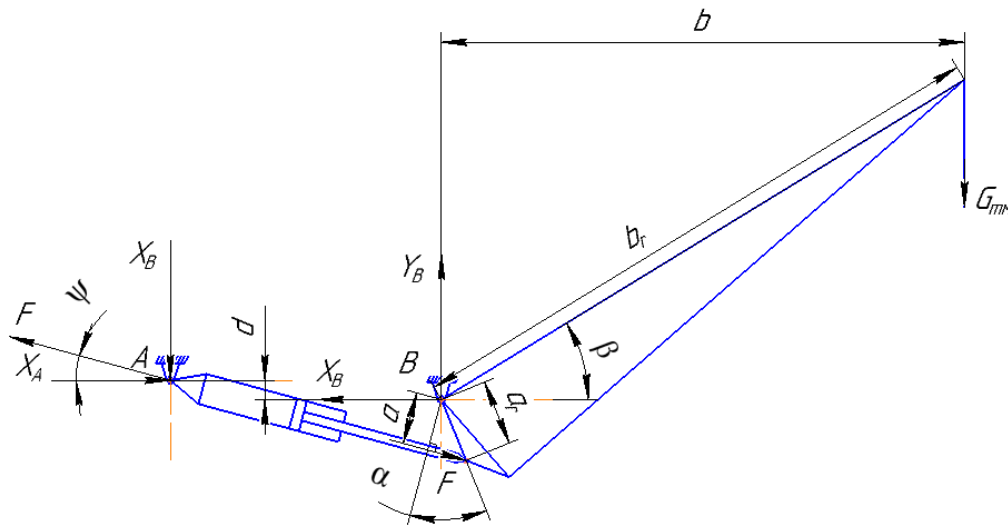


Рисунок 3. Схема прикладених сил та реакції опор

Для обґрунтування параметрів гідроциліндрів навісного пристрою складемо систему рівнянь і визначимо силу F , яка необхідна для підняття ТМ. Складемо суму моментів ($\Sigma M_B = 0$) відносно осі обертання поворотного важеля навісного пристрою (точка В), отримаємо залежність:

$$F \cdot a - G_{ТМ} \cdot b = 0, \quad (1)$$

де ΣM_B - сума моментів відносно точки В;

$G_{ТМ}$ - вага ТМ, кН;

F – сила, яка виникає в гідроциліндрах і необхідна для здійснення



підйому ТМ, кН;
 a, b – плече сил F і $G_{\text{ТМ}}$ відповідно, м;

Знайдемо невідомі a і b :

$$a = a_r \cdot \cos(\alpha - \varphi), \quad (2)$$

$$b = b_r \cdot \cos(\beta - \varphi), \quad (3)$$

де a_r, b_r – радіуси за якими рухаються елементи начіпного пристрою, м.

Використовуючи отриману залежність (1), виразимо силу F .

$$F = \frac{G_{\text{ТМ}} \cdot b_r \cdot \cos(\beta - \varphi)}{a_r \cdot \cos(\alpha - \varphi)}, \quad (4)$$

Для визначення сили F в гідроциліндрах було використано наступні вхідні дані: $G_{\text{ТМ}} = 20$ кН, $b_r = 1,43$ м, $a_r = 0,153$ м, $\alpha = 21,42^\circ$, $\beta = 30,1^\circ$, φ – від 0 до 60° .

З використанням залежності (4) отримано графічну залежність сили F від впливу кута підйому φ (рис. 4).

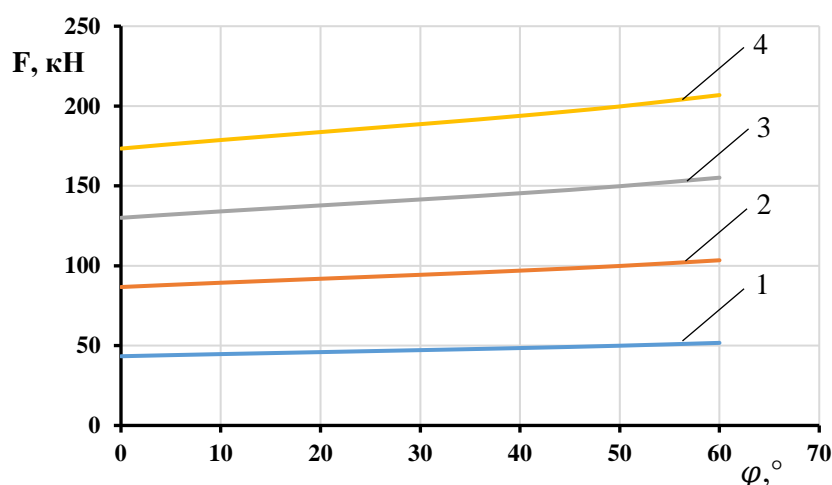


Рисунок 4. Залежність сили F від кута підйому φ : 1, 2, 3, 4 за ваги ТМ: 5, 10, 15, 20 кН відповідно.

Аналіз графічних залежностей (рис. 4) показав, що зі збільшенням ваги ТМ збільшується сила F гідроциліндра. Це відбувається пропорційно до зміни ваги ТМ. Для прикладу, за ваги ТМ 5,0 кН і відповідно до зміни кута підйому φ від 0 до 60° сила F збільшується з 43,34 кН до 51,7 кН. Аналогічна ситуація постерігається при підйому ТМ більшої ваги, так за ваги ТМ 20,0 кН сила F збільшиться з 173,36 кН до 206,87 кН. Найбільше значення сили F спостерігається у максимально піднятому положенні навісного пристрою.



Для обґрунтування параметрів навісного пристрою визначаємо зусилля у вузлах з'єднання навісного пристрою з рамою МЕЗ.

Для визначення зусиль, котрі виникають в опорах А і В (рис. 3.) складемо систему рівнянь ($\Sigma F_y = 0$) і ($\Sigma F_x = 0$) і визначимо реакції, які виникають в опорах навісного пристрою:

$$Y_B - Y_A - G_{\text{ТМ}} = 0, \quad (8)$$

$$X_B - X_A = 0, \quad (9)$$

де X_A і Y_A – горизонтальна та вертикальна реакції в опорі А відповідно;

X_B і Y_B – горизонтальна та вертикальна реакції в опорі В відповідно;

Розкладемо значення X_A і Y_A через значення F :

$$X_A = \cos\psi \cdot F, \quad (10)$$

$$Y_A = \sin\psi \cdot F, \quad (11)$$

де ψ – кут прикладання сили F ;

З отриманих залежностей (10) і (11) маємо значення $X_A = 200,7$ кН; $Y_A = 47,6$ кН, а із залежностей (5) і (6) $Y_B = 67,6$ кН, а $X_B = X_A = 200,7$ кН.

Маючи силу F визначаємо параметри гідроциліндру, який повинен забезпечити підйом ТМ на задану висоту.

Для визначення діаметру циліндра використаємо відому формулу:

$$S = \frac{F}{p}, \quad (12)$$

де S – площа циліндра, м²;

F – зусилля в гідроциліндрі, Н;

p – тиск робочої рідини МЕЗ гідросистеми, Па;

Для розрахунків використаємо максимальні значення сили $F = 206,9$ кН. Тиск робочої рідини візьмемо такий, за якого спрацьовує запобіжний клапан гідросистеми МЕЗ ($p=13,5$ МПа). Отримуємо $S=153,3$ см², а діаметр такого циліндра становитиме $d=13,98$ см [6].

Проаналізувавши каталоги серійних гідроциліндрів, найближчий по необхідному діаметру має занадто великі габаритні розміри, тому було прийнято рішення розділити навантаження на два однакові гідроциліндри. Після перерахунку отримали значення $d = 9,8$ см. Отже, для забезпечення підйому ваги 20 кН необхідно обладнати навісний пристрій двома гідроциліндрами діаметром 100 мм кожен.

З урахуванням вищезазначених розрахунків спроектовано та представлено 3D модель навісного пристрою рис.5.

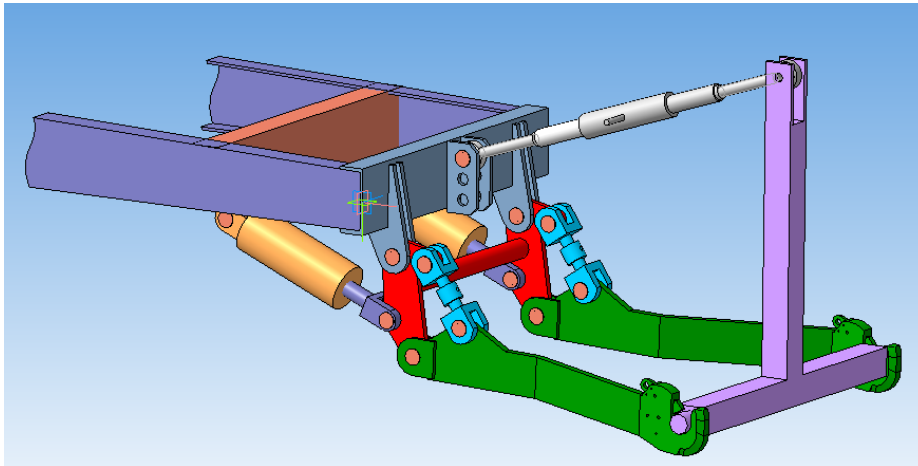


Рисунок 5. 3D модель розробленого навісного пристрою

Отриманий навісний пристрій забезпечує виконання поставлених вимог до його конструкції, зокрема зменшення габаритних розмірів, виключення з конструкції дороговартісних та складних у виготовленні елементів. Конструкція навісного пристрою виконує вимоги стандарту до навісних пристроїв категорії 2.

Висновки. Обґрунтовано конструкцію навісного пристрою до мобільного енергетичного засобу типу “Автотрактор”, який забезпечує агрегування ТМ масою до 2 т. Конструкція навісного пристрою відповідає вимогам стандарту до навісних пристроїв категорії 2. Навісний пристрій має просу конструкцію, є легким у виготовленні, не має дороговартісних та складних у виготовленні елементів.

Список використаних джерел

1. Погорілий С., Присяжний В. Перспективи використання мобільних енергетичних засобів тягового класу 1,4-2 в агропромисловому виробництві. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2022. Вип. № 15 (114). С. 108–114. doi: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-13>
2. Навісні пристрої тракторів. URL: <https://budtehnika.pp.ua/> (дата звернення: 06.04.2023).
3. Адамчук В., Погорілий С. Перспективи використання автомобільного шасі в агропромисловому виробництві. *Інженерія природокористування*. 2016. No 1 (5). С. 108–112.
4. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машина сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Зі зміною № 1 та поправкою. [Чинний від 1994-01-01]. Київ, 1994.
5. Кальченко Б. І., Ребров О. Ю., Динаміка руху колісних тракторів: монографія. Харків. Видавець: О.А. Мірошніченко, 2021, 320 с.



6. Финкельштейн З. Л., Яхно Расчет О. М., Проектирование и эксплуатация объемного гидропривода. Учебное пособие. К.: НТУУ «КПИ». 2006, 216 с.
7. Hammes S., Meyer H. Entwicklung eines semi-aktiven Federungssystems fuer hydropneumatisch vollgedeferte Traktoren. VDI-Berichte. 2010. №2111. P.31–41.
8. Deprez K., Moshou D., Anthonis J., Baerdemaeker J. D., Ramon H. Improvement of vibration comfort on agricultural vehicles by passive and semi-active cabin suspensions. Computer Electronics in Agriculture. 2005. № 49. P. 431–440.
9. Morita S. Analysis of a high-frequency vibration transmission of an agricultural tractor using dynamical energy analysis / S. Morita, G. Tanner, T. Hartmann, S. Nakagawa // Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan. 2017. Т. 48. № 2. P. 371–376.
10. Rajagopal M. M., Kumar S., Rao N. Minimizing Tooth Mesh Misalignment in Heavy Duty Tractor Transmission. SAE Technical Paper. 2016. №. 2016-01-8069
11. Дзоценидзе Т. Д., Козловская М. А. Технологический уклад и транспортное обеспечение сельхозпроизводства некоторых зарубежных стран. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2014 №1. С. 44–47.
12. Кальченко Б. І., Ребров О. Ю. Плавність руху як складова динаміки трактора: монографія. Харків: ФОП Панова М., 2018 164 с.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

**Pogorilyy S. P., Prysyzhnyi V. G., Mirnyi V. Y.,
Institute of Mechanics and Automation of Agroindustrial Production of NAAS of
Ukraine**

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE ATTACHED DEVICE OF THE MOBILE ENERGY VEHICLE OF THE "AUTOTRACTOR" TYPE OF DRIVING CLASS 1.4

Summary

The article provides an analysis of the constructions of hinged devices and their installation locations on the MEZ. Analytical dependencies have been developed that establish relationships between the weight of the technological module (TM) and the force generated in the hydraulic cylinder. On the basis of analytical dependencies, graphical dependencies of loads that arise during the process of aggregating TM with MEZ have been compiled. The change of loads on hydraulic cylinders from the height of TM lift is shown. A mathematical dependence has been compiled and the reactions that occur in the supports of the attachment device have been obtained. The parameters of the hydraulic cylinders, which will ensure the lifting of the TM, are substantiated.

The use of combined agricultural machinery, which allows performing several technological operations in one pass, is rapidly gaining popularity. To achieve this, a



multifunctional mobile energy tool must be created, which will provide the placement of several technological modules (TM) on its base and be effective in performing agricultural operations. The Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine has developed such a mobile energy tool, the MEZ-115 "Autotractor."

According to the results of scientific research, the design of the attachment device for a mobile energy vehicle of the "Autotractor" type, which ensures the aggregation of TM with a mass of up to 2 tons, is substantiated. The design of the attachment device meets the requirements of the standard for attachment devices of category 2. The attachment device has a simple design, is easy to manufacture, does not have expensive and difficult to manufacture elements.

Key words: attachment device, tractor, mobile energy vehicle, agricultural unit, traction class.



УДК 640.43:628.88

Л. В. Фіалковська, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-4353-0963

Вінницький торговельно-економічний інститут КНТЕУ

E-mail: larisa_fialkova@ukr.net

ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ У ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Анотація. У роботі наведені типи кондиціонерів, що використовуються в закладах ресторанного господарства. Описано призначення та види систем вентиляції.

Для життєдіяльності організму людини важливі наступні параметри повітря: метеорологічні параметри (температура, відносна вологість, швидкість); хімічний склад повітря (відсотковий склад кисню, вуглекислоти, наявність шкідливих парів й газів); наявність пилу в повітрі.

Задачею вентиляції і кондиціонування є боротьба зі шкідливими викидами.

В роботі проведений аналіз сучасного стану способів кондиціонування та вентиляції повітря в закладах ресторанного господарства. Обґрунтовані конструктивні особливості систем кондиціонування. Наведені переваги та недоліки систем кондиціонування.

Ключові слова: кондиціонування, вентиляція, комфорт, заклад, мікроклімат.

Постановка проблеми. Людина перебуває в приміщенні близько 80% свого життя. Тому її здоров'я та працездатність значною мірою залежить від того, наскільки в санітарно-гігієнічному відношенні повітряне середовище приміщення відповідає її фізіологічним потребам.

Фізичний стан повітряного середовища приміщення залежить від таких основних параметрів як температура, відносна вологість та чистота. Навколишнє середовище, у якому відсутні подразнювальні і збуджувальні фактори, що заважають фізичній чи розумовій роботі або відпочинку, називають комфортними [2, 3, 5, 7].

Комфорт забезпечується не тільки температурою повітря і поверхонь огорожувальних конструкцій, відносною вологістю, рухомістю і чистотою повітря в робочій зоні, але й психологічними



факторами.

Так, наприклад, на настрій і продуктивність праці можуть впливати люди, що перебувають поруч, організація робочого місця, гама кольорів і взаємодія всіх перелічених факторів. Недотримання одного з параметрів може порушити рівновагу.

Хоч людський організм легко адаптується до навколишніх умов, сама адаптація є скоріше психічною, аніж фізичною реакцією людини на ці умови. Навколишнє середовище може бути несприятливим для людського організму, однак сама людина може цього не усвідомлювати. Безперечно, кожній людині притаманні свої власні межі комфортних параметрів, які залежать від різного ступеня активної діяльності людини. Завдання інженера і архітектора – створити такі комфортні умови, які були б сприятливі для переважної кількості людей, що перебувають у приміщенні.

Аналіз останніх досліджень. Кондиціонування повітря проводиться для забезпечення необхідних нормованих метеорологічних параметрів повітря приміщення (у робочій зоні, в залі і т.п.) [1, 6, 8-10].

Системи кондиціонування повітря на відміну від системи вентиляції, повинні забезпечувати комфортні умови у межах зовнішніх метеорологічних умов.

Під мікрокліматом приміщень розуміють сукупність параметрів теплового, повітряного та вологісного режимів.

Основна вимога до мікроклімату – підтримання сприятливих умов перебування людей в приміщенні.

Крім оптимальних у приміщенні підтримують допустимі поєднання параметрів мікроклімату, за яких людина відчуває незначний дискомфорт, що не спричиняє змін в організмі людини.

Як оптимальні, так і допустимі параметри мікроклімату повинні підтримуватись у робочій зоні приміщення.

За інтенсивністю праці всі види робіт поділяються на три категорії: легкі, середньої важкості та важкі з витратою енергії, відповідно до 172 Вт, 172...293Вт і більше 293 Вт.

Залежно від інтенсивності явних тепловиділень розрізняють три групи приміщень: виробничі приміщення з незначними явними теплонадлишками (до 23 Вт/м³); виробничі приміщення зі значними явними надлишками теплоти (понад 23 Вт/м³); житлові, громадські та адміністративно-побутові приміщення при будь-яких значеннях надлишків явної теплоти. Причому під останньою розуміють теплоту, що надходить в приміщення від обладнання, нагрітих матеріалів, людей, сонячної радіації та інших джерел теплоти конвекцією та випромінюванням.

Оптимальні та допустимі метеорологічні умови встановлюються Державними будівельними нормами України (ДБН).



В холодну пору року оптимальна температура повітря має становити: для легкої роботи – 20...23 °С, для роботи середньої важкості – 17...20 °С, для важкої роботи – 16...18 °С; допустимі температури становлять, відповідно, 19...25, 15...23 і 13...19 °С.

В теплу пору року оптимальні температури повітря для зазначених категорій робіт становлять, відповідно, 22...25, 21...23 і 18...21 °С. Максимально допустима температура повітря в робочій зоні становить 28 °С.

Оптимальні значення відносної вологості приймаються 40...60 %. Оптимальні швидкості повітря в приміщенні для холодної пори року приймаються 0,2...0,3 м/с, а для ТПР – 0,2...0,5 м/с.

У відповідності до санітарних норм витрати свіжого повітря на одну людину становлять 20 м³/год.

Необхідний мікроклімат приміщень створюється системами інженерного обладнання будинків: вентиляцією та кондиціонуванням повітря.

Вентиляція – це організований та регульований розрахунковий повітрообмін, що забезпечує видалення з приміщення забрудненого повітря, надходження чистого повітря з метою створення повітряного середовища сприятливого для здоров'я людини [1, 7, 9].

За способом переміщення повітря вентиляція поділяється на: природну, примусову та комбіновану.

Головним завданням вентиляції є:

- 1.Видалення пари, диму та гарячого повітря з виробничого приміщення.

- 2.Забезпечення необхідного температурного режиму.

Для видалення з робочих приміщень вологи, випарів, великої кількості теплого повітря застосовується механічна приточно-витяжна вентиляція.

Кондиціонування повітря застосовується через неможливість використання природної вентиляції.

Кондиціонування повітря є вищим рівнем вентиляції.

Метою кондиціонування повітря є створення та підтримання у приміщенні оптимальних параметрів.

Формулювання мети статті. Метою роботи є підбір кондиціонерів для закладів ресторанного господарства.

Класифікація кондиціонерів.

На теперішній час кондиціонери розподіляють на такі типи: побутові, напівпромислові та прецизійні [1, 2, 4].

Побутові кондиціонери включають віконні, підлогові моноблоки і спліт-системи.

Віконні кондиціонери. Ці пристрої знайомі багатьом, вони вбудовуються у віконний простір.



До їх переваг відносяться простота монтажу і готовність до експлуатації. Такі пристрої можуть охолоджувати повітря в невеликому приміщенні і здійснюють викид на вулицю до 10 % кімнатного повітря (режим вентиляції). При цьому мається на увазі, що нове, насичене киснем повітря надходить в приміщення через нещільність у вікнах і дверях.

Падіння попиту пов'язане з недоліками віконних кондиціонерів: високим рівнем шуму, рівнем цін, кондиціонер займає місце у вікні (зменшує рівень освітленості в приміщенні, псує у ньому інтер'єр, у ряді випадків після встановлення віконного кондиціонера вікно перестає відкриватися).

Підлогові моноблоки. Вони використовувалися у перші роки вільного ринку 90-х років минулого століття. Їх перевагою була мобільність і миттєва готовність до роботи. Але мобільність виявилася уявною. Для своєї роботи мобільний кондиціонер вимагає установки гнучкого пластикового повітровода діаметром близько 100 мм. Але довжина такого повітровода обмежена характеристиками вентилятора і складає близько 1,5...2 м. Таким чином, такий кондиціонер може бути встановлений тільки під вікном. Через те, що гаряче повітря з приміщення виводиться на вулицю, такий же об'єм повітря з вулиці надходить у приміщення. Тобто комфортно тільки людині, що знаходиться в безпосередній близькості від кондиціонера, а в самому приміщенні температура істотно не знижується. Компресор мобільного кондиціонера знаходиться в приміщенні, що викликає підвищений шум. Контролюється не температура доквілля, а температура повітря, що подається, що також негативно позначається на споживчих властивостях.

Спліт-системи. Найбільш поширений тип побутових кондиціонерів. Слово «спліт» означає «розділений».

Тобто сам пристрій ділиться на два агрегати – внутрішній блок (малощумний вентилятор і теплообмінник) і зовнішній блок (компресор, потужний вентилятор, конденсатор). За рахунок розділення системи усі шумні частини кондиціонера виведені за межі приміщення. Рівень шуму понижений настільки, що в найбільш малощумних кондиціонерах він стає нижче 20-22 дБ. Крім того, розміри внутрішнього блоку теж помітно менші, ніж, наприклад, у мобільних кондиціонерів.

Спліт-системи зазвичай виготовляють в двох варіантах: «тільки охолодження» і тепловий насос «тепло і охолодження».

Всі сучасні спліт-системи оснащені пультом управління з дисплеєм. Це дає можливість регулювати за допомогою пульта наступні режими:

– охолодження;



- нагрівання;
- висушування, ефективне зниження вологості повітря до рівня близько 60 % без його істотного охолодження;
- вентиляція;
- автоматичний режим;
- вибір швидкості обертання вентилятора внутрішнього блоку;
- встановлення фіксованого кута нахилу або руху жалюзі внутрішнього блоку за певним алгоритмом;
- встановлення бажаної температури в районі внутрішнього блоку;
- таймер, що дозволяє програмувати режим роботи, і ряд інших сервісних і допоміжних функцій.

Спліт-системи не можуть подавати свіже повітря з вулиці. Вони працюють на рециркуляцію. Останніми роками з'явилися моделі, які виробляють кисень, або подають його з вулиці в малих об'ємах, але їх робота не забезпечує дотримання санітарних норм з подання свіжого повітря (вентиляція).

В сучасних спліт-системах використовуються різноманітні фільтри, що очищують повітря. Фільтр має вигляд синтетичної сітки (грубе очищення). Усі інші фільтри – вугільні, антибактеріальні і т.п. – встановлюються на конкретних моделях.

Окрім звичайних спліт-систем зустрічаються мультиспліт-системи (чи просто мульти-системи). Їх відмінність полягає в тому, що до одного зовнішнього блоку підключається не один внутрішній, а більше (до 5...8 штук).

Напівпромислові кондиціонери відрізняються від побутових спліт-систем, в першу чергу, більшою холодопродуктивністю (від 5 кВт). Внутрішні блоки бувають настінного, підлогового, стельового виконання, касетними, каналними. Зазвичай вони менш привабливі, ніж побутові, мають велику швидкість виходу повітря, більший температурний діапазон і більш високу ціну. У ряді випадків до внутрішніх блоків напівпромислових спліт-систем (каналних, касетних) допускається підводити до 10...15 % свіжого повітря з вулиці.

Мультизональні системи кондиціонування. Внутрішні блоки мультизональних систем і їх характеристики дуже схожі на відповідні напівпромислові моделі.

Уся система нагадує велику мультисистему. Але на відміну від мультисистем до кожного внутрішнього блоку не проводиться окрема фреонова і електрична траса від зовнішнього блоку. Така схема спрощує трасування комунікацій, зменшує загальну сумарну довжину траси. До одного зовнішнього блоку можна підключати до 24 і більше внутрішніх блоків. Відстань між зовнішнім блоком і найвіддаленішим внутрішнім може досягати 150 м, що дозволяє встановити зовнішній блок на



покрівлі або на землі, поряд з багатоповерховою будівлею, що обслуговується.

Чілери і фанкойли. Нагадують мультизональні системи, але на відміну від них в якості теплоносія використовують не фреон, а «розсоли» на основі води. Доцільність їх використання економічно обґрунтована на об'ємах, що перевищують 1000...1500 м².

Центральні кондиціонери. Це і є «кондиціонери» в повному розумінні цього слова. Вони дозволяють регулювати практично усі параметри середовища за допомогою встановлених окремо секцій. Центральний кондиціонер розподіляє повітря через повітроводи. Сам кондиціонер займає цілі технологічні поверхи або встановлюється на покрівлі.

Прецизійні кондиціонери. Це спеціальні кондиціонери, які можуть вирішувати завдання, малодоступні для інших кондиціонерів (розширення температурного діапазону роботи, точність підтримки температури, підвищені вимоги до параметрів повітря). Такі кондиціонери мають вузьку спрямованість, і для кожного конкретного випадку використовується своє певне устаткування.

Висновки. Фізико-динамічна модель комфорту дає змогу визначити такі поняття, як свіжість, здатність пізнання навколишніх умов.

В цій моделі навколишні умови розглядаються як єдине ціле, встановлюється зв'язок між комфортом, роботою або відпочинком.

Кожен заклад ресторанного господарства підбирає систему кондиціонування повітря у відповідності до потреб.

Список використаних джерел

1. Друкований М. Ф., Фіалковська Л. В. Кондиціонування та охолодження. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2012, 273 с.

2. Костенко Е. М. Системы кондиционирования и вентиляции. ТОВ «Основа», Київ, 2006, 437 с.

3. Горикін С. Ф., Титков А. С. Холодильное оборудование. «Оптимум», Одесса, 2008, 190 с.

4. Круль Г. Я. Основи готельної справи: навчальний посібник. М-во освіти і науки України, Чернівецький нац. ун-т ім. Юрія Федьковича. Київ: Центр учбової літератури, 2011. 367 с.

5. Головка О. П. Організація готельного господарства: навчальний посібник; М-во освіти і науки України, Мукачівський державний університет. Київ: Кондор, 2011. 408 с.

6. Вентиляція офісу – як це виглядає. URL: <https://ventportal.com/ua/node/528> 30. (Дата звернення 10.04.23).

7. Вентиляція і кондиціонування повітря. URL: <https://buklib.net/books/35231/> (Дата звернення 10.04.23).

8. Zhiyin D., Changhong Z., Xingxing Z. and others. Indirect



evaporative cooling: Past, present and future potentials. *Elsevier. Series: Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2012. № 16(9). P. 6823–6850 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.007>.

9. Porumba B., Ungureşana P., Tutunaru L.F. and others A review of indirect evaporative cooling technology. *Elsevier. Series: Energy Procedia* 2015. 13. №85. P. 461–471. <https://doi:10.1016/j.egypro.2015.12.228>.

10. Насоси типу Wilo-TOP. URL: <https://volar.com.ua/shop/wilo-top-s-65-10-dm-pn-6-10-nasos-tsirkulatsionnyi.html> (Дата звернення 10.04.23).

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

L. Fialkovska
Vinnitsia Institute of Trade and Economics
of State University of Trade and Economics

AIR CLEANING IN RESTAURANT FACILITIES

Summary

The work shows the types of air conditioners used in restaurants. Purpose and types of ventilation systems are described.

The following air parameters are important for the vital activity of the human body: meteorological parameters (temperature, relative humidity, speed); chemical composition of air (percentage composition of oxygen, carbon dioxide, presence of harmful vapors and gases); presence of dust in the air (organic, mineral, quartz, asbestos dust).

An excess (or lack) of heat and moisture, the presence of harmful vapors, gases, and dust in the air determine the negative effect of the environment on a person and are called hazards.

The task of ventilation and air conditioning is the fight against harmfulness. The most widespread hazards that require the involvement of economic and technical means are heat and moisture.

The paper analyzes the current state of air conditioning and ventilation methods in restaurant establishments. Grounded design features of air conditioning systems. Advantages and disadvantages of air conditioning systems are given.

Key words: air conditioning, ventilation, comfort, institution, microclimate.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-12

UDC 664.857.022:663.81.081.6

G. Deynichenko¹, Grand PhD

ORCID: 0000-0003-3615-8339

D. Dmytrevskiy¹, PhD

ORCID: 0000-0003-1330-7514

V. Guzenko¹, PhD

ORCID: 0000-0001-8407-2404

O. Omelchenko², PhD

ORCID: 0000-0003-0704-5909

V. Perekrest², assistant

ORCID: 0000-0003-1753-0721

¹*State Biotechnological University (Kharkiv)*²*Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Krivyi Rig)*

e-mail: dmitrevskiydv@gmail.com, phone: 096-342-26-35

e-mail: perekrest@donnuet.edu.ua, phone: 098-071-72-94

PROSPECTS OF USING EQUIPMENT FOR MEMBRANE SEPARATION OF FOOD LIQUIDS

Summary. The article analyzes modern equipment used for juice clarification and concentration. The sequence of obtaining clarified juice using existing technologies and equipment is considered. The shortcomings of traditional technological processes are determined. The directions for improving the processes of concentrating and clarifying juice from fruit and vegetable raw materials, as well as the need to develop equipment for their implementation, are substantiated. The use of microfiltration and ultrafiltration membrane devices for juice processing is proposed. The reasons that impede the widespread use of membrane technologies in juice processing processes have been identified. The introduction of membrane technologies into the processing process will increase the yield of the product, preserve the nutritional and biological value of clarified juice, and improve the quality of the final product.

Key words: ultrafiltration, membrane processing, baromembrane processes, clarification of fruit juices, concentration of food liquids, membrane devices.

Formulation of the problem. Processing of fruits and fruit and berry raw materials is a fairly promising area of the food industry. The fruit and vegetable industry performs one of the main tasks of providing the population with food products that have high biological and nutritional value, and also contain vitamins and biologically active substances that are indispensable for humans. Juices are one of the main products of the fruit and vegetable industry. Juices are an important food product because,



together with fresh fruits and vegetables, they provide the human body with a set of all the necessary physiologically active substances - vitamins, macro- and microelements, and many other useful substances necessary for normal human activity. One of the main stages of apple juice production is illumination. This process is carried out for the purpose of colloidal stabilization of the product during storage, as well as to improve the consumer appearance of the product and its organoleptic properties. Traditional juice production technologies involve filtration of freshly squeezed juice through porous partitions with the loss of some valuable substances, as well as the introduction of preservatives and the use of heat sterilization to ensure the necessary shelf life. The use of these technologies does not guarantee complete removal of fruit pulp particles and obtaining a final product with a high level of organoleptic indicators and nutritional value. Some methods of brightening and stabilizing fruit juices are based on the addition of third-party additives to the product, namely brightening materials. Together with these materials, an excessive amount of mineral and other substances often enters the composition of the juice [1]. The duration of juice processing according to traditional technology is from 24 to 30 hours. As a result of such long-term contact of the product with air oxygen, part of the biological value of the juice components is lost. It is obvious that such a phenomenon negatively affects the quality of finished products. In order for the product to meet international standards, it is necessary to use modern equipment based on advanced technologies. Such equipment includes membrane technologies that provide greater yield, improvement in taste, appearance and nutritional value of fruit and berry juices. At the same time, the products retain vitamins, amino acids and other biologically active components. This is possible thanks to the rejection of preservatives and the thermal sterilization stage [2]. Combining different types of membrane processes allows you to create energy-efficient juice concentration technologies and obtain new types of products. One of the main areas of application of membranes in the production of juices is their clarification [3]. Clarification of juices is carried out with the aim of destroying the colloidal system of the product, removing high-molecular protein, pectin and polyphenolic substances and microorganisms. At the same time, a necessary condition is the preservation of biologically active and valuable components, such as vitamins, sugars, mineral and aromatic substances, acids [4]. Membrane operations such as ultrafiltration and microfiltration have been extensively researched and widely used over the past few decades in the industrial processing of fruit juices. The latter include illumination, stabilization, concentration and recovery of aromatic compounds [5]. Concentrated juice is obtained during the processing of direct-pressed juice. For this purpose, the direct-pressed juice can be concentrated in various ways. Among these methods, the membrane method of concentration has



become widespread. As a rule, neither sugar nor other substances for sweetening are added to the composition of concentrated juices [6].

Membrane processes make it possible to create energy-efficient juice concentration technologies and expand the range of products. Using microfiltration and ultrafiltration processes, you can get products with adjustable mineral and carbohydrate composition. One of the main areas of application of membranes in the production of juices is their clarification and concentration. The use of membrane processes allows obtaining products with improved indicators of safety, quality and nutritional value. These processes are characterized by low energy consumption and little impact on the environment.

Analysis of recent research and publications. The consumption of fruit juices has grown significantly in recent years as consumers are interested in quality products that are convenient and ready to consume. Fruit juices act as nutritional beverages and have an important role in a healthy diet because they have a chemical composition that is naturally found in fruit. In addition to this, fruit juices are rich in nutrients with a wide range of vitamins, minerals, proteins and various sources of protective antioxidants. This, combined with a refreshing taste and a long shelf life, makes fruit juices one of the most popular drinks. During juice processing, the main aspects have always been safety and quality improvement, nutritional value, minimization of product manufacturing costs and process implementation [7].

Traditional methods of juice production involve several serial operations that require a lot of work and time. The technological scheme of traditional production involves mechanical pressing of juice from the pulp of the fruit, squeezing of the juice, clarification of the juice by centrifugation or filtration, and the subsequent stage of concentration by means of multi-stage vacuum evaporation [8].

Membrane processes are one approach to juice concentration and clarification that offer a number of advantages over traditional separation processes. These advantages include high selectivity, lack of thermal stress of the fluids processed due to moderate operating temperatures, lack of use of chemical additives, compact and modular design, low energy consumption. Currently, membrane processes carried out under pressure, such as microfiltration, ultrafiltration, represent the most modern technology for juice clarification, fractionation, and concentration. Recently, other membrane processes such as osmotic distillation, membrane distillation, and pervaporation have been used to concentrate juice and recover aromatic compounds [9]. Both microfiltration and ultrafiltration membranes are used to clarify juices. The prepared juice on the filtration unit is divided into clarified permeate and retentate with colloidal substances and microorganisms. Retentate is a concentrate formed during filtration. The retentate consists mainly of retained sediment particles and a suspension of



microorganisms. An increase in the concentration of solids in the retentate leads to a decrease in its total volume. Depending on the technology used for processing, the yield of clarified juice can reach up to 98%. From the point of view of the organization of the process of membrane clarification of juice, several variants of its implementation can be implemented [10]. The membrane used in ultrafiltration and microfiltration is a semipermeable barrier. This barrier allows certain components of liquid mixtures to pass through. Membranes must have high resolution (selectivity); high specific productivity (permeability); chemical resistance to the environment of the isolated system; mechanical strength [11].

The duration of action of the membranes, as well as their service life, is significantly affected by the sediment formation process. The sediment layer is usually impermeable to salt, clogs the surface pores of the membrane, creates additional flow resistance and mass transfer in the boundary layer. As a result, the concentration polarization on the membranes increases and their productivity decreases. The phenomenon of concentration polarization is inherent in almost all baromembrane processes. This phenomenon is an increase in the concentration of a dissolved substance near the surface of the membrane [12]. The productivity of the membrane apparatus depends significantly on the method of processing fruit and berry raw materials, as well as on the processing of primary juice with enzymes. In order to obtain the necessary data for the development of an industrial system, an assessment of the main technology and tests are carried out to select rational filtration conditions [13]. Nowadays the ultrafiltration process has become widespread during the production of clarified concentrated apple juices. In this case, ultrafiltration can replace a separator, kieselguhr and plate filter press. In addition, ultrafiltration replaces the treatment of raw materials with brightening substances. The use of ultrafiltration treatment allows you to remove solid particles, as well as high-molecular components, which are starch and proteins. In modern production conditions, ultrafiltration has become an alternative, and in some cases, a replacement for the traditional lighting process, while ensuring higher profitability of the process and product quality. In order to reduce the pectin content, the juice must be purified by enzymes before ultrafiltration. This technology guarantees a high product yield, optimal productivity and quality of the final product. Unlike microfiltration treatment, ultrafiltration of juices removes not only insoluble but also soluble substances. These substances include pectin, starch, proteins, as well as various condensed forms of polyphenols.

Formulation of the purpose of the article. The purpose of the article is to conduct an analysis of membrane processes used for clarification and concentration of liquid food media, as well as to identify the most effective and energy-saving methods and equipment for clarification of fruit juices.

Presentation of the main research material. At present, clarification of



juices by ultrafiltration is widely used in industry for clarification and stabilization of the quality of cherry, apple, grape, lemon, orange and other juices. It is known that during ultrafiltration, approximately 19...32% of pectin compounds, 9.5...18.4% of protein compounds, and 38.5...45% of colloids are removed from apple juice. Removal of high molecular weight substances from apple juice in the specified amount allows to obtain clarified juice with high nutritional qualities and organoleptic indicators. The advantages of using ultrafiltration during clarification of fruit and berry juices include the high quality of purified juice, especially in terms of color, transparency and taste. In addition, the advantage is a high extraction of juice, which is approximately 98...99%. Enzyme processing during ultrafiltration can be automated, and costs are reduced by up to 25% compared to traditional methods. It should also be noted that additional treatments with gelatin, bentonite and kieselguhr can be excluded. In addition to the above-mentioned advantages, ultrafiltration has low production costs and is also characterized by a hygienic design. After ultrafiltration of the juice, a certain amount of sediment remains, containing the pomace and part of the juice, but their content is very small compared to the amount obtained during the classical processing process [14].

An important indicator of ultrafiltration lighting is that the membranes, retaining colloids, pass many valuable components of the juice. These components include sugars, soluble vitamins, amino acids, organic acids, and minerals. As a result, the nutritional and biological value of the juice does not decrease [15]. Today the studies of the dependence of the degree of clarification of apple juice on ultrafiltration membrane installations on the diameter of the membrane pores have been carried out. According to experimental data, membranes with a pore diameter of 0.025-0.045 μm provide a high degree of removal of colloidal substances while preserving the original amounts of sugars, vitamins and other valuable soluble substances in the juice. Membranes with a large pore diameter do not allow obtaining the required degree of illumination. Membranes with smaller pores have a low permeability. Conducted research proves that ultrafiltration is a cost-effective way of lighting, which has significant advantages over traditional lighting processes. However, it should be noted that the juices must be pre-treated. Studies on determining the effect of preliminary preparation of juice on the speed and filtering capacity of ultrafiltration units during apple juice processing have shown that the most effective treatment with enzymes followed by separation. The use of additional clarification of apple juice with gelatin and kieselsol before ultrafiltration showed low efficiency. Depending on the type of ultrafiltration unit, apple juice is often treated with enzymes before ultrafiltration and separated or filtered.

If we consider the materials from which membranes are made, polymer membranes dominate the industrial market of membrane technologies. They

are relatively cheap, easy to manufacture, and available in a wide range of pore sizes. The most common polymer membranes are made from cellulose acetate, polysulfone, polyethersulfone, polytetrafluoroethylene, polypropylene, polyethylene, polyvinylidene fluoride, polyacrylonitrile, and polyamide. Ceramic membranes are made from inorganic materials (for example, aluminum oxide, zirconium, titanium, and silica). They exhibit high resistance to aggressive environments (acids, alkalis, strong solvents), as well as high mechanical and thermal resistance. Despite the fact that the cost of their production is higher than that of polymer membranes, they are environmentally friendly, durable and have a longer service life. The most effective and cost-effective membrane separation method is tangential filtration. This is due to the fact that along with traditional separation methods, which include centrifugation, filtration, settling, tangential filtration in flow membrane elements has significant advantages, namely: the absence of stagnation zones, high selectivity in relation to the component passing through membrane, the possibility of washing the filter without disassembling the device, as well as low energy consumption, compactness and simplicity of the hardware design. However, their performance is not always satisfactory. One of the ways to increase it is the artificial turbulence of the flow with the help of built-in devices. The implementation of this approach requires the development of methods of calculation and design of tubular membrane devices with turbulating devices, as well as the search for optimal design solutions and the determination of conducting conditions.

Dead-end and tangential filtration is used in modern enterprises of the food industry. Dead-end filtration is a highly effective and economical way of cleaning food products, and the equipment for its implementation is compact and easy to use (Fig. 1).

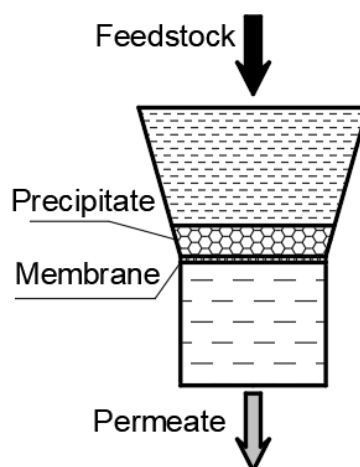


Figure 1. Scheme of dead-end membrane filtration

Tangential filtration is characterized by the product flow passing over the membrane surface (Fig. 2).

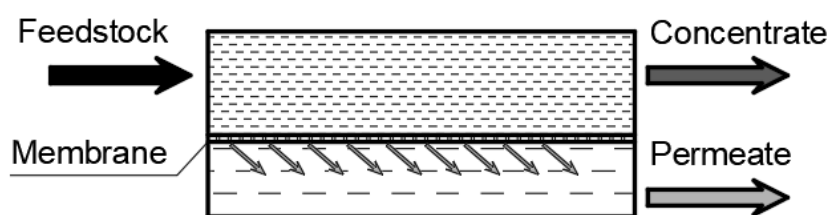


Figure 2. Scheme of tangential membrane filtration

Dead-end and tangential filtering differ significantly. During dead-end filtration, the liquid flow is directed perpendicular to the filter surface, and during tangential filtration, the flow moves in a direction parallel to the membrane surface. As a rule, in tangential filtration machines, the circulation pump creates a flow that moves along the surface of the membrane (Fig. 3). Thus, this flow prevents the formation of sediment on the surface of the membrane.

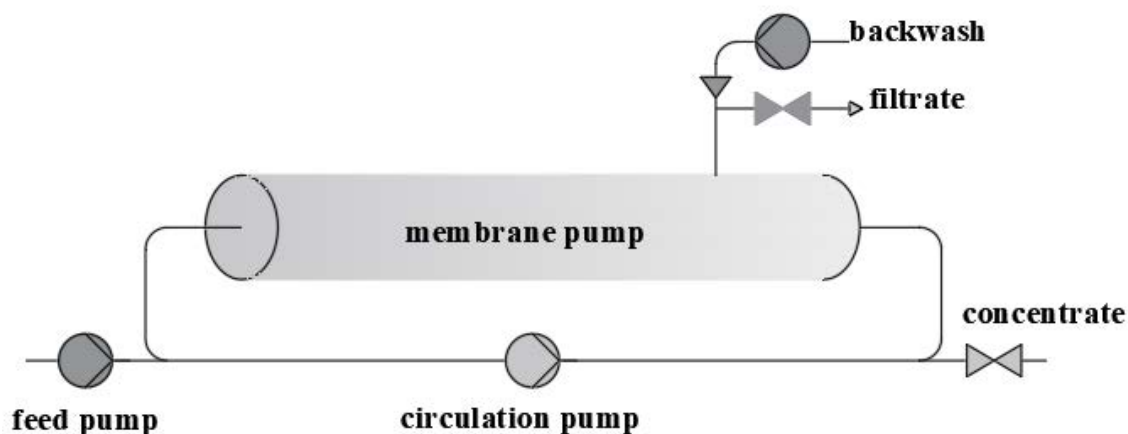


Figure 3. Technical equipment of the tangential filtration process

Tangential filtration is a technology that uses porous membranes capable of trapping particles from 0,2 to 0,4 microns (microns). The membrane used is narrow, so this type of filtration removes spoilage microorganisms such as yeast. The peculiarity of tangential filtration is that the product is supplied tangentially, and not frontally to the membrane. In addition, the advantage of tangential filtration is that the filter medium is clogged only on the surface, which facilitates cleaning, which is carried out after each cycle of use. There are two types of membranes used for tangential filtration. These include organic membranes and ceramic membranes.

The use of membrane methods in the food industry allows cleaning and concentration of solutions without heating and evaporation. They are also used for technological preparation of water, stabilization of soft drinks and grape wines, concentration of natural juices, pasteurization, extraction of valuable components from technological effluents of various industries, clarification of fruit and vegetable juices, syrups. Compared to the processes of evaporation or freezing, membrane methods allow to improve the quality



and increase the yield of the obtained products.

Conclusions. Modern technological processes used for membrane separation of food liquids and the corresponding equipment for their implementation are analyzed. It has been determined which technologies are used for clarification and concentration of juices. The main methods of juice processing are considered, in particular, the sequence of obtaining clarified juice with the use of existing technologies and equipment. On the basis of the conducted analysis, the necessity of using membrane technologies for the clarification and concentration of fruit juices is substantiated. The main areas of improvement of the processes of concentration and clarification of juice from fruit raw materials, as well as the need for the development of equipment for their implementation, are given. The process of membrane processing in dead-end and tangential modes is analyzed. The main advantages and disadvantages of their use in fruit juice processing processes have been revealed. The conducted analytical studies prove that the introduction of membrane technologies into the production process will increase product yield, preserve the nutritional and biological value of clarified juice, and improve the quality of the final product. Ultrafiltration membrane units have been found to retain colloids while allowing all valuable juice components such as sugars, minerals, organic acids, soluble vitamins and amino acids to pass through. As a result of the use of ultrafiltration devices, the yield of the product increases, the nutritional and biological value of clarified juices does not decrease, the quality of the final product improves, which makes it possible to obtain food products with new functional properties and high nutritional value.

References

1. Bagci P. O. “Effective clarification of pomegranate juice: a comparative study of pretreatment methods and their influence on ultrafiltration flux”, *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 141, Pp. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.009>.
2. Conidi C., Drioli E., Cassano A., “Perspective of Membrane Technology in Pomegranate Juice Processing: A Review”, *Foods*. 2020. Vol. 9, Pp. 889–914. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9070889>.
3. Дейниченко Г. В., Дмитревський Д. В., Гузенко В. В., Афукова Н. О. Аналіз застосування мембранних апаратів для виробництва соків із плодової сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 36–43. DOI: 10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43.
4. Cherevko O. I., Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Guzenko V. V., Heiier H. V., Tsvirkun L. O. Application of membrane technologies in modern conditions of juice production. *Прогресивна*



техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2020. Вип. 2 (32). С. 67-77. DOI: 10.5281/zenodo.4369743.

5. Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Zolotukhina I. V., Perekrest V. V., Guzenko V. V. Directions of improvement of processes of membrane separation of juices from fruit and berry raw materials. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2021. Вип. 1 (33). С. 89–98. DOI: 10.5281/zenodo.5036090.

6. Domingues R. C. C., Ramos A. A., Cardoso V., Reis M. H. M. (2014), “Microfiltration of passion fruit juice using hollow fibre membranes and evaluation of fouling mechanisms”, *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 121, Pp. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.037>.

7. Дейниченко Г. В., Золотухіна І. В., Дмитревський Д. В., Гузенко В. В., Перекрест В. В., Гладкова О. С. Сучасні технології баромембранних процесів у харчовій промисловості. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2021. № 2 (43). С. 86–93. DOI: 10.33274/2079-4827-2021-43-2-86-93.

8. Yukun Li, Jianquan Luo, Yinhua Wan. Biofouling in sugarcane juice refining by nanofiltration membrane: Fouling mechanism and cleaning. *Journal of Membrane Science*. Vol. 612, 2020. 118432, ISSN 0376-7388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118432>.

9. Emel Yilmaz, Pelin Onsekizoglu Bagci. Ultrafiltration of Broccoli Juice Using Polyethersulfone Membrane: Fouling Analysis and Evaluation of the Juice Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 2019. Vol. 12, Pp 1273–1283. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02292-0>.

10. Samreen Ch V.V. Satyanarayana, L. Edukondalu, Vimala Beera. Srinivasa Rao. Effect of Pre-treatment on Aggregation, Biochemical Quality and Membrane Clarification of Pomegranate Juice. *Indian Journal of Ecology*, 2022. 49(3): Pp. 910–918 DOI: <https://doi.org/10.55362/IJE/2022/3615>.

11. David Inhyuk Kim, Gimun Gwak, Min Zhan, Seungkwan Hong. Sustainable dewatering of grapefruit juice through forward osmosis: Improving membrane performance, fouling control, and product quality. *Journal of Membrane Science*, 2019. Vol. 578, Pp. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.02.031>.

12. Xiaochan An, Yunxia Hu, Ning Wang, Zongyao Zhou, Zhongyun Liu. Continuous juice concentration by integrating forward osmosis with membrane distillation using potassium sorbate preservative as a draw solute. *Journal of Membrane Science*. Vol. 573, 2019, Pp. 192–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.12.010>.

13. Omar J. M., Nor M. Z. M., Basri M. S. M., Che Pa N. F. Clarification of guava juice by an ultrafiltration process: analysis on the



operating pressure, membrane fouling and juice qualities. *Food Research 4*, 2017. (Suppl. 1). Pp. 85–92. DOI: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(s1\).s30](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(s1).s30).

14. Yee W. P., Nor M. Z. M., Basri M. S. M., Roslan J. Membrane-based clarification of banana juice: pre-treatment effect on the flux behaviour, fouling mechanism and juice quality attributes. *Food Research 5*, 2021 (Suppl. 1). Pp. 57–64. DOI: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(s1\).046](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(s1).046).

15. Miyoshi T., Yuasa K., Ishigami T., Rajabzadeh S., Kamio E., Ohmukai Y., Saeki D., Ni J., Matsuyama H. Effect of membrane polymeric materials on relationship between surface pore size and membrane fouling in membrane bioreactors, *Applied Surface Science*, 2015. Vol. 330, Pp. 351–357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.018>.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

Г. В. Дейниченко¹, Д. В. Дмитревський¹, В. В. Гузенко¹,
О. В. Омельченко², В. В. Перекрест²

¹Державний біотехнологічний університет

²Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені М. Туган-Барановського

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕМБРАННОГО РОЗДІЛЕННЯ ХАРЧОВИХ РІДИН

Анотація

Проаналізовано обладнання, що застосовуються для освітлення і концентрування плодово-ягідного та овочевого соку. Розглянуто технології отримання освітленого соку. Визначено характерні недоліки існуючих технологічних процесів. Визначено напрями удосконалення процесів концентрування і освітлення соку та обґрунтовано необхідність розробки обладнання для їх реалізації. Запропоновано використання мікрофільтраційних і ультрафільтраційних мембранних апаратів для обробки соку. Виявлено причини, які ускладнюють використання мембранних технологій в процесах переробки харчових рідин. Проаналізовано існуючі способи мембранної обробки, а також нові перспективні напрями, що розробляються останнім часом. В якості об'єкта дослідження обрані мембранні технології фільтрації, які на сьогоднішній день широко визнані як найбільш перспективні методи очищення рідких харчових середовищ. Дані технології є достатньо ефективними під час проведення процесів концентрування та освітлення фруктових соків. Мембрани сприяють ефективному видаленню твердих речовин та бактерій. Мембранні фільтри забезпечують надійний фізичний бар'єр проходження частинок. Використання мембранних установок із тангенціальними фільтрами сприяє збереженню структурних та органолептичних властивостей продукту. Крім цього, тангенціальні фільтри самоочищаються і не вимагають дорогих витратних матеріалів. Проаналізовано традиційні технології та обладнання, що застосовується для обробки харчових рідин. Визначено недоліки існуючих технологічних процесів. Запропоновано



застосування мембранних технологій для обробки соків із плодової сировини. Наведено основні переваги впровадження мембранних технологій у процес обробки. Виявлено недоліки, що ускладнюють застосування мембранних технологій у виробничому процесі переробки рідких харчових середовищ. Обґрунтовано доцільність застосування ультрафільтраційних та мікрофільтраційних мембранних установок для освітлення фруктових соків. В результаті використання ультрафільтраційних мембранних установок суттєво зростає вихід продукту, при цьому харчова та біологічна цінність освітлених соків не зменшується, покращується якість кінцевого продукту, що дає змогу отримувати харчові продукти з новими функціональними властивостями і високою харчовою цінністю.

Ключові слова: ультрафільтрація, мембранна обробка, баромембранні процеси, освітлення фруктових соків, концентрація харчових рідин, мембранні апарати.



УДК 637.134

К. О. Самойчук, д.т.н, проф.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

О. О. Ковальов, к.т.н., ст. викл.

ORCID: 0000-0002-4974-5201

О. О. Червоткіна, асист.

ORCID: 0000-0002-6814-0566

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua, тел.: 096-320-55-31

ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СТРУМИННИХ ГОМОГЕНІЗАТОРІВ МОЛОКА З РОЗДІЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ ВЕРШКІВ

Анотація. В статті проведено порівняння енергоефективності струминного гомогенізатора молока та струминно-щілинного гомогенізатора, обидва з яких реалізують принцип роздільної подачі вершків. Отримані результати свідчать про високі значення потужності насоса подачі вершків, які перевищують відповідні показники насоса подачі знежиреного молока в 5,5–5,7 разів. В результаті проведеного аналізу визначено, що при однакових показниках продуктивності на рівні 1000 л/год потужність струминно-щілинного гомогенізатора молока майже в 1,5 рази менше за відповідний показник у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків. Аналіз мікрофотографій процесу свідчить про більш ефективне зменшення середнього діаметра жирових кульок при обробці в струминно-щілинному гомогенізаторі (0,82 мкм) в порівнянні з струминним гомогенізатором з роздільною подачею вершків (0,88 мкм).

Ключові слова: середній діаметр, струминний гомогенізатор, канал подачі, вершки, енергетичні витрати, молоко, порівняльна оцінка

Постановка проблеми. Низька енергоефективність конструкцій, які використовуються для диспергування жирової фази молочної емульсії являє досі не вирішену проблему молокопереробної галузі. Здебільшого, причиною цього є відсутність єдиної теорії, яка би узагальнювала би наявні відомості та раніше отримані залежності. Наявні гіпотези, кількість яких перевищує 10, мають суперечності та протиріччя [1]. А створені на основі них конструкції не можуть забезпечити технологічні обумовлені значення середнього діаметру жирових кульок (яке для найбільш поширених в молокопереробній галузі складає 0,75–0,85 мкм) серед яких електрогідравлічні, вакуумні



та ін. конструкції [2]. У випадку їх відповідності за показниками якості диспергування (середній діаметр жирових кульок, розподіл по розмірних групах) вони мають високі значення питомих витрат енергії (мікрофлюїдизатори, клапанні) [3, 4].

Аналіз останніх досліджень. Результати новітніх досліджень базуються на гіпотезі, що забезпечити підвищення енергоефективності процесу диспергування можливо за рахунок розробки та дослідження конструкцій, принцип дії яких заснований на створенні максимальної різниці між швидкостями знежиреного молока та вершків [5]. Така ідея реалізується в пристроях, які використовують принцип роздільної подачі вершків [5,6]. Згідно до результатів досліджень [7] його впровадження в технологічних процесах молокопереробної галузі дозволяє знизити енергетичні витрати диспергування на 50–60%. Практичне втілення цієї ідеї передбачає попереднє проведення сепарації з отриманням знежиреного молока та вершків. В подальшому необхідно забезпечити проектування конструкцій таким чином, щоб забезпечити максимальну різницю швидкості подачі знежиреного молока та вершків, що виходить з рівняння матеріального балансу. Також це є необхідною умовою підвищення енергоефективності гомогенізації, при якому можливо забезпечити поєднання в одному технологічному циклі гомогенізації та нормалізації [5].

На основі згаданої вище гіпотези гомогенізації авторства К.О. Самойчука на базі кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф. Ю. Ялпачика було створено лабораторні установки струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків та струминно–щільного диспергатора молочних продуктів.

Принцип дії струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків полягає в тому, що знежирене молоко після сепарації з високою швидкістю подається до камери гомогенізації. В місці її найбільшого звуження розташовані декілька каналів, по яких до швидкісного потоку знежиреного молока подається необхідна для отримання нормалізованої суміші заданої жирності кількість вершків [5].

Принцип дії струминно-щільного гомогенізатора молока ґрунтується на тому, що попередньо знежирене молоко подається до звуження конфузору, розташованого в камері гомогенізації. Місце найбільш вузької в діаметрі частини конфузору оточує кільцева щільна, крізь яку подається необхідна кількість вершків. Перевагою цієї конструкції по відношенню до струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків є можливість забезпечення більш рівномірного впливу потоку знежиреного молока на кільцевий струмінь вершків малої товщини [6]. Крім цього, використання



кільцевої щілини замість каналів подачі вершків дозволяє суттєво знизити швидкість облітерації торцевих поверхонь конфузору та дифузору, що контактують з вершками [8].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є порівняння енергоефективності струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків та струминно-щілинного диспергатора. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- проведення аналізу аналітичних залежностей споживаної потужності гомогенізаторів при однаковій продуктивності пристроїв;
- здійснення аналізу мікрофотографій, отриманих при проведенні експериментальних досліджень параметрів гомогенізаторів.

Основна частина. За конструктивними ознаками конструкції струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків та струминно-щілинного диспергатора є близькими. В обох пристроях реалізується принцип роздільної подачі вершків, що забезпечує зниження необхідної потужності приводів та підвищення енергоефективності диспергування відносно клапанних гомогенізаторів та інших конструкцій струминного типу. Але який з розроблених гомогенізаторів є більш енергоефективним? Для відповіді на поставлене запитання проаналізуємо отримані залежності потужності гомогенізаторів, знайдені аналітичним шляхом, адекватність яких було перевірено при проведенні експериментальних досліджень [5].

Аналітична залежність, що пов'язує потужність струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків з конструктивними, гідравлічними та технологічними параметрами пристрою, отримана при проведенні досліджень має вигляд (1) [5]

$$P = Q_{zn}^3 \left(\frac{\rho_{zn}}{2\mu_k^2 s^2} + \left(\frac{J_n - J_{zn}}{J_g - J_n} \right)^2 \frac{8\rho_g}{\mu_g^2 N^2 \pi^2 d_g^4} \right), \quad (1)$$

де ρ_{zn} – густина знежиреного молока, кг/м³;

d_b – діаметр каналу подачі вершків, м.

ρ_b – густина вершків, кг/м³;

N – кількість каналів подачі вершків;

J_{zn} , J_b , J_n – жирності відповідно знежиреного молока, вершків та нормалізованої емульсії, %;

μ_k , μ_b – коефіцієнти витрат відповідно конфузора та каналу подачі вершків, які враховують гідродинамічні умови на ділянці надходження вершків до потоку знежиреного молока;

s – площа перерізу в місці найбільшого звуження центрального каналу, м²;

Q_{zn} – подача знежиреного молока, м³/с.



Отримана залежність потужності від продуктивності по знежиреному молоку має гіперболічний характер, при цьому потужність насоса подачі вершків P_v (що являє собою праву частину наведеного виразу) в рази перевищує потужність насоса подачі знежиреного молока P_{zn} (яка знаходиться відповідно у лівій частині відношення (1)). Наприклад, при $d_v=0,8$ мм, необхідна потужність для приводу насосів, що забезпечують подачу вершків в 5.5–5.7 разів перевищує потужність насоса подачі знежиреного молока [5,9]. Величина P_v суттєвою мірою залежить від кількості каналів подачі вершків та їх діаметрів. Результати моделювання параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків свідчать, що для забезпечення технологічно обумовлених величин середнього діаметру жирових кульок після диспергування діаметр каналу подачі вершків має дорівнювати 0,6мм [5]. Таким чином при забезпеченні необхідної якості гомогенізованого продукту складова потужності P_v буде продовжувати зростати, одночасно збільшуючи загальну потужність струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків.

Аналітична залежність, яка пов'язує потужність струминно-щілинного гомогенізатора молока з конструктивними, гідравлічними та технологічними параметрами пристрою, визначена при проведенні досліджень має вигляд (2) [6,10]

$$P = Q_{zn}^3 \left(\frac{8\rho_{zn}}{2\mu_k^2 \pi^2 d_k^4} + \left(\frac{J_n - J_{zn}}{J_g - J_n} \right)^2 \frac{\rho_g}{2\mu_{щ}^2 h^2 \pi^2 d_k^2} \right), \quad (2)$$

де d_k – діаметр конфузору в місці найбільшого звуження, м.

$\mu_{щ}$ – коефіцієнт витрат кільцевої щілини;

h – ширина кільцевої щілини, м;

Аналіз отриманих результатів свідчить про її гіперболічний характер залежності потужності від продуктивності по знежиреному молоку, при цьому потужність насоса подачі знежиреного молока P_{zn} (що являє ліву складову виразу) має значно більші значення за P_v . Результати досліджень залежності потужності розробленого гомогенізатора при різних значеннях продуктивності по знежиреному молоку свідчать, що при ширині кільцевої щілини $h=0,6$ мм та $Q_{zn}=1000$ кг/год потужність насоса подавання вершків у 8 менше за потужність насоса подачі знежиреного молока.

Розбіжності в результатах пов'язані з тим, що в випадку з струминним гомогенізатором молока з роздільною подачею вершків для створення необхідної для диспергування різниці швидкостей фаз необхідно забезпечити подачу вершків крізь канал або канали малого діаметру, що збільшує цю складову загальних енерговитрат цього



гомогенізатора. Підтвердженням таких висновків є той факт, що при зменшенні діаметру каналу подачі вершків до $d_k=0,2\text{мм}$, загальна потужність струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків зростає в 17–18 разів [5]. Однак при однаковій продуктивності $Q_{\text{зн}}=1000$ кг/год потужність струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків (1,0 кВт) майже в 1,5 рази перевищує загальну потужність струминно-щілинного гомогенізатора (0,7 кВт), що свідчить про високу енергоефективність конструкції [6,11].

Оцінка енергоефективності неможлива без врахування показників якості диспергування. При проведенні експериментальних досліджень в якості методу оцінки середнього діаметра жирових кульок було обрано метод мікрофотографування. Дисперсний склад жирових кульок після диспергування 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. В якості системи, що забезпечувала калібрування системи візуалізації та забезпечувала відлікову систему для проведення вимірювань середнього діаметра жирових кульок використовувався об'єктивмікрометр минаючого світла ОМ-П з ціною поділки 0,001 мм. Досліди при проведенні випробувань на різних рівнях варіювання змінних факторів процесу виконувались у трикратній повторності. Відповідність отриманого продукту вимогам якості, вказаних у нормативній документації визначався за середнім діаметром жирових кульок молочної емульсії та шириною полігону, що визначав розподіл дисперсного складу обробленого продукту [12,13].

При проведенні досліджень впливу величини діаметра каналу подачі вершків та ширини кільцевої щілини на якість гомогенізації в обох диспергаторах були зроблені характерні мікрофотографії процесу, наведені на рис. 1.

Аналіз отриманих мікрофотографій (рис.1) свідчить про менші значення середнього діаметра жирових кульок при обробці продукту в струминно-щілинному гомогенізаторі молока. Це пояснюється більшою залученістю сусідніх шарів рідини, що досягається при використанні кільцевої щілини замість каналів для подачі вершків [6,14]. Це призводить до підвищення відносної швидкості $\dot{\gamma}$, як наслідок, до підвищення інтенсивності перебігу процесу гомогенізації. При цьому потік знежиреного молока більш ефективно впливає на центральну та периферійну частину струменю вершків, що забезпечує ефективне зменшення середнього діаметра жирових кульок.

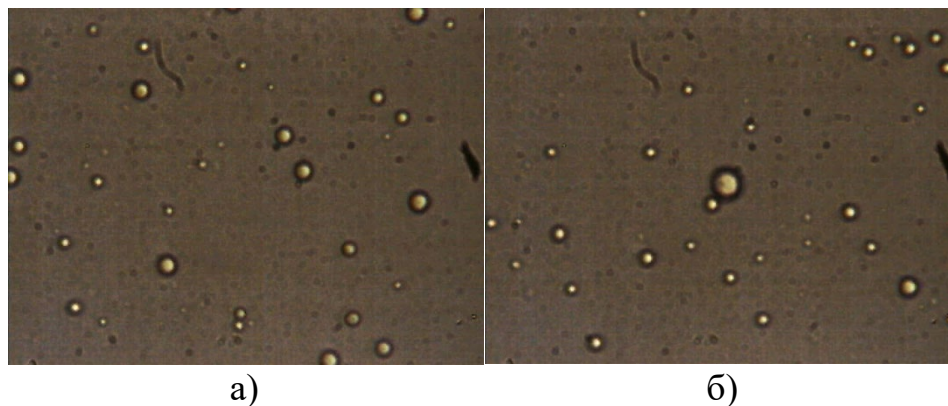


Рисунок 1. Мікрофотографії: *а* – після гомогенізації в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків (при $d_b=0,8$ мм; $s=6$ мм²; Жв=30 %) ($d_{cp}=0,88$ мкм); *б* – після гомогенізації в струминно-щілинному гомогенізаторі молока (при $h=0,8$ мм; $d_k=3$ мм; Жв=30 %) ($d_{cp}=0,82$ мкм)

Висновки. Проведене порівняння розроблених конструкцій струминних гомогенізаторів молока з роздільною подачею вершків. Отримані результати свідчать, що потужність для приводу насосів подачі вершків в струминному гомогенізаторі молока в 5,5–5,7 разів перевищують потужності приводу насосу подачі знежиреного молока. Це обумовлює збільшення енерговитрат, які при однакових значеннях продуктивності у струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків перевищують показники струминно-щілинного гомогенізатора молока майже в 1,5 рази.

Порівняння середнього діаметру жирових кульок при інших рівних параметрах свідчить про більшу ефективність струминно-щілинного гомогенізатора молока. Це пояснюється збільшенням залученості до диспергування більшого об'єму рідини і інтенсифікацією процесу диспергування при заміні каналів подачі вершків на кільцеву щілину.

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. Innings F.; Trägårdh C. Visualization of the drop deformation and break-up process in a high pressure homogenizer. *Chem. Eng. Technol.* 2005, 28, Pp. 882–891.

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. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: автореф. дис ... док. техн. наук: 05.18.12 Харків, 2018. 44 с.

6. 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.

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, Pp. 93-114.

8. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*, 2014. 4(5), Pp. 1–8.

9. 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.

10. Tartar L. *The General Theory of Homogenization. Lecture Notes. Springer.* 2009. P. 470.

11. Capretto L., Cheng W., Hill M., Zhang X., Micromixing within Microfluidic Devices. *Top Curr Chem*, 2011. 304, Pp.27–68.

12. Vladisavljevic G., Al Nuamani R., Nabavi S. Microfluidic production of multiple emulsions. *Micromachines* 2017, 8, 75 p.

13. Yong A. P.; Islam M. A.; Hasan N. The Effect of pH and High-Pressure Homogenization on Droplet Size. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 2017, 35, Pp. 1–22.

14. Ward K., Fan Z. H. Mixing in Microfluidic Devices and Enhancement Methods. *J. Micromech. Microeng.* 2015, 25 (9), Pp. 94001–94017.

Стаття надійшла до редакції 21.04.23



К. Samoichuk, A. Kovalyov, A. Chervotkina
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

**COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY OF STREAM MILK
HOMOGENIZERS WITH SEPARATE CREAM SUPPLYK.**

Summary

The results of the latest research indicate that it is possible to increase the energy efficiency of the process of dispersing the fat phase of a milk emulsion due to the implementation of the principle of separate feeding of cream. This principle was implemented taking into account the hypothesis of the dominant role in the process of the destruction of fat globules of the difference between the speeds of skimmed milk and cream in the two designs.

The article compares the energy efficiency of a jet milk homogenizer and a jet-slot homogenizer, both of which implement the principle of separate cream feeding. The obtained results indicate high values of the power of the cream supply pump, which exceed the corresponding indicators of the skim milk supply pump by 5.5–5.7 times. As a result of the analysis, it was determined that with the same performance indicators at the level of 1000 l/h, the power of the jet-slit milk homogenizer is almost 1.5 times less than the corresponding indicator in the jet milk homogenizer with separate cream supply. The analysis of photomicrographs of the process shows a more effective reduction of the average diameter of fat balls during processing in a jet-slit homogenizer (0.82 μm) compared to a jet homogenizer with a separate supply of cream (0.88 μm). This fact is explained by the greater involvement of the adjacent liquid layers in the dispersion process, which leads to the intensification of the process and is associated with the use of an annular gap in the jet-slit homogenizer instead of cream supply channels.

To increase the efficiency of dispersion in a jet milk homogenizer with separate cream supply, it is necessary to reduce the diameter of the cream supply channels, which will naturally lead to an increase in the required power of the drives.

Key words: methodology, parameters, annular gap, supply channel, cream, jet homogenizer, milk.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-14

УДК 631.363.28

О. О. Червоткіна, асист.

ORCID: 0000-0002-6814-0566

Н. О. Фучаджи, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-9433-6282

О. О. Ковальов, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4974-5201

Н. О. Паляничка, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

П. В. Матвіїшин к.т.н.

¹*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України Березанський агротехнічний інститут

e-mail: oleksandra.chervotkina@tsatu.edu.ua, тел.: 067-741-33-46

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ГРАНУЛ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

Анотація. У статті розглянуто основні методи отримання гранул із різних порошкоподібних матеріалів. Проведено аналіз обладнання для одержання гранул та представлено їх класифікаційну схему. Визначено основні напрямки розвитку та вдосконалення обладнання для гранулювання порошкоподібних матеріалів. У багатьох галузях промисловості (будівельних матеріалів, хімічної, металургійної, харчової та ін.), а також у сільському господарстві широке застосування отримали гранульовані матеріали. У зв'язку з таким різноманітним застосуванням цих матеріалів, а відповідно і вимогам щодо гранулометричного складу, міцності, теплопровідності, вологопотреби та ін., розроблено велику кількість способів та обладнання для їх виробництва. Залежно від механізму гранулоутворення можна виділити основні методи гранулювання та технічні засоби для їх реалізації.

Ключові слова: гранулятор, порошкоподібні матеріали, віброгранулятори, барабанні апарати.

Постановка проблеми. Відомо, що необхідність гранулювання порошкоподібних матеріалів та вимоги до їх якості дозволили розробити різні види пристроїв і апаратів: пристрої, що перемішують з високими зовнішніми напругами, барабанні апарати, що обертаються, апарати з псевдозрідженим шаром та інші конструкції [1, 2].



У цілому нині процес грануляції, здавалося б простим, є дуже складним явищем, що включає дослідження та опис таких явищ, як зародокутворення, структурне утворення скелета самої гранули, реологію ущільнення, деформації та ін.

Аналіз останніх досліджень. Численні експериментальні дослідження процесів гранулювання в пристроях, що перемішують – грануляторах і в барабанних апаратах показали, що кінцевий розмір гранул визначається безліччю параметрів, серед яких важливо відзначити розмір ядра-зародка, що утворився, розміри частинок порошку і крапель сполучної речовини, умови агломерації, властивості порошку та рідини та методи гранулювання. У роботах [6] розглядається вплив розмірів частинок крапель сполучної речовини на освіту і подальше зростання гранул і на морфологію структури. Слід зазначити, що передбачення відповідної кількості рідини (розміру краплі) для отримання бажаного розміру гранули дуже важко внаслідок того, що, крім зазначених вище факторів, розміри гранул, що утворилися залежать від адгезійних властивостей порошку та від фізичних властивостей рідини (в'язкість, поверхневий натяг). Товщина нашарування та умови завершеності структури гранули визначаються вологоємністю або змочуваністю поверхні.

Формулювання мети статті. Найважливішою проблемою у промислових процесах гранулювання порошкоподібних матеріалів є виявлення функції розподілу полідисперсних гранул по розмірів, що дозволяє визначити у практичних розрахунках зміну їхнього середнього розміру за довжиною апарату. Експериментальному дослідженню утворення гранул полідисперсного складу та пов'язаного з цим розподілу гранул за розмірами, виміру їх розмірів та пористості присвячені роботи багатьох вчених. Гранулювання методом обгортання на поверхні, що рухається, є найбільш поширеним і широко застосовуваним, і відрізняється великою різноманітністю технічних засобів для його реалізації. Метод полягає у попередньому утворенні агломератів із рівномірно змочених частинок або в нашаруванні сухих частинок на змочені ядра – центри гранулоутворення. Цей процес обумовлений дією капілярно-молекулярних сил зчеплення між частинками та наступним ущільненням структур за рахунок сил взаємодії між частинками у щільному динамічному шарі внаслідок дії гравітаційно-відцентрових сил у грануляторах барабанного та тарілчастого типу. Гранулятори барабанного типу являють собою циліндричну обичайку, що обертається, із закріпленими на ній бандажами.

Основна частина Гранулятори оснащені: завантажувальним та розвантажувальним пристроєм, роликowymi опорними станціями, затягнутими роликами та закріпленим на обичайці зубчастим вінцем, за



допомогою якого передається обертання гранулятора від приводу. Для зменшення налипання вологого матеріалу внутрішню стінку барабана футерують гумою.

До переваг належать: простота конструкції та експлуатації, велика одинична потужність, а також можливість комбінування процесів гранулювання, сушіння та класифікації в барабанних грануляторах-сушарках.

До недоліків слід віднести: нерівномірний гранулометричний склад продукту на виході з гранулятора, обумовлений нерівномірністю зволоження шихти, що гранулюється, необхідність періодичного чищення налиплого матеріалу на стінки гранулятора і вузла вивантаження.

Тарілчасті гранулятори призначені для гранулювання порошкоподібних матеріалів і складаються зі станини, на якій встановлено тарілка із форсунками, закрита кожухом. При роботі гранулятора порошкоподібний продукт через завантажувальний штуцер подають на похилий тарілку, що обертається, де він зволожується сполучною рідиною з форсунок і обгортається до гранул заданої величини. Кут нахилу тарілки можна змінювати за допомогою спеціального механізму. Ці гранулятори забезпечують високу питому продуктивність та ефективність процесу гранулювання. До недоліків грануляторів цього класу слід віднести відсутність можливості поєднання процесів гранулювання та аммонізації. Серед ротаційних апаратів виділяють також відцентрові (планетарні) гранулятори в яких процес оковчування реалізується завдяки тертю матеріалу про гладкі стінки барабана, що рухається круговою орбітою. Основним недоліком цих пристроїв є можливість розколювання та не висока міцність одержуваних гранул. Стрічкові гранулятори – це рухома, відбортowana нескінченна стрічка, розташована під кутом до горизонту. Процес гранулювання відбувається за рахунок пересипання порошку по поверхні, що рухається.

Перевагою вважається простота конструкції та доступність обробки шару матеріалу сполучною. Недоліки – низька продуктивність та складність герметизації. Швидкісні (лопатеві) гранулятори - це по суті лопатеві змішувачі, обладнані пристроями для подачі рідкого та твердого компонентів, а іноді аміаку та пари. Ця конструкція також дозволяє проводити процес обгортання. Переваги цих грануляторів – компактність та висока продуктивність. Недоліком вважається підвищена, відносно інших грануляторів, ймовірність розколювання та агломерації гранул.

Віброгранулятори є апаратами з віброуючим корпусом або окремими деталями, поміщеними в шар матеріалу. Апарат із циліндричною горизонтальною робочою камерою, що здійснює



кругові коливання у вертикальній площині, виконують одноабо двокорпусними з дебалансними або ексцентриковими вібраторами.

Застосовують також лоткові апарати, що мають невелику висоту та дозволяють організувати будь-який характер потоку реагентів або фаз. Питома продуктивність віброгрануляторів вища, ніж у барабанних, крім того міцність гранул вище одержуваних в інших грануляторах обкатування [1]. Гранулювання методом пресування ґрунтується на властивості сипучих матеріалів ущільнюватися під впливом високих тисків. При ущільненні порошків під високим тиском можливе також спікання твердих частинок у зоні деформації, хімічна взаємодія з утворенням нових з'єднань.

Отриманий у результаті ущільнення брикет (плитка або стрічка) дробиться і прямує на розсів для відбору кондиційної фракції, що є готовим продуктом. Технічно це реалізується у пристроях, званих екструдерами та прес вальцями (рис. 1).

Екструдери у свою чергу мають різноманітні конструкції, що класифікуються за особливостями виконання пристроїв для продавлювання шихти через фільтри [1].

Гранулювання агломерацією в апаратах із псевдозрідженим шаром набуло широкого застосування у зв'язку з великою інтенсивністю процесів, що протікають, як правило, спільно з сушінням або охолодженням, класифікацією за розмірами, хімічною взаємодією.

Класифікація пристроїв, що здійснюють гранулювання цим методом, утруднена їх різноманітністю, проте як суттєвий класифікаційний ознака можна використовувати особливість введення тепло або холодоносія: зі зріджувальним агентом (під газорозподільні грати); з розпилюючим агентом; всередину шару, шляхом встановлення теплообмінних пристроїв або спалювання палива.

Велике значення має можливість подачі вихідного продукту до псевдозрідженого шару: подача пульпи та розведених розчинів на поверхню псевдозрідженого шару з обдуванням факела високотемпературним теплоносієм; подача концентрованих пульп, розчинів і плавів усередину псевдозрідженого шару форсункою, встановленою збоку апарату, з організацією горизонтального факела розпилю; подача розчинів та суспензій форсунками, встановленими на підставі газорозподільних грат, з організацією вертикального смолоскипа розпилю.

Гранулювання методом розбризкування рідини (пульп, розчинів, суспензій або плавів) на поверхню частинок псевдозрідженого або зваженого шару полягає у нанесенні на частинки-центри гранулоутворення тонких плівок вихідної речовини та кристалізації його за рахунок тепла, яке підводиться ззовні або за рахунок тепла

кристалізації.

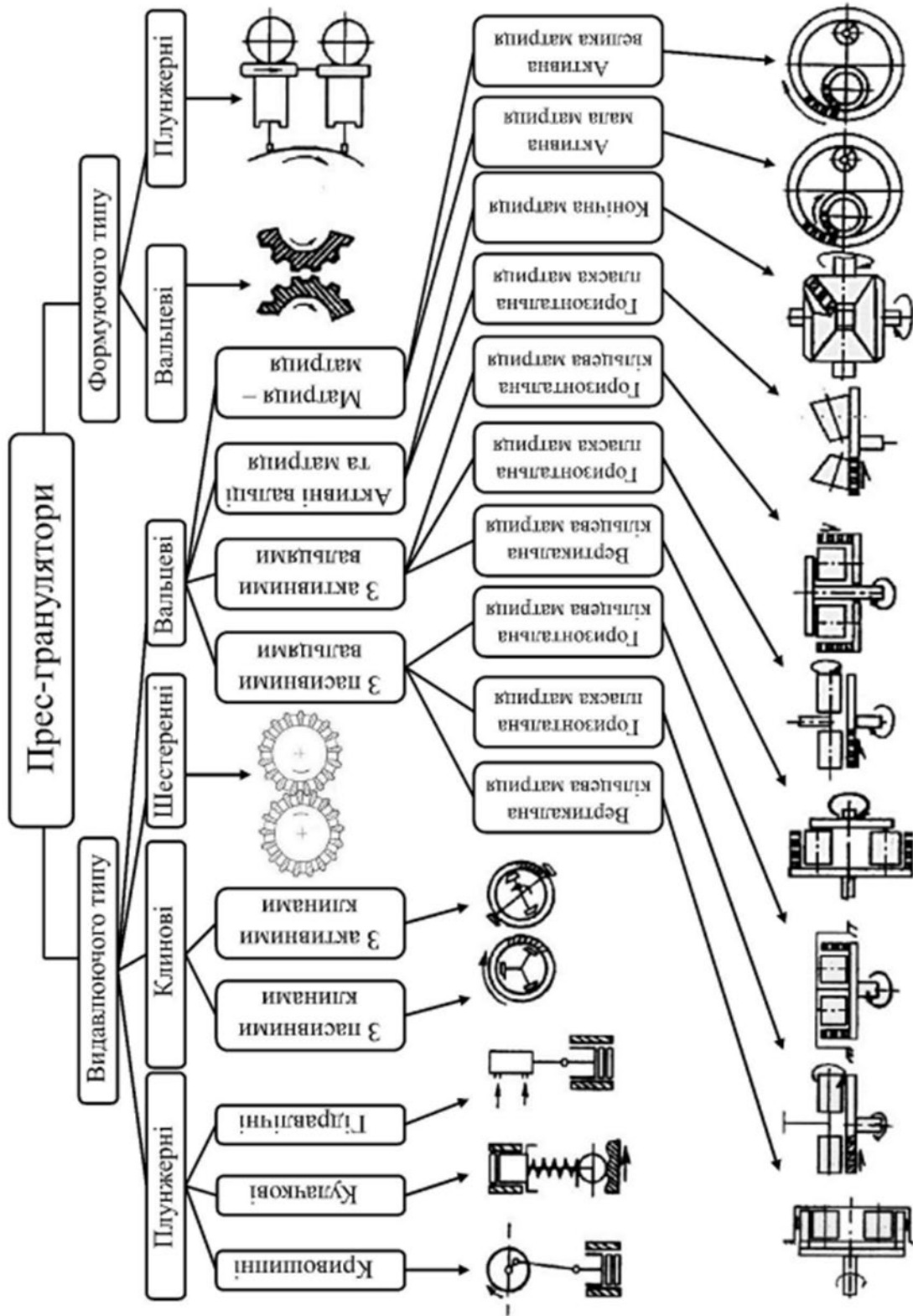


Рисунок 1. Класифікація прес-грануляторів



Гранулювання кристалізацією крапель розплаву, також мають свої особливості, що полягають у конструкції диспергаторів, призначених для розпилення розплавів. Вони є одним з основних пристроїв грануляційних веж, процес гранулювання в яких відбувається за рахунок протитечії холодоагенту та крапель розплаву [1-4].

Однак слід зазначити, що у зв'язку із зростанням малих промислових підприємств малого та середнього бізнесу, де потрібна можливість швидкої переорієнтації виробництва; збільшеними вимогами до теплоізоляційних матеріалів; підвищеною увагою до збереження паливних та енергетичних ресурсів; необхідністю максимального використання техногенних матеріалів, а також вирішення екологічних матеріалів. задач, виникає необхідність у новому високоефективному та енергозберігаючому обладнанні. Таким чином, вирішення цієї проблеми є комплексним завданням, що включає в себе:

- конструктивно-технологічне вдосконалення існуючих апаратів виробництва гранул;
- розробку нових агрегатів, що поєднують у собі комбінацію різних способів гранулювання;
- розробку енергоефективних технологій виробництва гранульованих матеріалів.

Процеси гранулювання супроводжуються ущільненням, деформацією та зносом гранул, що призводять до зміни їх розміру, ступеня полідисперсності та фізичних властивостей – щільності, міцності та пористості.

Список використаних джерел

1. Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г. Гранулювання вторинних продуктів переробки рослинної сировини. *Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв*: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 174–175.
2. Salman A., Houslow M., Seville J. O. K. Granulation. In.: *Handbook of Powdered Technol.* 2006. Elsevier Ltd UK. 1402 p.
3. Virudaraj R., Goskonda D., Pande P. G. Granulation Characterization. In: *Handbook of Pharmaceutical granulation Technology* (Ed., Parikh D.M.). 2010. P. 513–534.
4. Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г., Червоткіна О. О. Основні напрямки інтенсифікації технології чорного чаю. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 2.
5. Granulators and mini-lines. Granulation of compound feed, sawdust.



Balashikha <http://www.bizator.ru/product/p755874.html>,
<http://www.ru.all.biz/g357810>. - Title from the screen.

6. Knight P.C. Structuring agglomerated products for improved performance. *Powder Technology*. 2001. V. 122. P. 212–221.

7. . Артюхов А. Є., Склабінський В. І. Оцінка впливу режиму обробки гранул на їх якість в апаратах вихрового типу. Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Технологія-2008» з міжнародною участю. Сєверодонецьк, 2008. С. 92.

8. Стеценко А. С., Артюхов А. Є. Інтенсифікація процесу гранулювання у вихрових апаратах- 163 тах псевдозрідженого шару. *Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету*. Суми: Вид-во СумДУ, 2006. Вип.8. С. 12.

9. Склабінський В. І., Артюхов А. Є., Маренок В. М. Вплив гідродинамічного режиму обробки на міцність гранул пористої аміачної селітри (ПАС). *Збірник наукових праць*. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2007. С. 83–85.

10. Пат. №10288 А Україна, МПК 7 B01J2/16. Спосіб одержання гранульованого продукту. Є.В Донат, М.П. Юхименко; заявник та патентовласник Сумський державний університет. №93111445; заявл. 31.03.1993; надрук. 25.12.1996, Бюл. № 4.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

**O. Chervotkina¹, N. Fuchadzy¹, O. Kovalov¹, N. Palianychka¹
P. Matviishun²**

¹Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

²Separated subdivision National University of Bioresources and Nature
Management of Ukraine Berezhansk agrotechnical institute

ANALYSIS OF THE METHODS OF OBTAINING GRAINS AND MEANS FOR THEIR IMPLEMENTATION

Summary

The article discusses the main methods of obtaining granules from various powdered materials. An analysis of the equipment for the production of granules was carried out and their classification scheme was presented. The main directions of development and improvement of equipment for granulation of powdery materials have been determined.

Granulated materials are widely used in many industries (building materials, chemical, metallurgical, food, etc.), as well as in agriculture. In connection with such diverse use of these materials, and in accordance with the requirements for particle size composition, strength, thermal conductivity, moisture consumption, etc., a large number of methods and equipment for their production have been developed. Depending on the granulation mechanism, the main granulation methods and technical means for their



implementation can be distinguished.

Numerous experimental studies of granulation processes in mixing devices - granulators and in drum machines have shown that the final size of granules is determined by many parameters, among which it is important to note the size of the nucleus-germ formed, the size of powder particles and drops of binder substances, agglomeration conditions, powder and liquid properties and granulation methods. In works, the influence of particle sizes of drops of binder on the formation and subsequent growth of granules and on the morphology of the structure is considered. It should be noted that predicting the appropriate amount of liquid (droplet size) to obtain the desired granule size is very difficult due to the fact that, in addition to the factors mentioned above, the sizes of the granules formed depend on the adhesive properties of the powder and on the physical properties of the liquid (viscosity, surface tension). The thickness of the layering and the conditions of completeness of the granule structure are determined by the moisture content or wettability of the surface.

Key words: granulator, powdered materials, vibrogranulators, drum devices.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-15

УДК 621.979.001.573

І. А. Лещенко¹, д.ф.

ORCID: 0000-0002-0937-6739

О. М. Шокарев², к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8646-4524

О. В. В'юник², інж.

ORCID: 0000-0002-6413-5567

¹Уманський національний університет садівництва²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: kondorkomik@gmail.com, тел.: 047-443-98-93

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ

Анотація. Метод пресування є якісним способом виробництва рослинної олії оскільки зберігаються вихідні корисні якості олії, що зумовлено відсутністю впливу хімічних компонентів. Стаття є частиною циклу робіт, присвячених розробці і впровадженню пресового обладнання для віджиму олії з насіння салору. Метою статті є аналіз математичних моделей процесу пресування для створення в подальшому математичної моделі роботи пресу для віджиму рослинної олії з мезги сафлору. В статті представлено результати аналізу існуючих математичних моделей процесу пресування. Надано загальні рівняння процесу віджиму у виробництві рослинних олій. Наведено математичну модель з розрахунку шнекового преса. Описано загальні підходи визначення поля тиску при розрахунку стисливих течій.

Ключові слова: математична модель, аналіз, віджим суміші, шнековий прес, рух рідини, ламінарна течія, завихреність.

Постановка проблеми. Процес віджиму протягом багатьох років є основним процесом пресового способу одержання рослинних олій, і в даний час, незважаючи на широке впровадження методу екстракції, відіграє велику роль у технічному розвитку олійно-жирової промисловості. Метод пресування є якісним способом виробництва рослинної олії оскільки зберігаються вихідні корисні якості олії, що зумовлено відсутністю впливу хімічних компонентів [1].

Формулювання мети статті. Ця стаття є частиною циклу робіт, присвячених розробці і впровадженню пресового обладнання для віджиму олії з насіння салору. Метою статті є аналіз математичних моделей процесу пресування для створення в подальшому математичної моделі роботи пресу для віджиму рослинної олії з мезги



сафлору.

Аналіз останніх досліджень. Наявні роботи з процесу власне віджиму можна коротко резюмувати в такий спосіб. Максимум уваги дослідниками приділявся питанням, пов'язаним з тиском, що розвивається при віджимі. Так, теоретичні рівняння щодо розподілу тисків у шнекових пресах пропонувалися Алексеєвим Н. Д., Маслікова В. А. та Рубом Д. М. Дослідні дані щодо розподілу тисків були отримані Медведєвим А. А., Зарембо Г. В. та Шамсутдіновим М. Р. Емпіричні рівняння, що зв'язують тиск з виходом олії (олійністю макухи), пропонувалися Маркманом А., Бочком В. та Ржехіним В.П.; у роботі Коо Є. С. отримано емпіричне рівняння, що зв'язує вихід олії з тиском, тривалістю віджиму, в'язкістю олії та її вмістом у вихідному матеріалі. У роботах Соколова В. І., Дорменко В. В. та Ісаєва Н. І. процес віджиму розглядається як фільтрація в пористому середовищі, що деформується. Ним отримано диференціальне рівняння, що пов'язує зміну пористості в часі зі зміною гідравлічного напору, а також рівняння для тиску в скелеті («ефективна» напруга) та тиску в рідині («нейтральна» напруга).

В.В. Білобородовим отримані загальні рівняння процесу віджиму у виробництві рослинних олій:

- загальне рівняння процесу віджиму рідини (олії, розчинника)

$$M_{ж} = A \frac{p}{P} \frac{\Delta\rho_{ж}}{\rho_{ж0}} \frac{\rho_M}{\rho_{ж}} \left(\frac{\mu l_x^2 \Delta\rho_{ж}}{\kappa_x t \rho_{ж0} P_x} \right)^n \quad (1)$$

- загальне рівняння процесу віджиму суміші рідини (олії, розчинника) з паром (газом)

$$M_{ж} = B \frac{q_0}{c\rho} \frac{\rho_M}{\rho_{ж}} \left(\frac{\Delta\rho_{ж} p}{m \rho_{ж0} P} \right) \left(\frac{\mu_1 l_x^2 \Delta\rho_{ж} p}{\kappa_x t \rho_{ж0} P_x p} \right)^n \quad (2)$$

Д. Ю. Крамарєвим наведено математичну модель з розрахунку шнекового преса, враховуючи напірну зону та камеру довіджиму. Вираз для знаходження швидкості руху матеріалу в конічній зоні дожимальної камери:

$$g = \frac{Q[(1-z)F(1-z)F(1-z)]}{2\pi r^2 [(1-z_1)F(1-z_1)(1-\cos\alpha) + \int_{z_1}^1 (1-z_1)F(1-z_1)dz]} \quad (3)$$

Закон розподілу величини тиску в конічній зоні дожимальної камери

$$p = p_{ш} - \frac{\eta Q (F(1-z) - 2F(1-z))}{\pi r^3 [(1-z_1)F(1-z_1)(1-\cos\alpha) + \int_{z_1}^1 (1-z_1)F(1-z_1)dz]} \quad (4)$$

Стан суцільного середовища, що переміщається, описується



диференціальними рівняннями Нав'є-Стокса, такі як рівняння руху і енергії, нерозривності за певних граничних і початкових умов. Також застосовуються додаткові співвідношення, які дозволяють розрахувати коефіцієнти теплопровідності та дифузії, в'язкості як функції тиску та складу суміші, температури.

У циліндричній системі координат (r, θ, z) система рівнянь Нав'є-Стокса для ізотермічного току стисливої рідини це:

рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r g_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho g_\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho g_z) = 0 \quad (5)$$

рівняння руху

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{dg_r}{dt} + g_r \frac{\partial g_r}{\partial r} + \frac{g_\theta}{r} \frac{\partial g_r}{\partial \theta} - \frac{g_\theta^2}{r} + g_z \frac{\partial g_r}{\partial z} \right) = \\ & = -\frac{\partial p}{\partial r} - \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rr}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} - \frac{\tau_{\theta\theta}}{r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} \right) + \rho g_r; \\ & \rho \left(\frac{dg_\theta}{dt} + g_r \frac{\partial g_\theta}{\partial r} + \frac{g_\theta}{r} \frac{\partial g_\theta}{\partial \theta} + \frac{g_r g_\theta}{r} + g_z \frac{\partial g_\theta}{\partial z} \right) = \\ & = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} - \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\theta}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} \right) + \rho g_\theta, \\ & \rho \left(\frac{dg_z}{dt} + g_r \frac{\partial g_z}{\partial r} + \frac{g_\theta}{r} \frac{\partial g_z}{\partial \theta} + g_z \frac{\partial g_z}{\partial z} \right) = \\ & = -\frac{\partial p}{\partial z} - \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + \rho g_z; \end{aligned} \quad (6)$$

Нижче наведені компоненти тензора напруги τ :



$$\begin{aligned} \tau_{rr} &= -\mu \left[2 \frac{\partial \mathcal{G}_r}{\partial r} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{\mathcal{G}}) \right], \quad \tau_{\theta\theta} = -\mu \left[2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \mathcal{G}_\theta}{\partial \theta} + \frac{\mathcal{G}_r}{r} \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{\mathcal{G}}) \right], \\ \tau_{zz} &= -\mu \left[2 \frac{\partial \mathcal{G}_z}{\partial r} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{\mathcal{G}}) \right], \quad \tau_{r\theta} = \tau_{\theta r} = -\mu \left(r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mathcal{G}_\theta}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial \mathcal{G}_r}{\partial \theta} \right), \\ \tau_{\theta z} = \tau_{z\theta} &= -\mu \left(\frac{\partial \mathcal{G}_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mathcal{G}_r}{\partial \theta} \right), \quad \tau_{zr} = \tau_{rz} = -\mu \left(\frac{\partial \mathcal{G}_z}{\partial r} + \frac{\partial \mathcal{G}_r}{\partial z} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

$$(\nabla \cdot \vec{\mathcal{G}}) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mathcal{G}_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial \mathcal{G}_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \mathcal{G}_z}{\partial z}.$$

де (r, θ, z) – координатні осі, м;

p – статичний тиск, Па;

$\rho = \rho(r, \theta, z)$ – щільність суміші, кг/м³;

$\rho_{y=n}$ – щільність на стінці напірного каналу;

u і v – осьова і поперечна складові швидкості газового потоку, м/с;

μ – динамічна в'язкість, Па·с.

Основна частина. Відмінною особливістю розглянутих рівнянь, пов'язаних із завданнями механіки газу, є їхня нелінійність. Тому аналітичні рішення можливі або для умов течії, в якій конвективні прискорення відсутні або зневажливо малі, або при використанні теорії прикордонного шару, коли вихідну систему рівнянь у похідних вдається звести до звичайних (хоча і нелінійних) диференціальних рівнянь. Зауважимо, однак, що в останньому випадку систему звичайних диференціальних рівнянь доводиться вирішувати чисельно тим чи іншим методом, і тут велику допомогу можуть надати поширені математичні пакети (Mathcad, Maple, Mathematica, MATLAB

Аналіз течій, що розвиваються у складних системах, як правило, виконується з використанням чисельних методів.

Основна складність розрахунку поля швидкостей пов'язана з невідомим полем тиску. Компоненти градієнта тиску входять складовими частинами рівняння Нав'є-Стокса, але явного рівняння для визначення поля тиску немає. Якщо поле тиску встановлено, то чисельне рішення рівнянь руху не викликає особливих труднощів. Тут застосовуються чисельні схеми розв'язання рівнянь перенесення, наведені у літературі з обчислювальної математики [7 – 9].

Для стисливих потоків поля швидкості та тиску узгоджуються через рівняння нерозривності, точніше через зв'язок щільності газу (рідини) з тиском. Припущення про нестисливість середовища призводить до додаткових обчислювальних труднощів.

У рівняння нерозривності нестисливої рідини входять лише компоненти швидкості, тобто в даному випадку взагалі немає прямого



зв'язку тиску з полем швидкості. Тому знайти поле тиску при розрахунку стисливих течій можна лише опосередковано, можливі два загальні підходи [10].

Перший підхід (метод «завихреність - функція току») полягає у виключенні з розгляду тиску з визначальних рівнянь шляхом введення завихреності потоку ω і функції току ψ . Цей підхід має свої переваги та недоліки.

Перший підхід найбільш ефективний при аналізі двовимірних стаціонарних течій або нестаціонарних потоків, але з малою зміною тиску. Іншими словами, для ефективності даного методу потрібно, щоб система розв'язуваних рівнянь не містила змінних, що явно і істотно залежать від тиску.

У другому підході використовуються первинні (або, як ще кажуть, примітивні) змінні (u, v, p у двовимірному випадку), а поле тиску знаходять із розв'язання рівняння нерозривності, застосовуючи спеціальні процедури. Якщо «правильне», тобто відповідне дійсності, поле тиску підставити в рівняння Нав'є-Стокса, то поле швидкості, що отримується з них, задовольнятиме рівнянню нерозривності. Звичайно, такий непрямий метод відшукування тиску не дуже зручний, але інші методи зазвичай дають незадовільні результати.

Рівняння двовимірної течії можуть бути виражені через функцію току ψ і завихреності ω , які пов'язані з компонентами швидкості

$$\omega = \frac{\partial U}{\partial Y} - \frac{\partial V}{\partial X} \quad (8)$$

$$U = \frac{\partial \psi}{\partial Y}, \quad V = - \frac{\partial \psi}{\partial X} \quad (9)$$

Введена в такий спосіб функція току тотожно задовольняє рівняння нерозривності. Продиференціювавши рівняння (7) по Y , а рівняння (8) по X і віднімаючи з першого результату другий, після перетворень з урахуванням виразу (9) отримаємо рівняння перенесення завихреності

$$U \frac{\partial \omega}{\partial X} + V \frac{\partial \omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial Y^2} \right) \quad (10)$$

З урахуванням функції току та рівняння нерозривності вираз можна записати у вигляді



$$\frac{\partial}{\partial X} \left(\omega \frac{\partial \psi}{\partial Y} \right) - \frac{\partial}{\partial Y} \left(\omega \frac{\partial \psi}{\partial X} \right) = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial Y^2} \right) \quad (11)$$

Отримаємо рівняння Пуассона для функції току

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} = \omega \quad (12)$$

та рівняння для концентрації

$$\frac{\partial \psi}{\partial Y} \frac{\partial \sigma}{\partial X} - \frac{\partial \psi}{\partial X} \frac{\partial \sigma}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\partial^2 \sigma}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial Y^2} \right) \quad (13)$$

При необхідності розрахунку поля тиску необхідно ще одне рівняння, яке можна отримати, диференціюючи по X , а рівняння по Y і складаючи отримані результати, враховуючи рівняння нерозривності

$$\frac{\partial^2 P}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial Y^2} = 2 \left[\frac{\partial U}{\partial X} \frac{\partial V}{\partial Y} - \frac{\partial U}{\partial Y} \frac{\partial V}{\partial X} \right] \quad (14)$$

або з урахуванням співвідношень (12) та (14)

$$\frac{\partial^2 P}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial Y^2} = 2 \left[\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} - \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial X \partial Y} \right)^2 \right] \quad (15)$$

Рівняння (15) є рівнянням Пуассона для тиску. Його отримано за умови виконання рівності

$$\partial^2 H / \partial^2 X = \partial^2 H / \partial^2 Y = 0 \quad (16)$$

Процедура вирішення системи рівнянь (11) – (13) та (15) складається з наступних кроків:

1. Вирішують рівняння з перенесення завихреності для ω при конкретній внутрішній точці розрахункової області.

2. Вирішують (ітераційно або прямим методом) рівняння Пуассона (12), знаходять нові значення ψ у всіх точках сітки за новими значеннями ω у внутрішніх точках.

3. Знаходять компоненти швидкості.

4. Визначають значення ω на межах області за значеннями ψ і ω у внутрішніх точках.

5. Якщо рішення не сходяться, повертаються до першого кроку.



При необхідності рівняння Пуассона для тиску вирішують один раз після того, як обчислені значення ω і ψ , що встановилися.

Функція току ψ для нестисливої рідини має сенс об'ємної витрати рідини, що припадає на одиницю довжини. Якщо цю витрату ($\text{м}^2/\text{с}$) позначити Q , то в області руху ψ змінюватиметься від 0 до Q або у безрозмірній формі від 0 до 1.

На твердій поверхні Γ_2 для функції ψ внаслідок умови прилипання $U = V = 0$. Тоді, згідно

$$\frac{\partial \psi}{\partial X} = -V = 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial Y} = U = 0 \quad (17)$$

звідки слідує:

$$\psi_{ст} = const \quad \text{и} \quad \left. \frac{\partial \psi}{\partial Y} \right|_{ст} = 0 \quad (18)$$

Якщо потік слідує ліворуч ($\bar{U} > 0$), то й $\partial \psi / \partial Y > 0$, тобто. ψ зростає в міру віддалення від стінки і в цьому випадку $\psi_{ст} = 0$. При $\bar{U} < 0$ $\psi_{ст} = 1$.

Друга умова (18) показує, що поблизу стінки швидкість потоку U змінюється принаймні за лінійним законом.

Умова $\left. \frac{\partial \psi}{\partial Y} \right|_{ст} = 0$ показує, що розкладання функції $\psi(X, Y)$ до ряду

Тейлора по координаті, що характеризує відстань від стінки $\psi(Y) = a + bY + cY^2 + \dots$, де $a = \psi(X, 0)$, b , c - похідні відповідного порядку, лінійний доданок дорівнює нулю згідно (18), але тоді

$$U = \left. \frac{\partial \psi}{\partial Y} \right|_{ст} = \frac{\partial}{\partial Y} (a + bY + cY^2 + \dots) = 2cY + \dots \quad (19)$$

тобто, мінімально можливий ступінь залежності $U = U(X)$ дорівнює одиниці. Таким чином, широко практиковану «умову набігання» на вхідній межі $U(Y) = I = const$ не можна використовувати оскільки вона суперечить умові прилипання на стінці і для вхідної межі Γ_1 значення визначаємо ψ за рівнянням

$$\psi(0, Y) = \frac{1}{k} \int_0^Y U(0, Y) dY \quad (20)$$

де для ламінарної течії можна прийняти



$$U(0, Y) = Y(2 - Y), \quad k = 2/3 \quad (21)$$

На вихідній межі Γ_3 функція току визначається виключно з міркувань здорового глузду, оскільки ніяких фізичних закономірностей цього кордону вказати не можна. Важливо сформулювати умови по ψ на Γ_3 , щоб вони не входили в протиріччя з умовами меж Γ_2 і Γ_4 .

Зазвичай вважають, що

$$\left. \frac{\partial \omega}{\partial X} \right|_{\Gamma_3} = 0; \quad \left. \frac{\partial V}{\partial X} \right|_{\Gamma_3} = \left. \frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} \right|_{\Gamma_3} = 0 \quad (22)$$

Використовуючи визначення, неважко переконатися, що перша умова (22) є тотожністю

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} \right) = \frac{\partial \omega}{\partial X} \quad (23)$$

Друга умова (22), прийнята для узгодження з умовами на межах Γ_1 і Γ_2 , додатково стверджує, що $(\partial^2 \psi / \partial X^2)_{\Gamma_3} = \omega_{r_3}$, тобто завихреність на межі Γ_1 змінюється за координатою Y , принаймні, за лінійним законом, зменшуючись від максимального значення ω_{cm} на стінці до нуля на межі Γ_1 .

Постанова граничних умов для завихрення потоку

На вхідній межі Γ_1 для в'язкої нестисливої течії ω не задається, а визначається з прийнятого профілю швидкості $U(0, Y)$ і з рішення для ψ у внутрішній області. Тобто

$$\omega_{r_1} = \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right)_{\Gamma_1} - \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right)_{\Gamma_1} \quad (24)$$

або:

$$\omega_{1,j} = \frac{r_y^2 U_{1,j+1} + (r_y^2 - 1)U_{1,j} + U_{1,j+1}}{r_y(1+r_y)\Delta Y} + \frac{r_x \psi_{1,j} - (1-r_x)\psi_{2,j} + \psi_{1,j}}{0,5r_x(1+r_x)(\Delta X)^2} \quad (25)$$

звідки для завихреності безпосередньо на стінці отримуємо

$$\omega_{1,j} = \frac{(1+r_y)U_{1,2} + U_{1,3}}{r_y(1+r_y)\Delta Y} \quad (26)$$

У рівняннях (25), (26) i – номер вузла за координатою X , $i = \overline{1, I}$; j – номер вузла за координатою Y , $j = \overline{1, J}$;



$$r_x = \frac{X_{i+1} - X_i}{X_i - X_{i-1}}; \quad r_y = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{Y_i - Y_{i-1}} \quad (27)$$

Аналогічно з рішення у внутрішній області та граничної умови по ψ на Γ_1 знаходимо

$$V_{\Gamma_1} = V_{1,j} = -\left(\frac{\partial \psi}{\partial X}\right)_{1,j} = \frac{r_x(2+r_x)\psi_{1,j} - (1+r_x)\psi_{2,j} + \psi_{3,j}}{r_x(1+r_x)\Delta X} \quad (28)$$

Завихреність на стінці можна визначити різними способами. Важливо тільки, щоб це значення було узгоджено з полем ψ поблизу стінки. Наприклад, якщо функцію току в найближчому до стінки вузлі ($j = 2$) розкласти в ряд Тейлора навколо точки $(i, 1)$, розташованої на стінці,

$$\psi_{i,2} = \psi_{i,1} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial Y}\right)_{i,1} \Delta Y + \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2}\right)_{i,1} (\Delta Y)^2 + O[(\Delta Y)^3] \quad (29)$$

то, враховуючи, що $\psi_{i,1} = 0$, $(\partial \psi / \partial Y)_{i,1} = 0$ та $(\partial^2 \psi / \partial Y^2)_{i,1} = \omega_{i,1}$ отримаємо

$$\omega_{i,2} = \frac{1}{2} \omega_{i,1} + (\Delta Y)^2 + O[(\Delta Y)^3] \quad (30)$$

звідки знаходимо

$$\omega_{i,1} = \frac{2\omega_{i,1}}{(\Delta Y)^2} \omega_{i,1} + O(\Delta Y) \quad (31)$$

Можна безпосередньо використовувати співвідношення $\omega_{i,1} = (\partial^2 \psi / \partial Y^2)_{i,1}$,

тоді

$$\omega_{1,j} = \frac{\psi_{3,j} - (1+r_y)\psi_{u2}}{r_y(1+r_y)(\Delta Y)^2} + O(\Delta Y) \quad (32)$$

Кращі результати отримують при використанні виразу:

$$U_{i,2} = \left(\frac{\partial \psi}{\partial X}\right)_{i,2} = \frac{(r_y - 1)\psi_{u2} + \psi_{3,j}}{r_y(1+r_y)\Delta Y} \quad (33)$$

У літературі можна знайти й інші формули для розрахунку завихреності на стінці. При використанні як залежних змінних ψ і ω



тиск в рівняннях явно не фігурує. Однак він буває необхідним для подальших розрахунків масообміну, тому після того, як поле швидкостей знайдено, тиск можна легко розрахувати за рівнянням (15). Права частина цього рівняння відома, і для його вирішення можна використати будь-який ітераційний метод.

Висновки. Ця постановка завдання потребує значних обчислювальних витрат, пов'язаних із розробкою алгоритмів та програми розрахунку. На практиці найчастіше застосовуються моделі розрахунку течії рідини за деяких припущень, що надають можливість проведення інженерних розрахунків.

Список використаних джерел

1. Пузік В. К., Криштоп Є. А., Волощенко В. В. Вивчення жирно-кислотного складу олії з насіння сафлору, культивованого в умовах східного лісостепу, і перспективи його використання. *Вісник ХНАУ Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання»*, Харків. 2015, вип.2 С. 133–141.
2. Vagaská A, Gombár M, Straka L. Selected Mathematical Optimization Methods for Solving Problems of Engineering Practice. *Energies*. 2022; 15(6):2205. <https://doi.org/10.3390/en15062205>
3. Samarskii A. A. and Vabishchevich Petr N. *Numerical Methods for Solving Inverse Problems of Mathematical Physics*, Berlin, New York: De Gruyter, 2007. <https://doi.org/10.1515/9783110205794>
4. Çakaloğlu B, Özyurt V, Ötleş S Cold press in oil extraction. A review *Food Technology*. 2018. Vol.7. Issue 4 DOI: 10.24263/2304- 974X-2018-7-4–9
5. MathCAD в інженерних розрахунках. Методичні вказівки для студентів інженерних спеціальностей / Укл. В. В. Гавриленко, К. С. Величко, К. М. Алексеєнко. К.: НТУ, 2002. 127 с.
6. MATLAB в інженерних розрахунках. Комп'ютерний практикум : навч. посіб. / Н. М. Гоблик, В. В. Гоблик ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". 3-тє вид., допов. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2020. 191 с.
7. Sorensen D, Voigt L. Modelling flow and heat transfer around a seated human body by computational fluid dynamics. *Building and Environment*, 2003, P. 753–762.
8. Vabishchevich, Petr N. Additive Operator-Difference Schemes: Splitting Schemes, *Berlin, Boston: De Gruyter*, 2014. <https://doi.org/10.1515/9783110321463>
9. Moyers-Gonzalez M. A., Frigaard I. A. Numerical solution of duct flows of multiple visco-plastic fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* Vol. 122, Issues 1–3, 2004, P. 227–241.
10. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Vereshchaga A.



Rheology of the pulp of castor-oil seeds and its effect on the process of pressing. *ADVANCES OF SCIENCE: Proceedings of articles the international scientific conference*. Karlovy Vary, Kyiv: MCNIP, 2018. P. 609–618.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

I. Leshchenko¹, O. Shokarev², O. Viunyk²

¹Uman National University of Horticulture

²Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

ANALYSIS OF EXISTING MATHEMATICAL MODELS PRESSING PROCESS

Summary

The pressing method is a high-quality method of vegetable oil production because the original useful qualities of the oil are preserved, which is due to the absence of the influence of chemical components. The article is part of a cycle of works devoted to the development and implementation of a press device for squeezing oil from salor seeds. The purpose of the article is the analysis of mathematical models of the pressing process for the subsequent creation of a mathematical model of the operation of the press for squeezing vegetable oil from safflower pulp. The article presents the results of the analysis of existing mathematical models of the pressing process. The general equations of the pressing process in the production of vegetable oils are given. A mathematical model for the calculation of the screw press is given, taking into account the pressure zone and the pressing chamber, as well as the law of pressure distribution in the conical zone of the pressing chamber. The system of Navier-Stokes equations for the isothermal flow of a compressible fluid in a cylindrical coordinate system (equation of continuity, equation of motion) and components of the stress tensor are given.

General approaches for determining the pressure field in the calculation of compressible flows are described. The application of velocity and pressure variables to the problem of fluid motion calculation is described, as well as the application of the vortex and current function variables to these problems. Boundary conditions are set for the stream function and for the vorticity of the flow. The paper describes the procedure for solving the system of equations for a two-dimensional flow.

Key words: mathematical model, analysis, mixture pressing, screw press, fluid movement, laminar flow, vorticity.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-16

УДК 631.95

І. Р. Тетервак, аспірант
Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного
e-mail: illia.tetervak@tsatu.edu.ua, тел.: 068-245-08-15

ПРОБЛЕМА НАЯВНОСТІ ПАТОГЕНІВ У КОМПОСТІ

Анотація. Постійне зростання побутових відходів, спалювання відходів сільського господарства (солома, стебла кукурудзи або соняшника і тд.), спалювання відходів лісового та садового господарств (деревні залишки, тріска, кора, листя, тирса тощо) – це проблеми, які доцільно і безпечно вирішити природним способом, а саме компостуванням.

У статті наведено приклади основних патогенів, які виникають у процесі компостування. Для вирішенні цієї проблеми підібрано ряд дій, які дозволяють зменшити рівень патогенних організмів на різних етапах виробництва компосту. Також, представлена інформація про ефективність використання аераторів та біопрепаратів при виробництві компосту, які відповідають європейським стандартам. Застосування наведених дій при виробництві компосту дозволяє збільшити його якість не тільки за рахунок зменшення патогенних мікроорганізмів, а також збільшує рівень основних елементів живлення, як для рослин так і для ґрунту, що є запорукою виготовлення якісного органічного добрива.

Ключові слова: компост, патоген, термофільні умови, мезофільні умови, біоагент, антагоністи, біоактиватор.

Постановка проблеми. На сьогодні у сільському та лісовому господарстві є проблеми з використанням відходів (викидів). Відходи деревини – природний і немінучий продукт біологічного кругообігу життєвих матеріалів і енергії [4-5]. Вирішення проблеми таких господарств з відходами дозволить зменшити шкоду, якуносять навколишньому середовищу шляхом їх спалювання. Ці питання можна вирішити завдяки процесу компостування. Використання викидів при виготовленні компосту дозволить зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, а також залучити у процес вирощування сільськогосподарських та лісгосподарських культур органічних



добрив власного виробництва.

Спосіб поставок продукції плодівництва на зовнішні ринки – це процедура сертифікації всіх виробничих процесів за стандартом GLOBAL G.AP [6]. Стандарт передбачає, що відходи використовуються для поліпшення садового ґрунту після компостування, а метод компостування повинен гарантувати, що вони не становлять ризику для навколишнього середовища. Так, у статті 6.2.4 базового модуля «Ліквідація відходів і контроль забруднення навколишнього середовища» АФ.6 цього стандарту визначено контрольну точку «Чи організована переробка і компостування органічних відходів...», критеріями відповідності даній контрольній точці є те, що відходи компостуються та використовуються для поліпшення ґрунту, а метод компостування повинно гарантувати відсутність екологічного ризику [6]. Для отримання якісного та безпечного компосту, який можна використовувати як органічне добриво для садів, було розроблено термодинамічну модель процесу перетворення відходів у добриво [1].

Аналіз останніх досліджень. Сільськогосподарські та лісогосподарські відходи мають великий енергетичний потенціал. Однією з умов отримання якісного компосту є використання матеріалів, що задовольняють низку вимог щодо уникнення розвитку негативних мікроорганізмів і подальшого зараження рослин та ґрунту.

В даний час викиди утилізуються в основному шляхом спалювання, що призводить до негативних змін в біосфері. А за критеріями, визначеними стандартом GLOBALG.AP [6], який передбачає наявність науково обґрунтованого процесу поводження з відходами, тобто технології їх переробки на деревну тріску, компостування та використання отриманого компосту (добрива) у заходах щодо поліпшення садового ґрунту. Процедури управління викидами та контроль забруднення навколишнього середовища повинні бути задокументовані.

Компостування має ряд недоліків через, які підприємці уникають його, а саме тривалий виробничий цикл, отримання продукту нестабільної якості, необхідність фінансових витрат (яка не одразу окупається), а також недостатність висвітлення цієї проблеми серед науковців. Усунення патогенних мікроорганізмів під час компостування має вирішальне значення для безпечного використання органічних добрив та продовольчої безпеки. Тим не менш, простих, недорогих та екологічно чистих методів знищення патогенів надзвичайно мало [11-12]. Процес компостування, якщо ним керувати таким чином, щоб досягти адекватних температурних умов, може призвести до значного зниження рівня багатьох патогенних мікроорганізмів, як рослин, так і людини [13]. За даними



північноамериканських регуляторних органів (Агентство з охорони навколишнього середовища США та Рада міністрів навколишнього середовища Канади), очікується, що інактивація патогенів відбудеться, якщо всі частинки компосту підтримуватимуть температуру вище 55°C протягом щонайменше 3 днів. Була висунута гіпотеза, що це може бути або результатом неадекватних вимог до часових і температурних умов, або труднощів у забезпеченні дотримання часових і температурних критеріїв для всіх частинок компосту [9-11].

Приготування якісного компосту, це дуже складний процес який вимагає використання правильної технології, а також дотримання ряду серйозних вимог, недотримання яких призведе до розвитку патогенів, які в подальшому можуть заразити ґрунт, а також рослини, які будуть удобрюватись.

Формулювання мети статті. Підвищити якість біологічного добрива шляхом визначення методів запобігання та боротьби з патогенами та негативними факторами на різних етапах створення компосту.

Основна частина. Компостування – це метод який дозволяє отримувати органічні добрива з відходів (викидів). Існує дуже багато методів компостування, які відрізняються складом мінеральних домішок, органічних матеріалів, способами дотримання необхідної вологості, температури та доступу кисню, а також підвищення вмісту необхідних мікробіологічних речовин. Компост застосовується як ефективне добриво під будь-які види сільськогосподарських рослин, а у садівництві для підживлення плодових дерев. Економічно вигідно його застосовувати на місці де його виготовляють. Готовий компост (рис.1), що зброджувався у термофільних та мезофільних умовах, буде сприяти розмноженню дощових черв'яків, діяльність яких є корисною для рослин. Компост покращує структуру ґрунту [7,8].



Рисунок 1. Готовий компост



Крім того, найчастіше компост має не тільки удобрювальні властивості, але й здатність пригнічувати захворювання рослин, так звану супресивність. Супресивні компости, на відміну від пестицидів, не впливають негативно на ґрунт і рослини, що виростають на ньому.

Враховуючи, що для створення термофільних умов необхідні додаткові енергетичні витрати, доцільно компостувати суміш харчових відходів із додаванням мікробіологічного препарату у мезофільних умовах [1,15-16]. Варто також наголосити на виборі методу виготовлення компосту, а саме анаеробному і аеробному. Аеробний метод вважається кращим за анаеробний так, як протікає швидше, а також при використанні цього методу ми уникаємо створення негативних факторів (гниль, насіння бур'янів, глисти, яйця шкідників), які зберігаються в процесі, а потім і потрапляють у ґрунт разом із добривом [9-11]. Аеробний метод хоч і краще, але за це він вимагає більше фінансових затрат, а також більш складна з технологічної точки зору, адже потребує постійного зволоження та регулювання температур.

Для приготування якісної компостної суміші необхідно підтримувати температуру – на різних етапах 15-50⁰С, слідкувати за відсутністю насіння бур'янів, забезпечити вологість від 40% до 60% [2] і доступ кисню до всіх слоїв суміші. а також забезпечити відсутність розвитку патогенів. Окрім цілі отримати компост, який буде багатим на біологічні речовини необхідно також регулювати розвиток поганих бактерій, та не допускати їх розвитку більше допустимих значень, а краще досягати такої якості компосту де рівень патогенів буде прагнути до нуля.

Патоген - це біологічний агент, що спричинює хворобу в іншому організмі. Термін патоген використовують для біоагентів, які руйнують нормальну життєдіяльність тварин або рослин. До патогенних мікроорганізмів, що викликають захворювання рослин, належать бактерії, мікроскопічні гриби, віруси, а також ооцісти та віроїди. Проте до 85% захворювань сільськогосподарських рослин спричинено саме мікроскопічними грибами. До таких захворювань відносяться синьогнійна паличка, збудник сальмонельозу, кишкова паличка, стрептокок, стафілокок, яйця гельмінтів і ін. [14-16]. Запобігти появі патогенів можна на різних етапах виготовлення компосту.

Для пригнічення патогенів використовують антагоністи. Антагоністи – це мікроорганізми, що пригнічують життя й розвиток інших мікроорганізмів. Наприклад, антагоністи входять до складу деяких біоактиваторів для компосту. За результатами досліджень (рис.2) встановлено, що рівень патогенних мікроорганізмів в готовому компості при використанні біопрепарату значно знизився, а деяких характерних патогенів – не було виявлено [9].

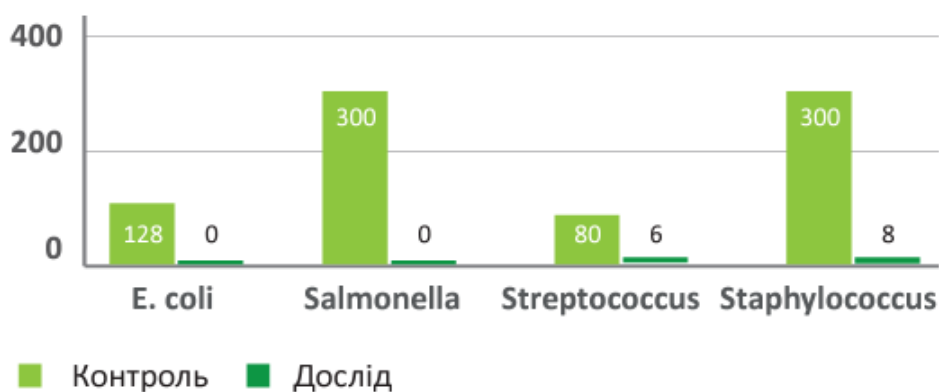


Рисунок 2. Бактеріологічні показники гною і компосту

На гістограмі видно, що використання біопрепарату при виготовленні компосту з використанням гною великої рогатої худоби (ВРХ) демонструє значне зменшення рівня бактерій стрептококів та стафілококів до 6-8%, а також запобігає виникненню такої хвороби, як кишкова паличка і сальмонельоз.

Біоактиватори компосту- це біологічний препарат, підтримуючий та прискорюючий компостування. Зазвичай вони містять високу дозу натуральних бактерій с додаванням ферментів, поживних речовин та мінералів [10-13].

Зазвичай такі препарати проникають у всю компостну масу і виділяючи ферменти прискорюють біодеградацію, насичують компост додатково азотом та пригнічують розвиток негативних біологічних агентів. Використання біопрепаратів сприяє позитивній динаміці рівня поживних елементів на різних етапах компостування (рис. 3) [9].

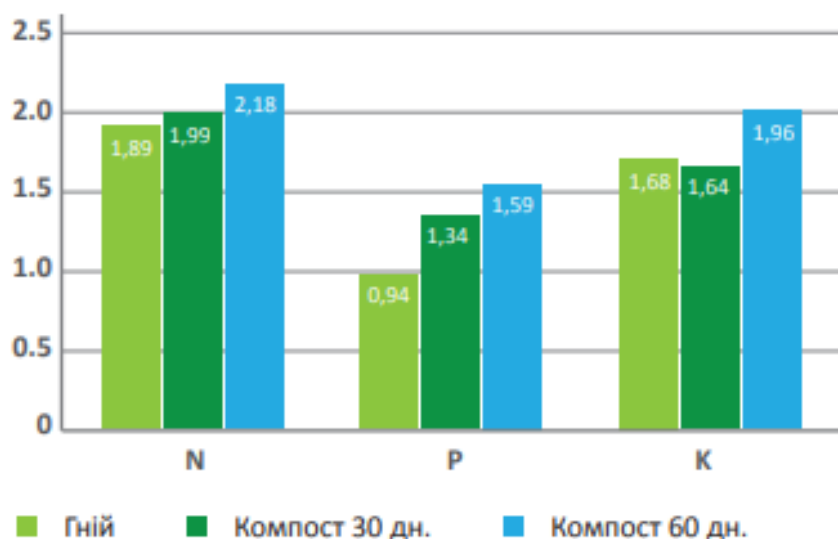


Рисунок 3. Динаміка основних елементів живлення (%) в процесі компостування підстилкового гною ВРХ.

З рисунку 3 видно результати впливу біопрепарату на утворення компосту. Кількість загального азоту (N), фосфору (P) та калію (K) збільшилася за рахунок використання у біопрепараті природних бактерій, а саме: азотофіксуючих, фосфор- та каліймобілізуєчих бактерій [9].

На первинних етапах це використання матеріалу для компосту, який не викликає появу патогенів. Під час процесу компостування заходами для знищення патогенів є регулювання температури та вологості, а також регулярне перемішування та насичення киснем. Для насичення киснем компосту використовують так звані аератори, або перемішувачі (рис.4).



Рисунок 4. Приклад причіпного аератора

Це не просто ворущарки або навантажувачі, а спеціальні агрегати. Аератори бувають різних типів: самохідні, причіпні та навісні, кожен з яких підходить для різних підприємств в залежності від їх потужностей. Аератори хоч і вимагають додаткового фінансування, але в заміні ми отримуємо пришвидшений процес ферментації, більш рівномірне дозрівання та відсутність появи анаеробних патогенів [7].

Компостування – це не тільки можливість отримати цінне біологічне добриво, а й ефективний та корисний для навколишнього середовища спосіб утилізації викидів. Якісний компост вносить мільйони спор корисних бактерій, які оновлюють ґрунтову мікрофлору, а також створює поживну базу для мікроорганізмів, які живуть у ґрунті. Компост який не містить патогенів та зроблений за правильною технологією з урахуванням всіх умов повинен мати коричневий колір, бути розсипчастим та мати свіжий запах землі. Якщо, компост має неприємний запах або недостатньо розсипчастий, це означає, що у ньому не достатньо якогось компоненту – азоту, повітря або води.

Висновки. Запорукою якісного органічного добрива є запобігання появі негативних біологічних об'єктів (патогенів).

Встановлено, що для запобігання появі патогенів у компостній



суміші під час приготування компосту необхідно регулювати температуру та вологість, а також регулярно перемішувати та насичувати киснем компост за рахунок використання аераторів.

В результаті використання біопрепаратів рівень патогенних мікроорганізмів зменшується, пришвидшується процес утворення компосту та збільшується кількість необхідних основних елементів живлення (азоту, фосфору, калію).

При виділенні достатніх коштів, використанні правильних технологій та постійному догляді можна досягти дійсно якісного та корисного біодобрива, яке окрім внесення корисних речовин не нашкодить рослинам і ґрунту.

Список використаних джерел

1. Бондаренко Л. Ю., Стручаєв М. І., Вершков О. О., Філіпов Д. О. Підвищення ефективності використання відходів плодової деревини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21, т. 1. С.74–83.

2. Брич К., Василенко І. Розробка ефективної рецептури дозрівання компосту (маленькими літерами). *Молодий вчений*, 2020. Вип. 4, 217-220. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-46>

3. Сагдеева О. А., Крусір Г. В., Цикало А. Л. Дослідження процесів компостування харчової складової твердих побутових відходів. *Техногенно-екологічна безпека*, 2018. № 4(2). С. 13–23. DOI: 10.5281/zenodo.1244572.

4. Попик О. В. Еколого-економічні аспекти поводження з опалим листям на урбанізованих територіях. *Економічні інновації*: зб. наук. пр. Одеса: ІПРЕД НАН України, 2014. Вип. 58. С. 266–272.

5. Тетервак І. Р. Особливості біоенергетики та її потенціал. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 85–86.

6. Global G.A.P. Интегрированная система управления сельскохозяйственным производством [Integrated Farm Assurance Standard (IFA)]. Общий базовый модуль для сельхозпредприятий – Растениеводство – Фрукты и овощи. Контрольные точки и критерии соответствия [Действует с 01.07.2017]. Кельн, 2017. 163 с. URL: https://www.globalgap.org/uk_en/.

7. Бондаренко Л. Ю., Тетервак І. Р., Огляд агрегатів для покращення кисневого балансу компостної суміші. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2023. Вип. 12, том 3. №10. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/issue/view/26>.

8. Riama Rita Manullang, Rusmini dan Daryono. Combination Microorganism As Local Bio Activator Compost Kirinyuh. *International*



Journal Of Scientific & Technology Research. Volume 7, Issue 6, June 2018

9. Шульга Ю. Ефективні біотехнологічні рішення для компостування гною. Журнал про корів, №3. 2019 р.

10. Babet Greff, Erika Lakatos, Jenő Szigeti & László Varga. Co-composting with herbal wastes: Potential effects of essential oil residues on microbial pathogens during composting. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2021. Vol. 51 (5). <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1732780>

11. Wichuk K. M., Dary McCartney A review of the effectiveness of current time–temperature regulations on pathogen inactivation during composting. *Journal of Environmental Engineering and Science*. 2007. Vol. 6 (5) <https://doi.org/10.1139/S07-011>

12. Qiumei Liu, Xunyang He, Dejun Li. Unearthing the mechanisms underlying calcium carbonate therapies for eliminating pathogens during composting. *Chemical Engineering Journal*. 2023. Vol. 451 (6) <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139087>

13. Kristine M. Wichuk, Jalpa P. Tewari, Daryl McCartney. Plant Pathogen Eradication During Composting: A Literature Review. *Compost Science & Utilization*. 2011. Vol. 19 (4) <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10737008>

14. Sunar N. M., Stentiford E. I., Stewart D. I., Fletcher L. A. The process and pathogen behavior in composting: a review. In: *Proceeding UMT-MSD 2009 Post Graduate Seminar 2009*. Universiti Malaysia Terengganu, Malaysian Student Department UK & Institute for Transport Studies University of Leeds, 2014. Pp. 78–87 <https://doi.org/10.48550/arXiv.1404.5210>

15. Lisa M. Avery, Philippa Booth, Colin Campbell, David Tompkins, Rupert L. Hough. Prevalence and survival of potential pathogens in source-segregated green waste compost. *Science of The Total Environment* 2012. Vol. 431 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.020>

16. Muriel Lepesteur. Human and livestock pathogens and their control during composting. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2021. Vol. 52 (10) <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1862550>

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

I. Tetervak

Dmytro Motornyi Tavsia state agrotechnological university

SOLVING PROBLEMS OF PATHOGENS IN COMPOST

Summary

The constant growth of household waste, the incineration of agricultural waste (straw, corn or sunflower stalks, etc.), the incineration of forestry and gardening waste



(wood residues, wood chips, bark, leaves, sawdust, etc.) are problems that can be solved naturally and safely, namely by composting.

The article provides examples of the main pathogens that arise in the composting process. To solve this problem, a number of actions have been selected to reduce the level of pathogens at different stages of compost production. Also, information is provided on the effectiveness of using aerators and biological products in compost production that meet European standards. Compost bioactivators are biological products that support and accelerate composting. They usually contain a high dose of natural bacteria with the addition of enzymes, nutrients and minerals. Typically, such preparations penetrate the entire compost mass and by releasing enzymes accelerate biodegradation, the figures above show the results of using a biological product that not only reduces the level of pathogenic organisms, but also accelerates the process of compost formation and increases the amount of essential nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium).

To solve the problem of regulating the temperature and humidity of compost, it is proposed to use aerators. These are not just agitators or loaders, but special units. Aerators are of different types: self-propelled, trailed and mounted, each of which is suitable for different enterprises depending on their capacity. The application of the above actions in the production of compost allows to increase its quality not only by reducing pathogenic microorganisms, but also increases the level of basic nutrients for both plants and soil, which is the key to the production of high-quality organic fertilizer. Only with the allocation of sufficient funds, the use of the right technologies and proven materials, and constant care can a truly high-quality and useful biofertilizer be achieved that, in addition to providing nutrients, will not harm plants and soil.

Key words: compost, pathogen, thermophilic conditions, mesophilic conditions, bioagent, antagonists, bioactivator.



УДК 664.8.037.1

О. В. Василичина, к.с.-г.н.

ORCID: 0000-0002-1066-4009

Уманський національний університет садівництва

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАМОРОЖУВАННЯ ПЛОДІВ ВИШНІ ПОПЕРЕДНЬО ОБРОБЛЕНИХ АЛЬГІНАТОМ НАТРІЮ

Анотація. Стаття присвячена застосуванню нових технологій заморожування плодів вишні із використанням попередньої обробки полісахаридними композиціями, зокрема альгінату натрію. Попередня обробка плодів вишні 5% розчином альгінату натрію сприяла отриманню відмінної дегустаційної оцінки плодів та підвищенню економічної ефективності з рівнем рентабельності 23%. Перспективою подальших досліджень є проведення досліджень із використання полісахаридних композицій для збереження якості заморожених плодів вишні.

Ключові слова: плоди вишні, альгінат натрію, заморожування, економічна ефективність.

Постановка проблеми. Вишня широко поширена культура як в Україні так і в усьому світі. Однак плоди вишні швидко псуються, тому актуальним є розробка нових технологій їхнього зберігання та заморожування із застосуванням попередньої обробки речовинами, які б зберегли якість продукції, її органолептичну цінність та економічну ефективність.

Аналіз останніх досліджень. Вишня широко поширена культура, включаючи Європу, Північну Америку та Азію. В світі виробництво її щороку збільшується, в період за 2006 і 2016 рр. загальний обсяг зріс з 1,14 до 1,38 млн. тонн. Найбільший регіон виробництва вишні у світі – Європа (66%), що становить 62% від загального світового виробництва. Згідно з даними виробництва за (FAOSTAT, 2017-2022) провідні виробники вишні в світі, наступні країни: Польща 194,817 тис.т., Туреччина 192,500 тис. т., Україна 156,450 тис. т і США 140,210 тис.т. [1].

Вишня також є одним із найбільш перероблених фруктів. Приблизно 85% її йде на переробку, а 30–40% від загального виробництва на виробництво фруктового соку та заморожування [1, 2]. Їх плоди використовують для вживання в свіжому вигляді і також для



виробництва мармеладу, варення, соку.

Плоди вишні відрізняються за формою, розміром, кольором і смаком і мають унікальні поживні та органолептичні властивості. Вони є джерелом корисних для здоров'я сполук, зокрема фенольних, антиоксидантних фітохімічних речовин, які проявляють антиоксидантну і антимікробну дію, і тому належать до функціональних продуктів харчування [3, 4].

У вишні присутні флаван-3-оли та гідроксикоричні кислоти. Вишня має набагато більшу кількість проціанідинів, флавонолглікозидів і флаванолів, ніж черешні та має основну групу пігментів яка обумовлює яскраво червоний колір фруктів [1].

Споживча цінність плодів вишні визначається такими показниками: час дозрівання, розмір плоду, колір шкірки, смак, аромат, вміст цукру та кислоти, цілісність м'якоті. Важливе значення мають: розмір кісточки, колір м'якоті, наявність плодоніжки, запах. Найбільші вимоги ставлять до плодів які надходять на заморожування. Для цього відбирають середні великі плоди, з високим вмістом антоціанів, і яскравим кольором. Важливими параметрами, що визначають якість плодів, є: розмір, форма, індекс форми, довжина плодоніжки та товщина, відрив плодоніжки від плоду, воскове покриття, основний колір і зрілість, розтріскування плодів [5, 6].

За Галузевою програмою «Плоди і ягоди України» одним з головних напрямків докорінних змін економічної ситуації в галузі є розширення переробки і зберігання продукції в місцях її вирощування, створення спеціалізованих сировинних зон для виробництва екологічно чистої продукції та переробних підприємств. До 2025 року планується збільшити кількість плодосховищ вдвічі. Плодозберігальні комплекси оснащуватимуться лініями сортування, пакування, післязбиральної та післязберігальної обробки плодів речовинами, що поліпшують їх лежкість і подовжують «залишковий ефект зберігання» [8–10].

Формулювання цілей статті. Зважаючи на поширення вишні в Україні та світі та розробки державних програм реалізації по виробництву та реалізації плодів постає питання про економічну ефективність заморожування плодів вишні. Тому метою досліджень було визначення економічної ефективності плодів вишні, попередньо оброблених розчинами альгінату натрію перед заморожуванням.

Основна частина Дослідження проводили протягом 2016–2020 років на базі дослідної станції помології імені Л. П. Симиренка ІС НААН з плодами вишні сортів Альфа та Пам'ять Артеменка. Відібрані плоди вишні промивали водою та занурювали в розчини альгінату натрію за варіантами: без обробки (контроль) та оброблені розчинами альгінату натрію 2, 3 та 5% концентрації та заморожували. За контроль



приймали необроблені плоди.

Після заморожування проводили визначення органолептичної оцінки якості за ДСТУ 4837:2007 [11] та розраховували економічну ефективність [9, 12, 13].

Як видно з рис. 1 за зовнішнім виглядом необроблювані плоди вишні після заморожування, мали добру (4,0 бали) дегустаційну оцінку, тоді як оброблені розчином альгілату натрію – відмінну (5,0 балів).

Аромат і колір оброблених плодів вишні також суттєво відрізнявся від необроблених плодів (контроль) – відмінна дегустаційна оцінка на рівні 4,0–5,0 бала. Також, відмінна дегустаційна оцінка за цими показниками залишалась у плодах вишні, оброблених 5% розчином альгілату натрію.

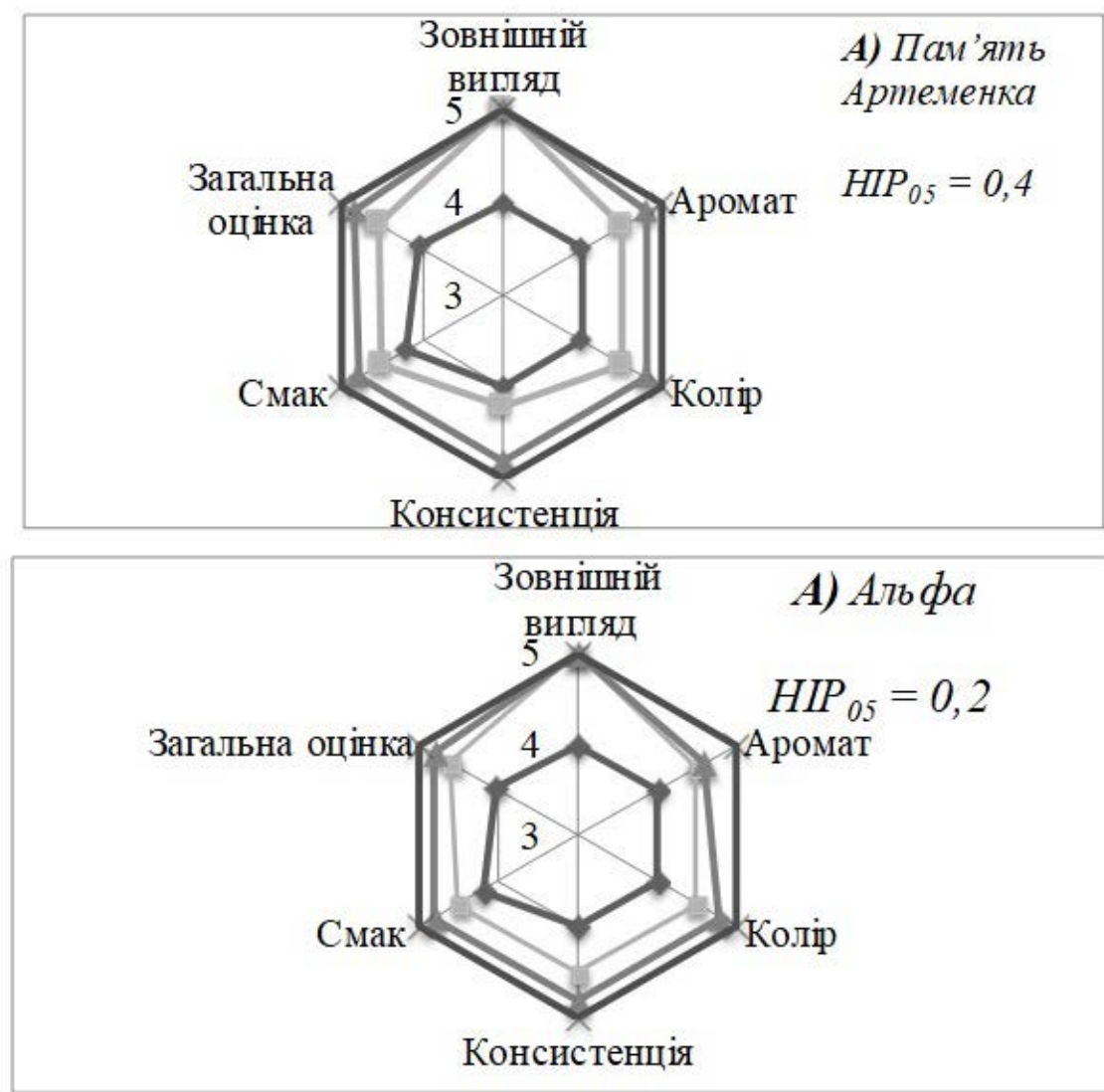
Обробка плодів вишні розчином альгілату натрію значно вплинула на консистенцію плодів. Доброю (4,0 бали) вона залишалась у необроблених плодах вишні, а за обробки розчином альгілату натрію плоди мали стійку консистенцію після розморожування, оцінену дегустаторами в 4,2–4,8 бали.

Оброблені плоди 5% розчином альгілату натрію мали відмінну консистенцію. Через насичення тканин розчином альгілату натрію сік з них не витікав на поверхню, і вони зберігали свою форму,

Смак і загальна дегустаційна оцінка необроблених плодів вишні після розморожування (контроль) – була добра (4,2 і 4,0 бал). Вища вона була (4,5–4,8 балів) у плодів, оброблених 2 і 3% розчином альгілату натрію.

Отже, попередня обробка плодів вишні розчинами альгілату натрію, позитивно впливала на дегустаційну оцінку плодів вишні. Відмінною вона залишалась у плодів, попередньо оброблених 5% розчином альгілату натрію.

Для цілорічного забезпечення населення України високовітамінними плодами вишні необхідно розробляти нові технології її ефективного зберігання. Нині найбільш оптимальним методом є заморожування. У заморожених плодах основні компоненти сировини зберігаються набагато краще. Така продукція відзначається високою біологічною та харчовою цінністю завдяки практично повному збереженню вітамінів, поліфенольних сполук, амінокислот, мінеральних елементів.



- ◆ — без оброблення (контроль);
- — 2% розчин альгінату натрію;
- ▲ — 3% розчин альгінату натрію;
- ✕ — 5% розчин альгінату натрію.

Рисунок 1. Органолептична оцінка заморожених плодів вишні попередньо оброблених полісахаридними композиціями

За органолептичними показниками – смаком, ароматом, кольором, зовнішнім виглядом заморожені плоди практично не відрізняються від свіжих (табл. 1).

Як видно з наведених даних використання перед заморожуванням плодів вишні полісахаридних плівкоутворюючих композицій на основі альгінату натрію, забезпечить отримання 56,27 тис.грн прибутку, що на 24,15 тис. грн більше, порівняно з необробленими плодами.



Таблиця 1

Вплив попередньої обробки альгінатом натрію на економічну ефективність зберігання заморожених плодів вишні, 2020 р.

Прказник	Без обробки (контроль)	Заморожені плоди вишні, попередньо оброблені альгінатом натрію
Кількість виготовленої продукції, т	10	10
Собівартість 1т продукції, грн.	16787,8	24372,5
Собівартість реалізованої продукції, тис. грн.	167,878	243,725
Ціна реалізації 1т, грн	20000	30000
Виручка від реалізації, тис. грн.	200	300
Прибуток, тис. грн.	32,122	56,275
Рівень рентабельності, %	19,1	23,0

Висновки. Попередня обробка плодів вишні перед заморожуванням розчинами альгінату натрію, забезпечує відмінну дегустаційну оцінку, прибутковість на рівні 56,27 тис. грн з рентабельністю 23%.

Список використаних джерел

1. Yılmaz F. M., Görgüç A., Karaaslan M., Vardin H., Ersus Bilek S., Uygun Ö., Bircan C. Sour Cherry By-products: Compositions, Functional Properties and Recovery Potentials - A Review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2019. Vol.59(22). P.3549–3563. doi: 10.1080/10408398.2018.1496901.
2. World cherry production will decrease to 3.6 million tons: веб-сайт. URL: <https://www.freshplaza.com/article/9149328/world-cherry-production-will-decrease-to-3-6-million-tons/>
3. Firat K., Kazim G., Onur S., Hakan Y. Pomological and phytochemical evaluation of different cherry species: mahaleb (*Prunus mahaleb L.*), wild sweet cherry (*Prunus avium L.*) and wild sour cherry (*Prunus cerasus L.*), sweet and sour cherry cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus.* 2019. Vol.18. P.181–191. DOI: 10.24326/asphc.2019.4.17.
4. Milošević T., Milošević N. Fruit Quality Attributes of Sour Cherry Cultivars. *Agronomy.* Vol. 2012 Article ID 593981. DOI: 10.5402/2012/593981
5. Lakatos Laszlo, Szabó T., Sun Z., Soltész M., Szabó Z., Dussi



M., Nyéki J. The role of meteorological variables of blossoming and ripening within the tendency of qualitative indexes of sour cherry. *International Journal of Horticultural Science*. Vol.16. 2010. DOI: 10.31421/IJHS/16/1/854.

6. Blando F, Dave Oomah B. Sweet and Sour Cherries: Origin, Distribution, Nutritional Composition and Health Benefits. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. №86. P. 517–529.

7. Василюшина О.В. Економічна ефективність зберігання плодів вишні за обробки полісахаридними композиціями. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Т.11(2). С.74–80. DOI: 10.31548/agr2020.02.074

8. Галузева програма «Плоди і ягоди України – 2017» Міністерство Аграрної Політики та продовольства України. URL: <http://eurowine.com.ua/minisites/fermerhouse/node/251>.

9. Сало І.А. Ринок кісточкових плодів в Україні та світі. *Економічний часопис XXI*. 2012. Вип. 12(2). С. 24–27.

10. Сімахіна Г. О., Халапсіна С. В. Індустрія та ринок заморожених продуктів в Україні. С.12–14. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/21240/1/3.pdf>.

11. Фрукти та ягоди швидкозаморожені. Технічні умови: ДСТУ 4837:2007. [Введ. в дію 10.10.2007]. 7 с.

12. Найченко В. М. Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства: навчальний посібник. Київ: ФАДА ЛТД, 2001. 211 с.

13. Саблук П. Т. Ціноутворення та нормативні витрати в сільському господарстві: Теорія, методологія, практика / За ред. П.Т. Саблука, Ю.Ф. Мельника, М.В. Зубця [та ін.]. Київ: ННЦ ІАС, 2008. 697 с.

14. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень. Київ : АБУ, 2002. 480 с.

Стаття надійшла до редакції 18.01.2023 р.

О. Vasylyshyna
Uman National University of Horticulture

ECONOMIC EFFECTIVENESS OF CHERRY FRUIT FREEZING AFTER SODIUM ALGINATE TREATMENT

Summary

The article is devoted to the application of new technologies for freezing cherry fruits using sodium alginate pretreatment. Cherries are a widespread crop both in Ukraine and throughout the world, but they deteriorate quickly, so the development of new



technologies for their storage and freezing with the use of pre-treatment with substances that would preserve the quality of the product, its organoleptic value and economic efficiency is urgent.

The research was carried out with the fruits of the Alfa and Pamyat Artemenko cherry varieties. The selected cherry fruits were washed with water and immersed in sodium alginate solutions according to the options: without treatment (control) and treated with sodium alginate solutions of 2, 3 and 5% concentration, dried and frozen. Untreated fruits were used as control.

Fruits treated with 5% sodium alginate solution had an excellent consistency. Due to the saturation of the tissues with the sodium alginate solution, the juice did not flow from them to the surface, and they kept their shape,

The taste and general tasting evaluation of raw cherry fruits after thawing (control) was good (4.2 and 4.0 points). It was higher (4.5–4.8 points) in fruits treated with 2 and 3% sodium alginate solution.

Pretreatment of cherry fruits with sodium alginate solutions had a positive effect on the tasting evaluation of cherry fruits. It remained excellent in fruits previously treated with a 5% solution of sodium alginate.

In order to provide the population of Ukraine with high-vitamin cherry fruits all year round, it is necessary to develop new technologies for its effective storage.

Pre-treatment of cherry fruits with a 5% sodium alginate solution contributed to an excellent tasting evaluation of the fruits and increased economic with a level of profitability of 23%. The prospect of further research is conducting research on the use of polysaccharide compositions to preserve the quality of fruits.

Key words: cherry fruits, sodium alginate, freezing, economic efficiency.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-18

УДК 664.664

Т. В. Бровенко ¹ , к.т.н., доц.	ORCID: 0000-0003-1552-2103
А. В. Антоненко ³ , к.т.н., доц.	ORCID: 0000-0001-9397-1209
М. Ю. Криворучко ² , к.т.н., доц.	ORCID: 0000-0002-7378-1050
Г. А. Толок ³ , к.т.н., доц.	ORCID: 0000-0002-2971-1645
О. В. Василенко ¹ , к.п.н., доц.	ORCID: 0000-0003-4097-7476
Ю. О. Ряднина ¹	ORCID: 0000-0002-3617-3945

¹Київський національний університет культури і мистецтв²Державний торговельно-економічний університет³Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: artem.v.antonenko@gmail.com, тел.: 063-263-33-03

ТЕХНОЛОГІЯ ЛАВАША З ВИКОРИСТАННЯМ БОРОШНА З КІНОА

Анотація. У даній статті розглянуто нову технологію приготування лавашу "Оригінальний", який включає в себе додавання борошна з кіноа. В дослідженні було обґрунтовано оптимальну кількість борошна з кіноа та створено декілька модельних композицій. В результаті експериментів, було встановлено, що при збільшенні концентрації борошна з кіноа, органолептичні характеристики продукту погіршуються. Однак, додавання 30% борошна з кіноа до складу лавашу у досліді №1 призвело до покращення органолептичних властивостей. Виріб має приємний горіховий аромат і незвичайний смак, а його консистенція є пористою та пухкою, характерною для готового хлібобулочного виробу. Порівняння хімічного складу контрольних і дослідних зразків показало, що лаваш "Оригінальний" має вищу харчову цінність в порівнянні з контрольним зразком. Особливо важливою є значна кількість незамінних амінокислот у складі борошна з кіноа, що робить цей харчовий продукт повноцінним. У порівнянні з іншими рослинними джерелами білка, борошно з кіноа містить всі незамінні амінокислоти. Дослідження показало, що споживання лавашу "Оригінальний" забезпечує рівномірне надходження незамінних амінокислот до організму людини. Розроблений лаваш може бути рекомендований для повсякденного харчування, особливо для людей, які працюють у важких промислових умовах або проживають у

© Т. В. Бровенко, А. В. Антоненко, М. Ю. Криворучко, Г. А. Толок, О. В. Василенко, Ю. О. Ряднина



забруднених екологічно територіях. Також він може задовольнити попит на функціональні харчові продукти в будь-якому сегменті населення.

Ключові слова: технологія, кіноа, борошно з кіноа, лаваш, хлібобулочні вироби.

Постановка проблеми. Харчування вважається найважливішим фактором що формує високий рівень здоров'я та імунний статус організму. У сучасної людини структура харчування суттєво порушена. Це завдає більшої шкоди здоров'ю людини, ніж екологічна забрудненість. До зниження споживання есенційних нутрієнтів призводить деформація раціонів харчування і розбалансування частки повноцінного білка, рослинних жирів, складних вуглеводів, вітамінів та мінеральних речовин. Внаслідок цього знижується загальний опір організму людини до несприятливих факторів зовнішнього середовища. Дослідження харчування населення України вказує на те, що нестача есенційних нутрієнтів в раціонах харчування широко розповсюджена серед мешканців країни і призводить до аліментарних захворювань [1, 2].

Особливості розвитку, історія та культура країн Кавказу зумовлюють значні обсяги споживання хлібобулочних та борошняних виробів населенням. Лаваш завжди був одним з основних щоденних продуктів харчування людей країн Кавказу. Споживання лавашу забезпечує більше половини добової половини потреби в енергії і двох третин потреби в рослинному білку. Останнім часом набуває тенденція у зниженні рівня споживання пшеничного борошна та підвищенні біологічної цінності хлібобулочних та борошняних виробів. Для покращення здоров'я людини з'явилася альтернатива використання інших видів борошна: гречаного, рисового, житнього, мигдального тощо.

Борошно з плодів кіноа (лат. *Chenopodium quinoa*), на сьогодні є одним з найпопулярніших заміників пшеничного борошна – найкориснішого зі злаків, хоча насправді плоди цієї рослини вважаються фруктами. Кіноа відносять до псевдо зернових культур сімейства амарантових, які широко використовується в кулінарії у вигляді борошна, крупи, олії або пророщених паростків. Культура кіноа стала відома завдяки своїм смаковим і поживним якостям. Користь борошна з кіноа для здоров'я людини обумовлена великим вмістом білків, харчових волокон, вітамінів групи А, В, Е, С, мінеральних речовин та багатим хімічним складом [3, 4].

Аналіз проведених досліджень та науково-технічної літератури свідчить про успішне усвоєння виробниками борошняних виробів України досвіду закордонних країн. Українські вищі навчальні



заклади та їх науковці активно займаються науковими розробками у виробництві борошняних виробів. Вони активно використовують нетрадиційні сировини та композитні суміші зернової та овочевої сировини. Деякі з таких науковців, як Макарова О. В., Василевич О. В. та інші, зробили значний внесок у вирішення проблем, пов'язаних з поставкою борошна для кондитерських виробів та поліпшення їх функціональних властивостей. Серед таких вчених можна згадати Дорохович А. М., Жигунов Д. О., Іоргачова К. Г., Калакура М. М., Кравченко М. Ф., Кочетов В. К., Мелешкіна О. П., Оболкіна В. І., Рибалка О. І., Самохвалова О. В., Сирохнам І. В., Gray J. A., Purna S. та інших [4-16].

Одним з способів вирішення цієї проблеми є створення продукції, яка підсилює функції організму людини і покращує імунітет. Для цього актуальним є збагачення кулінарної продукції харчовими волокнами, вітамінами і мінералами, такими як кальцій, магній, залізо, цинк, за допомогою рослинної сировини і дієтичних добавок, наприклад борошна з кіноа. Використання борошна з кіноа при виробництві харчових продуктів дозволяє забезпечити організм необхідними компонентами, такими як вітаміни, ферменти, білки, ліпіди, макро- та мікроелементи, органічні кислоти, тощо [10].

Кіноа є джерелом рослинного білка, особливо важливого для дітей, спортсменів, вагітних і вегетаріанців. У сирих зернах кіноа міститься в середньому 16,2% білка, а в деяких сортах навіть більше 20%. Борошно з кіноа містить лізин, амінокислоту, яка допомагає усвоєнню кальцію і сприяє швидкому загоєнню тканин. Це борошно також багате на мінеральні речовини, такі як калій, магній, залізо, кальцій, цинк. Крім того, кіноа містить фосфор, альфа-токоферол, клітковину, рибофлавін, фолієву кислоту і складні вуглеводи в більшій кількості, ніж інші злаки. Фітинова кислота, яка міститься в кіноа, сприяє зниженню рівня холестерину і запобігає розвитку онкологічних захворювань. Кіноа є корисною для людей з гіпертонією, діабетом і серцевими захворюваннями. Важливо відзначити, що борошно з кіноа не містить глютену, тому його можна споживати людям з целиакією [11-13].

Формулювання мети статті. Метою роботи є обґрунтування та розроблення технологій т лаваша з використанням борошна з кіноа.

Об'єкт дослідження – технологія лаваша з використанням борошна з кіноа.

Предмет дослідження – кіноа, борошно з кіноа, лаваш. Контролем обрано лаваш «Вірменський», виготовлений за традиційною технологією.

Методи дослідження: органолептичні, технологічні, фізико – хімічні, структурно – механічні, мікробіологічні, метод



математичного моделювання з використанням комп'ютерних технологій.

Основна частина. Лаваш з Кавказу, котрий готується в національній печі під назвою “тандир” – це найбільш відомий стародавній хлібобулочний виріб. “Ла-ваш” перекладається зі стародавньої вірменської мови як “смачна їжа”.

Здавна, люди вшановували лаваш, який використовували під час сімейних обрядів, щоб символізувати взаєморозуміння та процвітання. Зовнішній вигляд лаваша за тисячоліття залишився незмінним - це тонкий овальний або круглий млинець діаметром 40-50 см.

Про користь вживання лаваша свідчить його біологічний склад. Вживання даного виду борошняного виробу викликає відчуття насичення, сприятливо впливає на мікрофлору кишечника, нормалізує процес травлення. Лаваш корисний при захворюваннях шлунково-кишкового тракту, оскільки містить велику кількість харчових волокон та пробіотичний комплекс молочнокислих бактерій, здатних регулювати роботу шлунково-кишкового тракту: харчові волокна адсорбують і виводять токсини, уповільнюють засвоєння вуглеводів. В результаті нормалізується обмін речовин. Наявність вітамінів А, В1, В2, В3, В6, Е, РР допомагають у роботі серцево-судинної та м'язової систем, утворенню червоних кров'яних тілець, профілактиці захворювання бері-бері, сприяють окисленню вуглеводів, жирних кислот, амінокислот, гліцерину, В3 сприяє засвоєнню білків та жирів, бере участь в утворенні арахідонової кислоти з лінолевої, ніацину з триптофану, в обміні холестерину та утворенні гемоглобіну. Лаваш підвищує імунітет і покращує склад крові, позитивно впливає на роботу серця і судин. В лаваші містяться мінерали: хлор, магній, натрій, селен, фосфор, вони посилюють харчову цінність їжі [15-16].

Головними компонентами традиційного рецепту лаваша є вищого гатунку пшеничне борошно, закваска, вода і сіль. Згідно з дієтологами, використання вищого гатунку пшеничного борошна, що є основним інгредієнтом, може спричинити захворювання шлунково-кишкового тракту, розвиток діабету та ожиріння. Це пояснюється незадовільним хімічним складом та нерівноважністю основних поживних речовин, зокрема високим вмістом вуглеводів і недостатнім складом амінокислот у білках. Тому це борошно не є привабливим варіантом для здорового харчування на ринку продуктів. Тому актуальним є розроблення технології лаваша з використанням борошна з кіноа за контрольним показником.

При створенні модельних рецептур лаваша з використанням борошна з кіноа було враховано органолептичні характеристики цієї сировини. Борошно з кіноа має незвичайний горіховий смак і може



мати різні відтінки кольору, від білого до темно коричневого. З використанням борошна зі світлих сортів кіноа можна отримати борошняні вироби, які не тільки мають чудовий аромат і смак, але й корисні для організму, а їх світло коричневе забарвлення надає їм особливий вид. Тому використання борошна з кіноа не впливає на смакові якості лаваша і є можливим у технології його приготування.

Для визначення раціональної кількості борошна з кіноа в технології лаваша «Оригінальний» проведено технологічне відпрацювання експериментальні дослідження модельних композицій (табл.1).

Таблиця 1

Модельні композиції напівфабрикату для лаваша «Оригінальний»

Сировина, г	Лаваш «Вірменський» (контроль)	Дослід 1 (70%:30%)*	Дослід 2 (60%:40%)*	Дослід 3 (50%:50%)*	Дослід 4 (60%:40%)*
Борошно пшеничне	450	315	270	225	180
Закваска	50	50	50	50	50
Борошно з кіноа	-	135	180	225	270
Разом:	500	500	500	500	500
Вода	150	150	150	150	150
Сіль	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Вихід готового Н/Ф	1000	1000	1000	1000	1000

* - відсоткове співвідношення пшеничного борошна та борошна з кіноа

Досліджено органолептичні показники модельних композицій напівфабрикату для лаваша «Оригінальний» Відповідно до результатів органолептичної оцінки модельних композицій напівфабрикату для лаваша «Оригінальний» контрольний зразок отримав (4,8 бали). Встановлено, що додавання 30% борошна з кіноа (дослід №1) викликає поліпшення органолептичної оцінки лаваша «Оригінальний» (5,0 балів). Це пояснюється наявністю м'якого та приємного горіхового аромату, характерного для борошна з кіноа, а також неординарним смаком та пористою та пухкою консистенцією готового хлібобулочного виробу (табл. 2).



Таблиця 2

Органолептичні показники напівфабрикату для лаваша «Оригінальний» з використанням шроту із зародків пшениці та квіткового пилку

	Зовнішній вигляд	Смак	Запах	Колір	Консистенція	Середня оцінка
Контроль	5,0	4,6	4,7	5,0	5,0	4,8
Дослід 1	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Дослід 2	4,9	4,9	4,8	5,0	4,9	4,9
Дослід 3	4,8	4,8	4,7	4,9	4,8	4,8
Дослід 4	4,6	4,6	4,6	4,9	4,7	4,6

Якщо збільшити кількість борошна з кіноа в рецептурі, то смак та аромат лаваша суттєво погіршаться: з'явиться інтенсивний горіховий аромат і неприємний післясмак.

За результатами органолептичної оцінки визначено раціональне співвідношення борошна пшеничного вищого ґатунку та борошна з кіноа в технології лаваша «Оригінальний» еквівалентне 70:30.

Розроблено технологічну схему технології лаваша «Оригінальний» (рис.1).

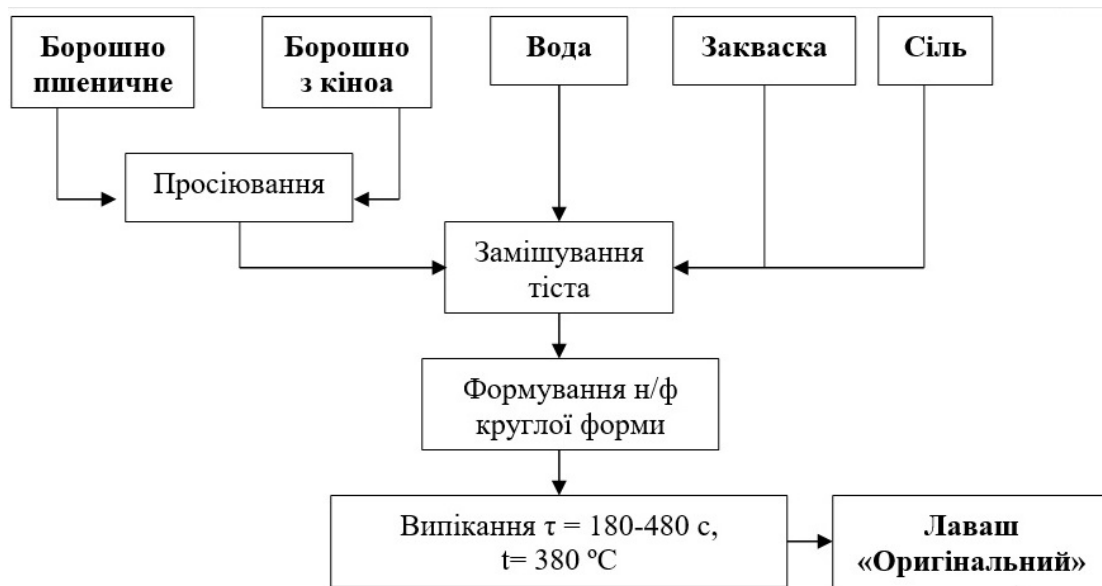


Рисунок 1. Технологічна схема лаваша «Оригінальний»

Порівнявши хімічний склад контрольного та дослідного зразків (табл.3), було встановлено, що харчова цінність лаваша "Оригінальний" перевищує контрольний зразок у таких показниках: вміст білків збільшився на 11,13%, харчових волокон - на 36,86%, вміст вітаміну А зрос на 15 разів, вітаміну В2 - у 2 рази, вітаміну В6 - у 6 разів, вітаміну В9 - у 24 рази, мінеральних речовин калію - на 101,51%, цинку - на 418,50%, тоді як вміст крохмалю зменшився



майже на 28%.

Таблиця 3

Поживна цінність лаваша «Оригінальний»

Показники	Контроль	Дослід	Різниця, %	Добова потреба	Забезпечення добової потреби, %
Білки, г	4,64	5,15	11,13	75,00	6,87
Жири, г	0,55	1,17	135,55	80,00	1,47
Вуглеводи, г	31,77	29,96	-5,71	300,00	9,98
Крохмаль, г	30,92	22,26	-28,00		
Харчові волокна, г	1,58	2,16	36,86	25,00	8,62
Вода, г	5,93	5,93	0,00	2400,00	0,23
Зола, г	1,72	2,08	20,94	20,94	10,41
Макроелементи					
Калій, мг	55,04	110,90	101,51	3500,00	3,16
Кальцій, мг	13,62	16,43	20,63	1000,00	1,64
Магній, мг	7,53	31,90	323,63	400,00	7,98
Натрій, мг	582,00	465,47	-20,02	2400,00	0,16
Фосфор, мг	38,70	88,79	296,76	1000,00	8,88
Мікроелементи					
Залізо, мкг	0,58	1,03	76,48	150,00	0,69
Цинк, мг	0,01	418,50	418,50	15000,00	2,79
Вітаміни					
Вітамін А (ретинол), мг	0,01	0,15	1500,00	0,90	15,23
Вітамін В1 (тіамін), мг	0,08	0,10	433,53	1,50	6,81
Вітамін В2 (рибофлавін), мг	0,02	0,06	208,50	1,80	3,09
Вітамін В4(холін), мг	0,01	9,48	948,00	750,00	1,27
Вітамін В6 (піридоксин), мг	0,01	0,06	600,00	2,00	9,84
Вітамін В9 (фолієва кислота), мкг	0,01	24,84	2484,00	400,00	6,21
Вітамін Е (токоферол), мг	0,01	0,33	8,93	10,00	3,29
Вітамін РР (ніацин), мг	0,54	0,71	31,00	20,00	3,54
Енергетична цінність, ккал	184,88	175,04	-5,32	450,00	38,90

Як показано в таблиці 3, споживання 100 г лавашу "Оригінальний" задовольняє добову потребу у таких вітамінах і мінералах: вітамін А - на 15,23%, вітамін В6 - на 9,84%, вітамін В1 - на 6,81%, вітамін В9 - на 6,21%, вітамін Е - на 3,29%, магній - на 7,98%, фосфор - на 8,88%.

Особливо важливим є значне збільшення вмісту незамінних



амінокислот у лаваші, оскільки цей продукт вважається повноцінним. Наявність всіх незамінних амінокислот у рослинних продуктах є рідкістю. Але у борошні з кіноа, на відміну від інших джерел рослинного білка, містяться всі незамінні амінокислоти (г/ на 100 г): аргінін (0,34 г), валін (0,19 г або 10% денної норми), гістидин (0,13 г або 12%), ізолейцин (0,16 г або 11%), лейцин (0,26 г або 8%), лізин (0,24 г або 8%), метіонін (0,1 г), метіонін + цистеїн (0,16 г або 11%), треонін (0,13 г або 8%), триптофан (0,05 г або 13%), фенілаланін (0,19 г) (табл. 4).

Таблиця 3

Амінокислотний склад лаваша «Оригінальний»

Показники	Контроль	Дослід	Різниця, %	Добова потреба	Забезпечення добової потреби, %
Незамінні амінокислоти					
Аргінін, г	0,17	0,40	102,04	3,00	14,91
Валін, г	0,16	0,19	12,80	1,50	15,42
Гістидин, г	0,08	0,14	56,54	1,50	11,12
Ізолейцин, г	0,14	0,17	17,21	3,00	6,89
Лейцин, г	0,30	0,32	5,00	4,00	8,61
Лізин, г	0,12	0,27	118,86	3,00	10,47
Метіонін, г	0,05	0,11	71,67	2,00	6,33
Треонін, г	0,14	0,13	-4,32	2,00	8,63
Триптофан, г	0,13	0,04	-56,05	1,00	6,85
Фенілаланін, г	0,21	0,22	4,04	2,00	12,16

Під час дослідження було встановлено, що при споживанні лаваша "Оригінальний" незамінні амінокислоти рівномірно надходять до організму людини, що відрізняється від контрольної групи.

На основі отриманих результатів, наведених в табл. 3 та табл. 4, побудовано профілі якості борошняних виробів порівняно з еталоном (за який прийнято умовний продукт, що забезпечує 30 % добової потреби у визначених нутрієнтах). Значення розраховувалося за такими основними параметрами як: вміст білків та харчових волокон, вміст вітамінів А, Е та В9, вміст заліза та магнію (рис. 2).

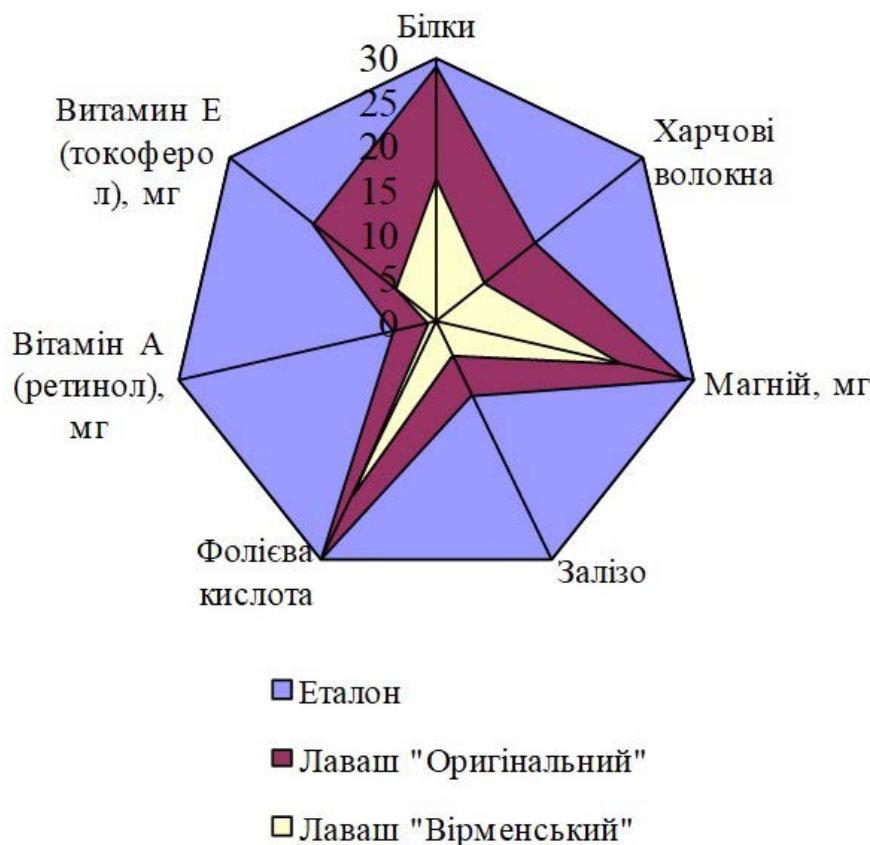


Рисунок 2. Профіль якості лавашу

Висновки. На основі отриманих результатів було обґрунтовано та розроблено технологію виготовлення лавашу "Оригінальний" з використанням борошна з кіноа. Це дозволяє розширити асортимент хлібобулочних виробів функціонального призначення, які містять більше харчових волокон, мінералів і вітамінів. Цей хлібобулочний виріб рекомендований для харчування в повсякденному раціоні робітників важких промислових підприємств, мешканців екологічно забруднених територій, а також всіх верств населення, які прагнуть скористатися функціональними харчовими продуктами.

Список використаних джерел

1. Мазаракі А. А. Технологія харчових продуктів функціонального призначення. Київ: КНТЕУ. 2012. 1116 с.
2. Львович И. Я. Перспективные тренды развития науки: техника и технологии. Одеса: КУПРИЕНКО СВ. 2016. 197 с.
3. Черевко О. І. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення. Харків: ХДУХТ. 2017. 591 с.
4. Yatsenko V. M. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. *Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom*. 2017. 619 с.



5. Русавська В. А. Теоретико-практичні підходи до ефективного функціонування ринку готельно-ресторанних послуг: стан, проблеми, тенденції. Київ: Видавництво Ліра. 2018. 420 с.

6. Преображенский А. П. Уровень развития техники и технологии в XXI веке. Одеса: КУПРИЕНКО С.В. 2019. 227 с.

7. Гамаюнова В. В. Инновационные технологии в жизни современного человека. Одесса: КУПРИЕНКО СВ. 2020. 209 с.

8. Мазаракі А. А. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 772 с.

9. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв: наук. журнал*, 2018. №2. С. 91–94.

10. Земліна Ю. В. Технологія борошняних страв на основі нетрадиційної сировини. *Науковий журнал «Вчені записки» ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Том 30 (69). 2019. №4. С. 77–82.

11. Криворучко М. Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2012. № 1. С. 82–88.

12. Михайлик В.С. Технологія та якість печива зі шротами олійних культур. *Харчова наука і технологія: науково-виробничий журнал*. 2016. № 1. С. 72–77.

13. Кравченко М. Ф., Криворучко М. Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Товари і ринки: міжнародний науково-практичний журнал*. 2012. № 1. С. 82–88.

14. Антоненко А. В. Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2014. № 46 (1). С. 149–153.

15. Журавська А. А. Новітні технології кондитерських виробів підвищеної харчової цінності. *Научные труды SWorld*. 2013. № 1. С. 73–77.

16. Довга О. О., Ліфіренко О. С. Удосконалення технології борошняних кулінарних виробів для харчування дітей. *Научный взгляд в будущее: международное периодическое научное издание*. 2016. № 3. С. 4–11.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2023 р.



**A. Antonenko¹, T. Brovenko¹, M. Kryvoruchko², G. Tolok³,
O. Vasilenko¹, Ju. Ryadnyna**

¹Kyiv National University of Culture and Arts

²State University of Trade and Economics

³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

PITTA BREAD TECHNOLOGY USING QUINOA FLOUR

Summary

The article develops the technology of "Original" pita bread using quinoa flour. To justify the rational amount of quinoa flour, model compositions of desserts were made. Based on the results of the research, it was established that when the concentration of quinoa flour increases, the organoleptic indicators of the product decrease. It was established that with the addition of 30% quinoa flour (experiment No. 1), there is an improvement in the organoleptic evaluation of "Original" pita bread (5.0 points). This is explained by the soft, pleasant nutty aroma inherent in quinoa flour, and the unusual taste and porous, fluffy texture of the finished bakery product. As a result of comparing the chemical composition of the control and experimental samples (Table 3), it was established that the nutritional value of the "Original" pita bread exceeds the control sample. A significant increase in the content of essential amino acids is also of particular importance, since such a food product is considered complete. The presence of all essential amino acids in the composition of plant products is a rarity. Unlike other sources of vegetable protein, quinoa flour contains all essential amino acids. Taking into account the content of essential amino acids in the experiment, in comparison with the control, it should be noted the uniform supply of essential amino acids to the human body when consuming "Original" pita bread. The developed bakery product can be recommended for food in the daily diets of people working in heavy industry, living in ecologically polluted areas and all strata of the population, as well as for satisfying consumer demand for functional food products.

Key words: technology, quinoa, quinoa flour, pitta bread, bakery products.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-19

УДК 635.89

І. І. Бандура, к.с-г.н.

ORCID: 0000-0001-7835-3293

А. Г. Ткаченко

ORCID: 0009-0008-2988-0140

Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного

e-mail: iryna.bandura@tsatu.edu.ua, тел.: 097-720-92-04

ОЦІНКА МОРФОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЛОДОВИХ ТІЛ ЇСТІВНИХ ГРИБІВ *LENTINULA EDODES* ТА *CALOCYBE INDICA* ЯК ОБ'ЄКТІВ ЗБЕРІГАННЯ

Анотація. Вивчення морфологічних особливостей габітусу найбільш поширених чи придатних для промислового культивування штамів дозволяє визначити стратегію організації післязбиральних процедур з метою зменшення механічних ушкоджень грибів та підвищення візуальної привабливості плодових тіл у пакуванні. В роботі наведено алгоритм розрахунків типорозмірів придатної тари та прогнозованої маси грибів у пакуванні відповідно до визначених параметрів та варіативних особливостей габітусу штамів шіїтаке *L. edodes* 3782, 881 і калоцибе індійського *C. indica* 2598. За результатами статистичного аналізу виявлені істотні відмінності між середніми перевірених ознак: маси та висоти плодових тіл, діаметру шапинок тощо. Доведено необхідність індивідуального підходу до підбору типорозмірів тари для удосконалення процесу пакування досліджених культиварів.

Ключові слова: шіїтаке, калоцибе індійський, культивування, пакування, тара, габітус

Постановка проблеми. Гриби цінуються споживачами за унікальний смак та аромат і, у повсякденному меню, використовуються як альтернатива м'ясних страв. Визначено, що кожен з видів грибів має свій унікальний біохімічний склад, відрізняється власним комплексом біоактивних сполук, містить есенціальні елементи та вітаміни, компоненти з активними медичними функціями [1–3]. Розширення асортименту грибів стало необхідним елементом піклування про здоров'я нації у Японії, Китайській народній республіці та Південній Кореї. З грибів роблять хліб, снеки, йогурти, десерти та навіть алкогольні напої [4, 5].

Однак, на сьогодні 90 % ринку України та більше 80 % ринку



Європи належить печериці (*Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach), а інші види у більшості представлені імпортованою сировиною та консервами. Цей факт, насамперед, пов'язаний з відсутністю адаптованих технологій вирощування інших видів та шляхів переробки їхніх тендітних плодових тіл, що швидко псуються [6, 7]. Втім, цікавість споживачів до нових видів грибів, які мають унікальні споживчі властивості, постійно зростає, що підтверджується їхньою ціною. Вартість гливи звичайної, шіітаке, піопіно (опенька тополевого) та інших на сьогодні від 2 до 10 разів перевищує вартість печериці. Отже, впровадження нових видів у промислове грибівництво України та забезпечення високої якості отриманого урожаю матиме високий економічний потенціал та буде здатним задовольнити актуальні потреби населення.

Аналіз останніх досліджень. В останні роки грибівники світу спрямовують свою увагу на вирощування видів з високим функціональним потенціалом, зокрема високий попит має *Lentinula edodes* (шіітаке), а популярності набуває новий тропічний вид *Calocybe indica* (калоцибе індійський). *L. edodes* за типом харчування належить до типових дереворуйнівних (ксилотрофних видів), які отримують харчування при розкладанні деревини. Гіфи гриба продукують екзоферменти, що руйнують целюлозу та лігнін деревини на прості сполуки. Вид відносять до категорії цінних їстівних і, водночас, лікарських грибів. М'якуш плодового тіла дуже щільний, білий, але при пошкодженні стає коричневим [8]. Шіітаке має широкі температурні межі культивування, але результати наукових досліджень геному 17 різних штамів дозволили розділити їх на три основні групи за температурою диференціації плодових тіл. I група: низькотемпературні L (low) - типу, II - високотемпературні H (high) - типу, а до III групи віднесли середньотемпературні M (medium) та термотолерантні B (broad) – типи [9].

C. indica – тропічний вид, що росте у вузькому діапазоні підвищеної температури (28 - 32 °C). Міцний гриб повністю білого кольору, має тверду консистенцію. Плодові тіла є одними з найбільших за розміром серед видів, що вирощуються штучно. Шапинка становить від 10 до 14 сантиметрів у діаметрі, спочатку опукла, але з віком стає плоскою. Кутикула (шкірка) легко відокремлюється від шапинки. Пластини білі або блідо-рожевого кольору, як у печериці, але за дозрівання набувають коричневого кольору [10]. Ніжка циліндрична, злегка розширена донизу, має висоту 10-20 сантиметрів, без кільця та покривала. Гриб не змінює колір при розрізанні або пошкодженні. М'якуш має м'який смак, маслянистий, і слабкий аромат, що нагадує редис або смак незрілого кокосу [11]. Вид є найбільш популярним культиваром в Індії, а в якості комерційного об'єкту для вирощування



в Україні має суттєві перспективи: відсутність витрат на охолодження культиваційних приміщень влітку, високу біологічну ефективність, короткий технологічний цикл, стійкість до бактеріальних та плісневих інфекцій, низьку собівартість субстратів, привабливий зовнішній вигляд плодових тіл, насичений смак [12].

Однією з основних завдань впровадження означених видів у промислове виробництво є дослідження ефективності післязбиральних процедур, зокрема збільшення тривалості зберігання. Науковці обґрунтовують швидкі процеси старіння грибної сировини окислювальними процесами, які включають ферментну деградацію клітинних і субклітинних структур і макромолекул, а також мобілізацію продуктів розпаду у біомасі [13]. Тому, головним завданням на шляху збільшення тривалості зберігання грибів є зниження активності ферментів, зокрема поліфенолоксидази. Для цього використовують шокове та вакуумне охолодження свіжезібраної продукції до $0...2^{\circ}\text{C}$, систему пакування у газомодифікованих середовищах (MAP–Modified atmosphere packaging) зі спеціальними плівковими покриттями, які дозволяють підтримувати необхідне співвідношення вмісту кисню та вуглекислого газу [14].

Однак, крім складу газової суміші, також важливо контролювати рівень відносної вологості всередині пакування з грибами, щоб уникнути утворення конденсату, розвитку плісневих грибів та розмноження бактерій. Більшість полімерних матеріалів (поліетилен, поліпропілен або полівінілхлорид), що використовуються в пакуванні свіжих продуктів, мають нижчу швидкість пропускання водяної пари порівняно зі швидкістю випаровування свіжих продуктів. Таким чином, більшість молекул води, що випаровуються з грибів, не проходить через плівку і залишається всередині упаковки, підвищуючи тиск водяної пари в мікрооточенні плодових тіл. У цих умовах навіть незначне коливання температури може спричинити конденсацію пари всередині пакування, що зумовлює посилення росту мікроорганізмів, а отже появу слизу, запаху гниття, потемніння поверхні грибів [15, 16]. Тому, однією з технік, що сприяє тривалому збереженню якості урожаю, є використання водопоглинаючих полімерних матеріалів, зокрема SAP, виготовлений з поліакрілату, які забезпечують умови ненасиченої вологості.

Відомо, що способи пакування грибів в значній мірі залежать від шляху їх реалізації. Пакування і реалізація грибів насипом в ящиках і коробках прийнятний лише для реалізації на ринках і невеликих магазинах з обслуговуванням покупців продавцем, і абсолютно непридатний для реалізації в магазинах самообслуговування (втрати продукту можуть скласти 60% і більше). Також цей вид упаковки кращий для реалізації в мережі HoReCa (англ «Hotel, Restaurant, Cafe»),



так як при прийманні продукції в цій мережі важливий товарний вигляд продукції, запах і консистенція, визначаються ці показники органолептичним методом в момент реалізації і неможливі при наявності упаковки. Упаковка грибів в дрібну тару по 200...500г, використання поліуретанових лотків з бар'єрними плівками є універсальною і дозволяє реалізувати гриби за всіма напрямками реалізації (крім мережі HoReCa). Терміни реалізації в цьому випадку збільшуються в середньому на 3 – 6 днів при збереженні гарного зовнішнього вигляду продукції [17].

Актуальність вирішення питань, націлених на підвищення ефективності зберігання грибів підтверджується численними публікаціями, втім, практично відсутні роботи присвячені аналізу впливу механічних пошкоджень на якість плодових тіл впродовж післязбиральних процедур. Хоча, не викликає сумнівів той факт, що важливою умовою для зберігання є відсутність порушень структури грибів за рахунок здавлювання, розривів та уражень шкідниками і мікроорганізмами.

Формулювання мети статті. Етапи збирання, очищення, сортування та пакування є критичними з точки забезпечення цілісності плодових тіл, а отже, їхнього подальшого зберігання. Якщо збереження якості грибів на перших етапах цілком залежить від кваліфікації персоналу, то ефективність процесу пакування можливо удосконалити через використання пакувань, які здатні забезпечити вільне, але надійне укладання плодових тіл. Такий підхід дозволяє суттєво знизити кількість механічних ушкоджень. Відомо, що в Україні для найбільш цінних видів грибів кожен з виробників створює власну тару, що значно підвищує вартість продукту. Отже, для технологічних регламентів промислового пакування потрібно дослідити морфологічні особливості плодових тіл цих видів та науково обґрунтувати параметричні розміри доступної тари, укладання в яку мінімально пошкоджувало б тендітні шапинки шіїтаке та калоцибе індійського. Тому метою роботи стало визначення особливостей та варіативності габітусу промислових штамів шіїтаке і калоцибе індійського (*L. edodes* 3782 та 881, *S. indica* 2598), які є найбільш поширеними в Україні, та підбір існуючих варіантів вітчизняної тари для їхнього пакування.

Основна частина. Культивування грибів проводили в умовах ТОВ НВП «ГРИБНИЙ ЛІКАР» (с. Садове Мелітопольського р-ну), ТОВ «ЕСМАШ -3» та ТОВ «Фунгіterra» (м. Київ) за наступних мікрокліматичних параметрів: 1) температура вирощування обох штамів *L. edodes* складала 18 ± 1 °С, відносна вологість повітря (ВВП) 90 ± 3 %, вміст CO₂ у складі повітря не перевищував 0,15%, інтенсивність освітлювання 150-300 люкс; 2) вирощування *S. indica* відбувалось за температури 28 ± 2 °С з ВВП 93 ± 3 %, вмістом



CO₂ – до 0,20%, інтенсивність освітлювання 200-300 люкс [18]. Плодові тіла (ПТ) грибів збирали за досягнення технічної стиглості: до початку спороношення. Оцінку габітусу проводили за наступними показниками: загальна маса плодового тіла, діаметр шапинки, висота шапинки, висота ніжки, діаметр ніжки в мм. Для оцінки варіативності показників рандомно відбирали плодові тіла зібраних урожаїв в кількості не менше 100 штук. Статистичний аналіз проводили у надбудові QI Macros (2021) до Excel 2016 MSO (16.0.4266.1001) код ліцензії 00339-10000-00000-AA963.

За вимогами CODEX STAN 38 пакування свіжих грибів має відбуватися відповідно до вимог «Загальних принципів гігієни харчових продуктів» (CAC/RCP 1-1969, Rev. 2 (1985), Кодекс Аліментаріус, Том 1). У розділі 6 зазначається, що тара має бути добре заповнена грибами, а у розділі 7 – необхідність перфорації для вільного доступу повітря та підтримання низьких температур впродовж зберігання та розташування на полицях маркетів [19]. Втім, застосування сучасних пакувальних матеріалів, зокрема полівінілхлоридних стрейчових харчових плівок, безпечних при контакті з продуктами, дозволяє забезпечити необхідний газообмін та захистити гриби від мікробіологічної контамінації через отвори перфорації [20]. Звичайно, потрібно враховувати тиск таких плівок на плодове тіла у пакуваннях, що може привести до механічних пошкоджень.

Отже, у регламенті пакування потрібно враховувати 2 фактори: 1) максимальну наповненість для запобігання вільному пересуванню плодкових тіл та можливого травмуванню впродовж логістичних операцій, 2) властивості плівки, яка забезпечуватиме утримання плодкових тіл у певному положенні та необхідний газообмін. Представлені нижче результати дослідження варіативності морфологічних показників плодкових тіл дозволяють спрогнозувати розміри тари, необхідної для виконання поставлених задач (табл. 1).

Таблиця 1

Морфологічні параметри габітусу плодкових тіл штамів 3782 та 881 *Lentinula edodes* та *Calocybe indica* (середнє ± ст. відхилення за $n > 50$)

Показник	<i>Lentinula edodes</i>		<i>Calocybe indica</i> 2598	НІР ₀₅
	3782	881		
Маса ПТ, г	13,0 ^c ± 5,9	23,3 ^b ± 9,9	60,6 ^a ± 31,6	6,0
Діаметр шапинки, мм	50,3 ^c ± 8,8	60,9 ^b ± 11,3	68,6 ^a ± 15,1	3,4
Висота шапинки, мм	14,0 ^b ± 2,3	11,2 ^c ± 2,8	30,5 ^a ± 8,9	2,4
Висота ніжки, мм	29,7 ^c ± 6,8	44,2 ^b ± 9,2	77,4 ^a ± 15,6	3,3
Діаметр ніжки, мм	10,7 ^c ± 2,1	18,2 ^b ± 5,2	38,1 ^a ± 9,8	2,7

Примітка: асимптотична значимість за $p < 0,01$, позначена індексами латиницею



Так, середні параметри плодових тіл (ПТ) *C. indica* 2598 значно перевищували показники обох штамів шіїтаке: 1) за масою у 4,7 раза, як порівнювати з *L. edodes* 3782, та у 2,6 раза були важчими ніж ПТ *L. edodes* 881; 2) за діаметром шапинки ширше на 18,5 мм та на 7,7 мм відповідно; 3) висота (товщина) шапинки була більшою ніж у 2 рази в обох варіантах порівняння; 4) висота ніжки була вищою на 47 та на 33 мм відповідно; 5) діаметр ніжки був на 27мм більшим ніж у ПТ *L. edodes* 3782, та на 20 мм як порівняти з *L. edodes* 881. Істотні відмінності ($p < 0,01$) були визначені між дослідженими штамми за всіма перевіреними ознаками. Найменші ПТ мав штам *L. edodes* 3782, які мали значно меншу та тоншу ніжку ніж ПТ штаму *L. edodes* 881, а отже кожен з варіантів потребував індивідуального підходу до вибору пакування.

Важливою складовою для визначання оптимальних параметрів пакування є показники варіативності штаму, зокрема – коефіцієнт варіативності (V_{σ}), який дає змогу визначити різномірність вибірки (врожаю) та коефіцієнт асиметрії варіаційного ряду, що дозволяє визначити схильність загальної вибірки в сторону більших або менших значень. Тобто спрогнозувати реальні відсотки врожаю грибів, який може бути запакований, та відсоток відсортованих за розміром грибів, які можуть продаватися за іншою маркетинговою категорією: великі (*big size*), або навпаки, малі (*baby*). Таке сортування вже застосовується у реалізації печериці і гливи степової (ерінгі) та має своїх шанувальників.

За результатами описової статистики вибірок було визначено, що коефіцієнти варіації всіх досліджених штамів за показником маси ПТ є достатньо високими: $V_{\sigma}(L. edodes 3782) = 0,45$, $V_{\sigma}(L. edodes 881) = 0,42$, а $C. indica 2598 = 0,52$. Отже, врожай цих штамів є неоднорідним у сукупності, бо більше 40% грибів мають параметри, які значно відрізняються від середніх (рис. 1).

Отже, потрібно вводити обов'язкову операцію сортування перед процедурою пакування, для розділення грибів на категорії. Приблизний відсоток різних категорій за масою ПТ можливо розрахувати за вибірковими рядами за допомогою діаграм та коефіцієнтів асиметрії варіаційних рядів урожаю, які за результатами дослідження склали: $As(L. edodes 3782) = 2,34$; $As(L. edodes 881) = 0,793$; $As(C. indica 2598) = 1,591$. Відомо, що якщо $As = 0$, то розподіл має симетричну форму; при $As > 0$ розподіл має додатню (правосторонню) асиметрію, схиляється до менших значень; при $As < 0$ — від'ємну (лівосторонню), отже схиляється до більших значень [21]. Отже, доля грибів меншої за середню маси у врожаї усіх досліджених штамів є вищою, але найбільшу асиметрію вибірки спостерігали при вирощуванні *L. edodes* 3782, найнижчу - для штаму *L. edodes* 881.

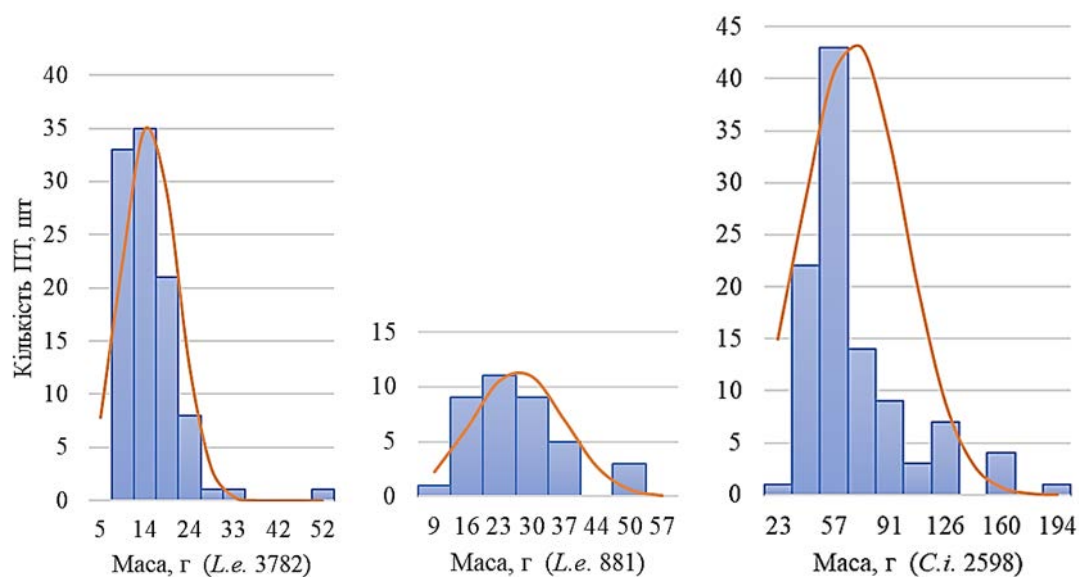


Рисунок 1. Варіативність маси плодових тіл штамів *L. edodes* 3782 та 882, *C. indica* 2598

За отриманою градацією (інтервалами) визначено, що 68% ПТ *L. edodes* 3782 мають масу від 10 до 14 г, а лише 3% більше 28 г. Більшість ПТ штаму *L. edodes* 881 мала масу від 16 до 30 г, що як порівнювати в 2 рази буде зменшувати кількість грибів у пакуваннях однакового параметру [21].

Для вибірки штаму *C. indica* 2598 за показником маси був характерним позитивний ексцес вибірки – 2,38, що дає змогу прогнозувати отримання біля 80% грибів з масою від 40 до 74 г. Вибірка для *L. edodes* 881 за масою мала негативний ексцес (–0,59), що говорить про відносну рівномірність розподілу вибірки, а на практиці – про необхідність універсального пакування, або сортування врожаю не менше ніж за трьома категоріями.

Діаметр шапинок, якщо вкладати їх перпендикулярно чи під кутом до низу ємності буде визначати необхідну висоту пакування. За результатами статистичного аналізу вибірок виявлено відносно низькі коефіцієнти варіації цієї ознаки: $V_{\sigma} = 0,18; 0,19; 0,22$ для *L. edodes* 3782, 882; *C. indica* 2598 відповідно. Якщо для пакування невеликих за розміром плодових тіл *L. edodes* підходить інший варіант укладання шапинок - паралельно до днища, тобто на висоту плодового тіла, то для значно більших за розмірами плодових тіл *C. indica* 2598 підходить лише горизонтальне розташування у пакуванні. Отже, для цього виду діаметр шапинки буде визначальним для прогнозування висоти пакування. 90 % вибірки цього штаму знаходяться в інтервалі від 57 до 90 мм, відповідно висота тари має бути не меншою, ніж визначений діаметр шапинки (рис. 2).

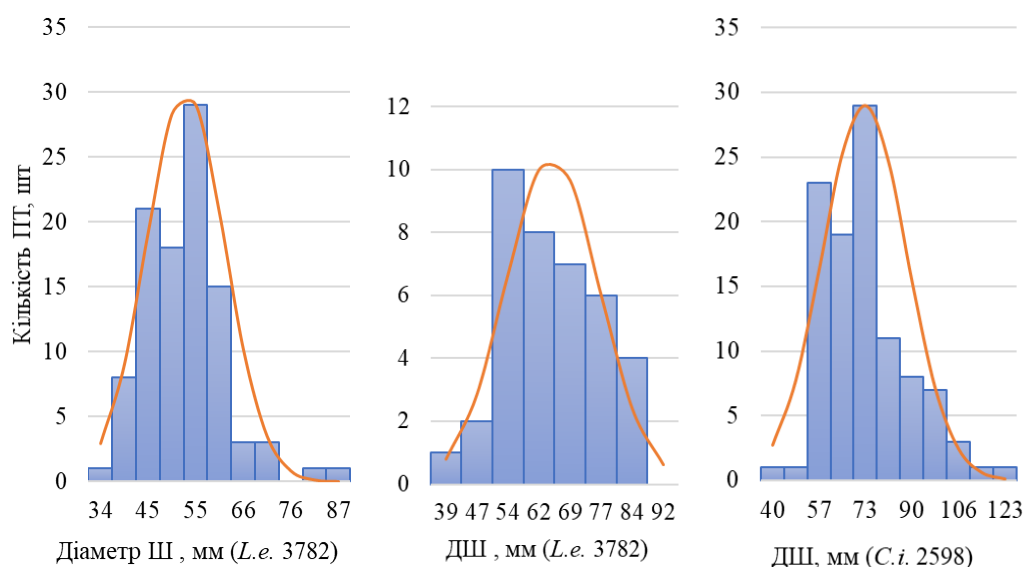


Рисунок 2. Варіативність діаметру шапинок плодових тіл штамів *L. edodes* 3782 та 882, *C. indica* 2598

Отже, необхідна висота ємностей, придатних для пакування плодових тіл досліджених штамів, за умов укладання їх перпендикулярно до днища, за більшістю градацій буде мати не меншою ніж 65 мм для *L. edodes* 3782, 80 мм для *L. edodes* 881 та 90 мм для *C. indica* 2598.

Коефіцієнти асиметрії (A_s) варіаційних рядів склали: (*L. edodes* 3782) = -0,964; *L. edodes* 881 = 0,28, та *C. indica* 2598 = 0,912, що свідчить про нормальність розподілу для вибірки урожаю лише для штаму *L. edodes* 881, тоді як урожай штаму *L. edodes* 3782 мав тенденцію до більших за середній діаметр шапинок, а для *C. indica* 2598 – навпаки, більшість шапинок мала менший від середнього розмір.

Параметричне прогнозування ширини тари у будь-якому варіанті укладання потрібно проводити за сумою діаметрів шапинок. Довжину тари для невеликих за розміром ПТ, до яких можна віднести штами *L. edodes*, можливо розрахувати як за сумою діаметрів ПТ, що будуть укладатись горизонтально, так і за сумою висоти ПТ у разі їх перпендикулярного розташування. Довжину тари для плодових тіл *C. indica* 2598 з довгою ніжкою потрібно визначати лише відповідно до загальної висоти ПТ. Висота ПТ, в свою чергу, визначається за сумою довжини ніжки та висоти шапинки.

Варіативність ознаки висоти ніжки в усіх досліджених штамів не перевищувала 23%, що свідчить про сталість цього показника: V_σ дорівнював 0,23; 0,21; 0,20 для *L. edodes* 3782, 882, *C. indica* 2598 відповідно. Коефіцієнти асиметрії вибірок склали: A_s = -0,05; 0,37 та 0,39 відповідно (рис. 3).

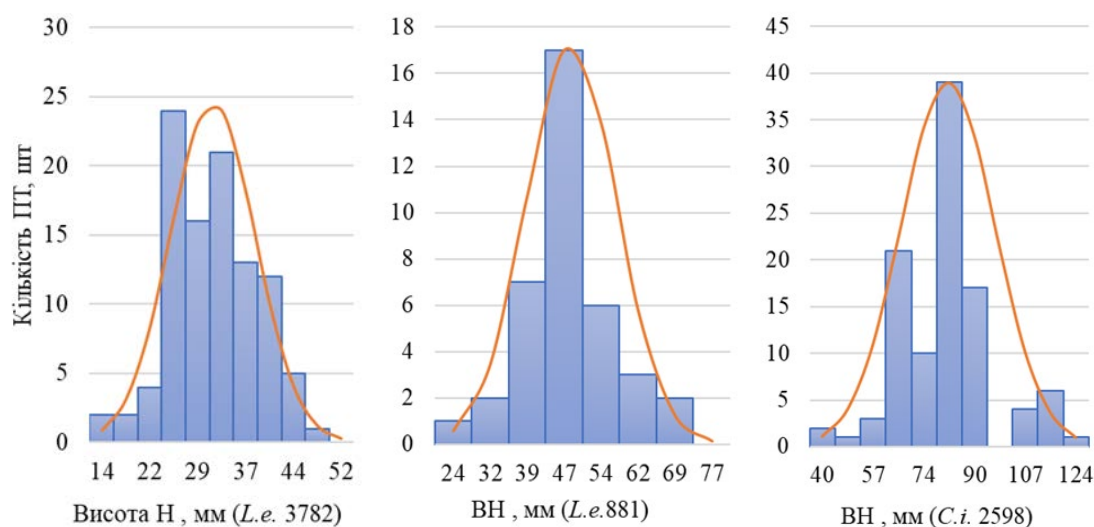


Рисунок 3. Варіативність висоти ніжок плодкових тіл штамів *L. edodes* 3782 та 882, *C. indica* 2598

Отримані результати доводять відносну рівномірність розподілу вибірки. Висота ніжки ПТ 86% урожаю *L. edodes* 3782 була від 25 до 41 мм, 90% урожаю *L. edodes* 881 – від 39 до 54 мм, а 80% ПТ *C. indica* 2598 мали ніжку від 65 до 90 мм.

Висота шапинки досліджених штамів мала розмах варіаційного ряду від 10 до 20 мм у штамів шіїтаке, що не є критичним у визначенні середніх розмірів тари, тоді як для *C. indica* 2598 ця ознака характеризувалася розмахом від 15 до 70 мм (рис.4).

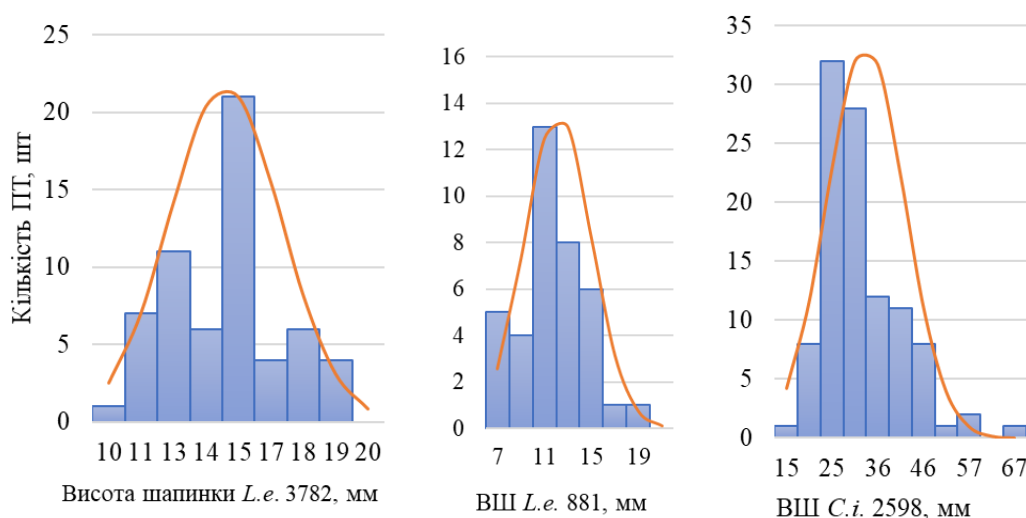


Рисунок 4. Варіативність висоти шапинок плодкових тіл штамів *L. edodes* 3782 та 882, *C. indica* 2598

V_{σ} дорівнював 0,16; 0,25; 0,29, а A_s – 0,43; 0,51; 1,11 для *L. edodes* 3782 та 882, *C. indica* 2598 відповідно, що свідчить про однорідність урожаю з невеликою тенденцією зміщення варіації ознаки у сторону



нижчих значень.

Найпростіші формули для визначення розмірів тари мають такий вигляд:

1) Висота пакування (ВП) = $n \times$ Діаметр шапинки за вертикального укладання шапинок. Для кращого збереження цілісності ПТ бажано, щоб n – кількість плодових тіл дорівнювало 1, тобто гриби уклались одним шаром; у разі декількох шарів формула прогнозування висоти зміниться на $ВП = n \times$ (Висота шапинки + висота ніжки);

2) Ширина пакування = $n \times$ Діаметр шапинки;

3) Довжина пакування (ДП) = $n \times$ (Висота ніжки + висота шапинки, за умови укладання шапинками перпендикулярно до днища ємності, або $ДП = n \times$ Діаметр шапинки, за умови горизонтального (паралельного) розміщення.

За проведеними підрахунками та з оглядом на особливості варіативності габітусу було визначені бажані параметри тари для пакування досліджених штамів за умов розташування ПТ одним шаром. Так для грибів штаму *L. edodes* 3782 розрахунки мають наступний вигляд:

висота $14,0 + 29,7 \approx 44$ (мм);

ширина ($n \times 50,3$) приблизно 150 мм – 200 мм (по 3 – 4 ПТ);

довжина відповідно 150...250 мм (від 3-х до 5-ти ПТ).

Отже, такий результат відповідає розмірам харчових пакувань М4-260/177/45 та М4-260/177/55, які широко представлені на вітчизняному ринку та мають універсальне призначення. Маса грибів у такому пакуванні дорівнюватиме у середньому результатам наступному розрахунку: (середня маса одного ПТ) \times кількість ПТ, отже приблизно від $13 \times 3 \times 3 = 117$ г чи $13 \times 4 \times 5 = 260$ г.

Також, можливим є застосування лотків зі спіненого полістиролу Т-9-40 (240x155x40), що є достатньо економічною альтернативою ПЕТ тари. Більш дорогим, але значно привабливішим варіантом, є застосування типового кошика зі шпону з розмірами 150x120x60 мм. Втім, за рахунок великих отворів у такому пакуванні потрібно зважати на можливість значного зменшення маси грибів впродовж зберігання.

Регламент процесу пакування більших за розмірами плодових тіл штаму *L. edodes* 881 з середнім діаметром шапинки 61мм, висотою шапинки 11 мм та довжиною ніжки 44 мм передбачає використання тари з висотою 50 мм і вище, зокрема М4-260/177/55, що дозволить розмістити по 3 ПТ за шириною та по 4-5 за довжиною. На жаль, існуюча максимальна висота у 40 мм представлених на ринку лотків зі спіненого полістиролу не дає змоги використовувати цю дешеву тару для нетравматичного процесу пакування даного штаму. Також лотки абсолютно непридатні для пакування найбільших за розміром грибів

*C. indica* 2598.

Для пакування калоцибе індійського були розраховані відповідні параметри ємностей: висота від 70 мм до 90 мм (ДШ = $68,6 \pm 15,1$), ширина від 70 до 105 мм ($68 + 38$ (діаметр ніжки)), якщо вкладати 1 чи 2 плодових тіла напроти, шапінкою до ніжки, а довжина не менше 105 - 110 мм (за середніми 31 мм (ВШ) ± 77 мм (ДовжН) = 108 мм). Отже, для пакування грибів *C. indica* 2598 підійдуть ПЕТ ємності TL4-300/70 з розмірами 130x112x70 та ємності, призначені для пакування грибів T7-500/75 з параметрами 143x120x75, для яких передбачені окремі кришки L7-25. Застосування кришок, на наш погляд, дозволить спростити процедуру пакування та сортування, бо надасть можливість пакувати гриби з більшим ніж середні результати діаметром шапінки.

Висновки. Досліджені культивари суттєво відрізнялись за ознаками: найбільшу масу $60,6 \pm 31,6$ г мали плодові тіла штаму *C. indica* 2598, що у 4,7 раза перевищувало середні цієї ознаки *L. edodes* 3782 та у 2,6 раза - *L. edodes* 881. Варіативність параметричних ознак габітусу досліджених штамів була нижчою за 30 %, що дає змогу з високою точністю прогнозувати кількість отримання урожаю певних розмірних категорій та підбирати типорозміри тари для забезпечення нетравматичного пакування. Для *L. edodes* 3782 такими є існуючі варіанти ПЕТ ємностей M4-260/177/45 та M4-260/177/55 та лотки зі спіненого полістиролу T-9-40 (240x155x40). Для пакування урожаю *L. edodes* 881 придатним буде тара M4-260/177/55, а для *C. indica* 2598 - ПЕТ ємності TL4-300/70 з розмірами 130x112x70 та T7-500/75 (143x120x75) з кришками L7-25.

Список використаних джерел

1. Cheung P. C. *Mushrooms as Functional Foods*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. 293 p.
2. Maity P. Maity P., Sen I. K., Chakraborty I., Mondal S., Bar H., Bhanja S. K., Mandal S., Maity G.N. Biologically active polysaccharide from edible mushrooms: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 172. P. 408–417.
3. Turck D., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Kearney J., Maciuk A., Mangelsdorf I., McArdle H.J., Naska A., Pelaez C. Safety of Vitamin D2 mushroom powder (*Agaricus bisporus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*. Wiley Online Library, 2022. Vol. 20, № 6. P.22.
4. Antontseva E. V., Belyakova T. N., Zabodalova L., Shamtsyan M. Polysaccharides of the oyster mushroom in yogurt production. *Dairy Industry*. 2019. Vol. 2. P. 54–55. URL: https://www.researchgate.net/publication/330975662_Polysaccharides_of_the_oyster_mushroom_in_yogurt_production (accessed: 10.03.2020).



5. Wan-Mohtar W. A., Mahmud N., Supramani S., Ahmad R., Zain N. A., Hassan N. A., Peryasamy J., Halim-Lim S. A. Fruiting-body-base flour from an oyster mushroom - a waste source of antioxidative flour for developing potential functional cookies and steamed-bun. *AIMSAGRI*. 2018. Vol. 3, № 4. P. 481–492.
6. Bandura I., Isikhuemhen O. S., Kulik A., Serduk M., Sucharenko O., Jukova V., Koliadenko V., Gaprindashvili N. Effect of perforation size and substrate bag fruiting position on the morphology of fruiting bodies and clusters in *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *J App Biol Biotech*. 2021. Vol.9, №3. P. 35–40.
7. Бандура І. І., Кулик А. С., Каліцінський С. С., Сербова І. О. Особливості зберігання грибів родини глива. *Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: друга міжнародна науково-практична конференція, 5–7 вересня 2017 р.* Харків, ХДУХТ. 2017. С.213–214.
8. Bach F. Helm C. V., De Lima E. A., Bellettini M. B., Haminiuk C. W. Influence of cultivation methods on the chemical and nutritional characteristics of *Lentinula edodes*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. Vol. 30. №12. 2019. Pp. 1006–1013.
9. Zhang R., Huang C., Zheng S., Zhang J., Ng T. B., Jiang R., Zuo X., Wang H. Strain-typing of *Lentinula edodes* in China with inter simple sequence repeat markers. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2007. Vol. 74, № 1. P. 140–145.
10. Subbiah K.A., Balan V. A. Comprehensive review of tropical milky white mushroom (*Calocybe indica* P&C). *Mycobiology*. 2015. Vol. 43, № 3. P. 184–194.
11. Datta S., Dubey J., Gupta S., Paul A., Gupta P., Mitra A. K. Tropical milky white mushroom, *Calocybe indica* (Agaricomycetes): An effective antimicrobial agent working in synergism with standard antibiotics. *IJM. Begel House Inc.*, 2020. Vol. 22, № 4. Pp. 335–346.
12. Bandura I., Isikhuemhen O. S., Kulik A., Bisko N. A., Serdyuk M., Khareb V., Khareba O., Ivanova I., Priss O., Tsyz O., Makohon S., Chausov S. Biology and nutritional contents in the culinary-medicinal Milky white mushroom, *Calocybe indica* (Agaricomycetes), during cultivation involving casing and scratching treatments. *Int J Med Mushrooms*. 2021. Vol. 23, №12. C.53–63.
13. del Rio L. A., Pastori G. M., Palma J. M., Sandalio L. M., Sevilla F., Corpas F. J., Jiménez A., López-Huertas E., Hernández J. A. The activated oxygen role of peroxisomes in senescence. *Plant Physiology. American Society of Plant Biologists*, 1998. Vol. 116, № 4. P. 1195–1200.
14. Tao F., Zhang M., Yu H. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *Journal of Food Engineering. Elsevier*, 2007.



Vol. 79, № 4. P. 1302–1309.

15. Ayala-Zavala J. F. High relative humidity in-package of fresh-cut fruits and vegetables: advantage or disadvantage considering microbiological problems and antimicrobial delivering systems. *Journal of Food Science. Wiley Online Library*. 2008. Vol. 73. №4. Pp. R41–R47.

16. Linke M., Geyer M. Condensation dynamics in plastic film packaging of fruit and vegetables. *Journal of Food Engineering*. Elsevier, 2013. Vol. 116, № 1. P. 144–154.

17. Чернишов І. В. Пакування та реалізація свіжих грибів глива. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв»; Харків: ДБТУ, 2021. С. 408–409.

18. Philippoussis A., Diamantopoulou P., Zervakis G. Monitoring of mycelial growth and fructification of *Lentinula edodes* on several agricultural residues. *Mushroom Biology and Mushroom Products*, Sánchez et al. (eds). 2002. P. 279–287.

19. Standards CODEX ALIMENTARIUS FAO-WHO [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/> (accessed: 07.07.2022).

20. Donglu F., Wenjian Y., Kimatu B.M., Xinxin A., Qihui H., Liyan Zet. Effect of nanocomposite packaging on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism of mushrooms (*Flammulina velutipes*). *Postharvest Biology and Technology*. 2016. Vol. 119. P. 49–57.

21. Бахрушин В.С. Методи аналізу даних: навчальний посібник для студентів. Запоріжжя. КПУ. 2011. 268 с.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2023 р.

**I. Bandura, A. Tkachenko,
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university**

ASSESSING THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FRUITING BODIES OF EDIBLE MUSHROOMS *LENTINULA EDODES* (BERK.) PEGLER, AND *CALOCYBE INDICA* PURKAY. & A. CHANDRA AS STORAGE OBJECTS.

Summary

The study of the morphological features of basidiocarps of the most common or suitable for industrial cultivation strains allows us to determine the strategy of organizing post-harvest procedures in order to reduce mechanical damage to fungi and increase the visual attractiveness of fruiting bodies (FB) in packaging. The paper provides an algorithm for calculating the sizes of suitable containers and the predicted weight of mushrooms in the packaging in accordance with the determined parameters and varying features of the habitus of two strains of shiitake (*L. edodes* 3782, 881) and one strain of milky mushroom (*C. indica* 2598). According to the results of statistical analysis,



significant differences were found between the average of the tested signs: the mass and height of fruiting bodies, the diameter of the caps, etc. The necessity of an individual approach to the selection of container sizes for improving the packaging process of the studied cultivars has been proved.

The studied cultivars differed significantly in characteristics: the largest mass of 60.6 ± 31.6 g had fruiting bodies of the strain *C. indica* 2598, which was 4.7 times higher than the average of FB *L. edodes* 3782 and 2.6 times - *L. edodes* 881. The variability of the parametric characteristics of the habitus of the strains studied was below 30%, which makes it possible to predict with high accuracy the amount of yield of certain size categories and to select container sizes to ensure non-traumatic packaging. For *L. edodes* 3782 such are the existing versions of PET containers M4-260/177/45, and M4-260/177/55 and trays made of expanded polystyrene T-9-40 (240x155x40). For packing the harvest *L. edodes* 881 will be suitable container M4-260/177/55, and for *C. indica* 2598 - PET containers TL4-300/70 with dimensions 130x112x70, and T7-500/75 (143x120x75) with lids L7-25

Key words: shiitake, milky mushroom, crop characteristics, cultivation, packaging, basidiocarps.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-20

УДК 664-405

Р. В. Янковський, здобувач док. філ. ORCID: 0000-0002-1256-9283
Т. М Степанова, к.т.н, доц. ORCID: 0000-0002-9392-3773
Сумський національний аграрний університет
e-mail: romka88099@gmail.com

АКТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ТЕХНОЛОГІЇ СНЕКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СПРЯМУВАННЯ

Анотація. В роботі було проведено аналіз сучасного стану ринку та основних напрямків серед виробництва снєків. Виявлено основні проблеми сучасного асортименту снєкової їжі та ризику, які пов'язані із вживанням такої продукції. Досліджено сучасні наукові здобутки виробництва снєків функціонального призначення. Виявлено актуальність та шляхи розвитку технології функціонального снєкового продукту. Дана стаття розширить перспективні уявлення щодо розробки снєків функціонального призначення та звертає увагу на перспективи у цій галузі.

Ключові слова: снєкова продукція, функціональні властивості, здорове харчування, технологія, збагачення, напівфабрикат.

Постановка проблеми. Здоровий спосіб життя набуває зростаючої популярності серед населення разом із збалансованим харчуванням. Сьогоднішнє ритмічне життя вимагає від суспільства динамічності, гнучкості та витривалості. Тому, з розвитком швидкого харчування та зростанням кількості зайнятих людей, які не мають часу на повноцінний обід, з'являється потреба в швидких та доступних продуктах.

Снєки зарекомендували себе, як швидкий перекус, який є досить легкий та не займає багато місця. Його можна взяти з собою на роботу, в дорогу, до школи. Снєки допоможуть підтримати енергію та відкласти голод до повноцінного прийому їжі. Як відомо, здоров'я людини майже на 40 % залежить від якості продуктів харчування, їх харчової, енергетичної та біологічної цінності. Згідно з даними всесвітньої федерації діабету (International Diabetes Federation) 7 % українців віком від 20 - 79 років хворіють на діабет, а це близько 2,3 мільйони людей. [1] Тому досить важливо мати готові збалансовані варіанти для «перекусу», які забезпечать надходження до організму цінних поживних речовин разом із снєками.



За даними Euromonitor International, а також Innova Market Insights, світовий ринок функціональних снеків в 2020 році становив \$22,5 млрд і очікується, що до 2025 року він зросте до \$32,8 млрд. Найбільш популярною категорією функціональних снеків в 2020 році були снеки з протеїнами, які становили 39% усіх випущених функціональних снеків. Також, споживачів цікавили снеки з волокнами, пребіотиками, антиоксидантами та пробіотиками.

Функціональні снеки, які містять корисні інгредієнти, такі як волокна, білок, вітаміни та мінерали, стають все більш популярними серед споживачів. За даними Grand View Research, ринок функціональних снеків очікується зростати з 23,4 мільярдів доларів у 2020 році до 40,8 мільярдів доларів до 2028 року. [2]

Однак, на сьогоднішній день на ринку є недостатньо вибору снеків функціонального призначення, що може призвести до того, що споживачі не зможуть знайти необхідний продукт для своїх потреб. Крім того, розробка снеків функціонального призначення - є викликом для багатьох виробників. Висока конкурентна боротьба за споживача ставить перед виробниками задачі щодо сталого пошуку діючих способів залучення нових покупців: розширення асортименту, зниження собівартості та підвищення корисних властивостей виробленої продукції. Вдосконалення снекової продукції є об'єктом уваги виробників не лише з точки зору підвищення прибутку, але і як продукту, що чинить позитивний вплив на організм.

Формулювання мети статті. Розгляд актуальності розробки снеків функціонального призначення, а також дослідження можливостей та викликів, пов'язаних з їх розробкою та виробництвом. Розгляд різних типів функціональних снеків, їх корисні властивості та вимоги до технологій їх розробки. Також будуть описані сучасні тенденції ринку снеків функціонального призначення та прогнози щодо їх майбутнього розвитку.

Основна частина. Відповідно товарознавчої класифікації виділяють такі групи снеків (рис.1):

Найміцніші позиції на ринку серед снеків в Україні займають наступні:

- ТМ «Люкс», ТМ «Lay`s», ТМ «Cheetos» із власними лінійками картопляних чіпсів із різними смако-ароматичними варіаціями;
- ТМ «Big Bob» (фасовані горіхи із смако-ароматичною глазур'ю);
- ТМ «Flint» (житньо-пшеничні сухарики з смако-ароматичними добавками);
- Картопляні чіпси від ТМ «Hroom» та ТМ «Chipster`s»;
- Рибні снеки від ТМ «Морські»;
- Лінійка брускеттів «MARETTI»;

- Лінійка картопляних чіпсів від ТМ «Pringles»;
- Кукурудзяні палички ТМ «Золоте зерно», ТМ «Potato boom»;
- Кукурудзяні снеки від ТМ «Treegls»;
- М'ясні снеки ТМ «РябChick»;
- М'ясні снеки ТМ «Лідер снєк»;
- М'ясні снеки тм «Обжерку» та інші.

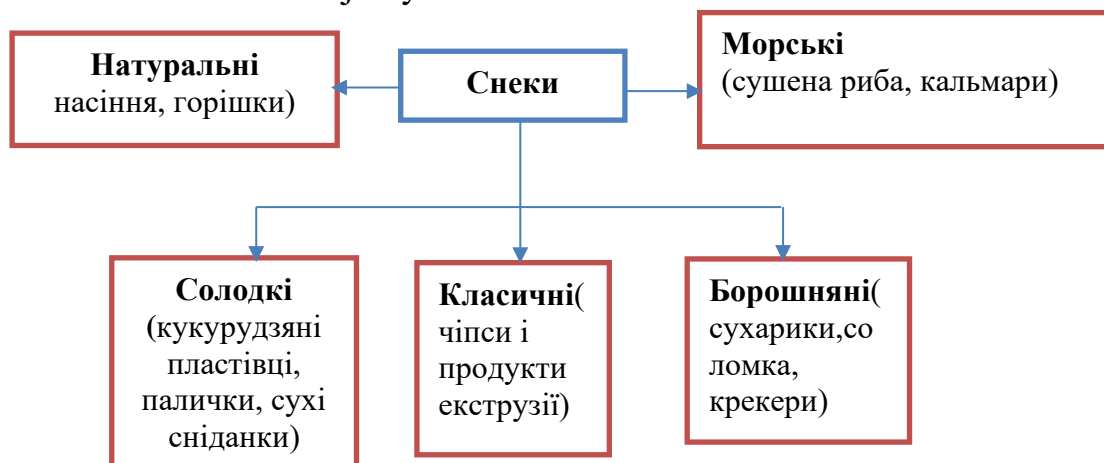


Рисунок 1. Класифікація традиційних груп снеків

Згідно результатів опитування цільової аудиторії, найбільшим попитом в Україні користуються снеки з такими смако-ароматичними добавками: м'ясні (бекон, саямі), з сиром, з цибулею і сметаною, з морепродуктами.

Одна з головних проблем снеків які ми бачимо на полицях в наших супермаркетах - це високий вміст жиру, натрію, цукру, штучних ароматичних добавок, солі, здебільшого відсутність оздоровчої функції.

Таблиця 1

Характеристика традиційних харчових добавок у виробництві снеків.

Назва харчової добавки	Характеристика	Ризики
Підсилювачі смаку*	Смакові підсилювачі чіпсів можуть бути природні або штучні. Використовуються для підвищення їх смакових властивостей, зокрема, для надання більш насиченого, яскравого, приємного смаку і аромату.	Природні смакові підсилювачі можуть містити екстракти з рослин, спеції, фрукти тощо. Наприклад: спеції (часник, паприка, чилі, куркума).



Хімічні барвники	Є одним із найбільш поширених видів добавок до їжі, які використовуються при виробництві снєків. Ці барвники додаються до продуктів з метою покращення їх зовнішнього вигляду, збільшення привабливості та привернення уваги споживачів.	Однак деякі з них можуть мати побічні ефекти на здоров'я: таргетин (E102), кармуазин (E122), аллюра (E129), бруквіл (E133) - барвники, які можуть викликати алергічні реакції, гіперактивність та токсичні при великих дозах. [2]
Трансжири	підвищують термін придатності продуктів та додають їм більш приємний смак та текстуру	підвищити ризик розвитку хвороб серця та інших захворювань. [3]
Цукор	Покращення органолептичних властивостей	Підвищувати ризик розвитку ожиріння, діабету та інших захворювань.

*Штучні смакові підсилювачі, як правило, створюються з синтетичних речовин і містять різноманітні хімічні речовини, які стимулюють рецептори смаку в роті і можуть надавати продукту штучний смак і аромат. Ці речовини можуть бути шкідливими для здоров'я людини, особливо якщо вони вживаються великими кількостями або регулярно.

Приклади штучних смакових підсилювачів:

Мононатрієвий глютамат (E621) - цей ароматизатор і смаковий підсилювач може викликати головний біль, депресію, алергії та інші проблеми зі здоров'ям.

Бензоат натрію (E211) - продуктів, які містять натрію бензоат, може призвести до алергічних реакцій та інших проблем зі здоров'ям.

Сахарин (E954) - цей смаковий підсилювач використовується для надання продуктам солодкого смаку. Однак, деякі дослідження показали, що споживання продуктів, які містять сахарин, може призвести до розвитку раку.

Аспартам (E951) - цей смаковий підсилювач використовується для надання продуктам солодкого смаку. Однак, аспартам може мати негативний вплив на здоров'я, особливо у великих кількостях, і може призвести до головного болю, депресії та інших проблем зі здоров'ям.

Крім того, виробництво снєків пов'язане з технологіями, які



можуть призвести до утворення акриламідів – речовини, яка утворюється при термообробці ($>120^{\circ}\text{C}$). При таких температурах відбувається хімічна реакція між амінокислотами та цукрами, яка призводить до утворення акриламідів. Це відбувається в результаті хімічної реакції, яку називають реакцією Майяра. При цій реакції амінокислоти та цукри взаємодіють під час підвищеної температури, утворюючи акриламід. Ця речовина відноситься до канцерогенів та є потенційно небезпечною речовиною, яка може викликати ракові захворювання. Основна причина небезпеки акриламідів полягає у його властивості викликати пошкодження ДНК, що може призвести до розвитку ракових пухлин. Крім того, акриламід може мати токсичний вплив на нервову систему та спричинити інші захворювання, такі як діабет, серцево-судинні захворювання та проблеми з репродуктивною системою.

Цілком зрозуміло, що значна кількість смакових добавок сприятливо впливаючи на споживні властивості снекової продукції не завжди позитивно впливає на здоров'я людини. А тому, перед технологіями постає задача розширення асортименту снекової продукції з максимально позитивним ефектом, оскільки швидкий перекус повинен бути також і корисним. Не секрет, що, при цьому функціональні продукти покликані доповнювати та розширювати можливість раціону попереджувати виникнення захворювань, покращувати стан здоров'я людини в цілому. Тому не варто відмежовувати функціональне харчування окремо від загальних харчових звичок людини, воно не повинно бути періодично дотриманою дієтою, а має максимально близько увійти в життя кожної людини, яка піклується про своє здоров'я.

Збагачення снекової продукції натуральними харчовими складовими повинно відбуватися з дотриманням наступних принципів (рис. 2) [5].

Інновації в технології снекової продукції дозволяють зберігати корисні властивості продукту та робити його смачнішим. Такі рішення можуть сприяти підвищенню терміну зберігання готової продукції, зокрема за рахунок внесення природних антиоксидантів.

Шлях підвищення харчової цінності снекової продукції може досягатися двома способами: включенням до рецептури натуральних харчових інгредієнтів і збагаченням відсутніми речовинами.

Натуральні харчові складові рецептури мають переваги перед збагаченням снеків хімічними препаратами і сумішами. Пояснити це можна тим, що у всіх натуральних продуктах містяться білки, вітаміни, мінеральні речовини в природному стані і у вигляді природних сполук, тобто у формі, яка краще засвоюється організмом. Варто зазначити, що внесення таких натуральних інгредієнтів перетворює снеки на



функціональні продукти.

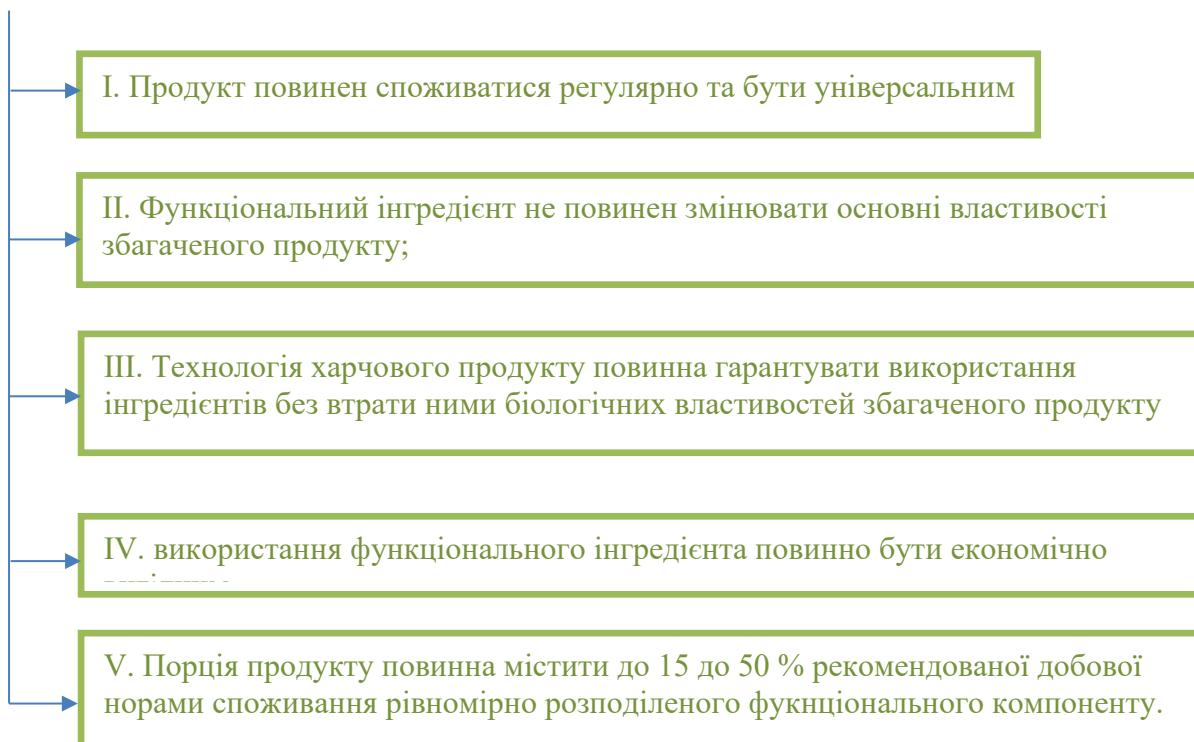


Рисунок 2. Принципи створення функціональної продукції.

Сьогодні вчені у більшості країн світу приділяють особливу увагу виробництву продукції, яка здатна витримувати стан здоров'я споживача на належному рівні, а також знизити ризик хвороб. Шлях збагачення харчових продуктів, яких не вистачає в раціоні населення, є найбільш реальним, швидким, економічно доступним та технологічно вигідним. Різноманітність визначень оздоровчих функціональних продуктів, позначених іноземними та вітчизняними авторами, підкреслює особливість оздоровчого продукту, а також його здатність на клітинному та молекулярному рівнях забезпечувати ефективний перебіг метаболічних процесів в організмі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Снеки функціонального призначення на основі морквяного та яблучного пюре з насіння гарбуза як основна сировина при виробництві органічних снеків було досліджено в працях [6].

Авторами [7] було розроблено снекову продукцію на основі пшеничних висівок та чорниці. Одержаний продукт володіє високою харчовою цінністю, гарними споживчими властивостями та зниженою собівартістю.

Дослідженням впливу снеків на основі гарбузового насіння на здоров'я людини присвячено роботи вчених [8]. Снеки збагачені поліненасиченими жирними кислотами, актуальність та впровадження продукту в сучасний ринок.



Вченими [9] було проведено дослідження щодо підвищення харчової цінності борошняних снеків за рахунок введення збагачувачів тваринного походження (знежиреного молока, молочної сироватки, сколотин). Це дало змогу не лише покращити якісні показники гтової продукції, але й їх підвищити біологічну цінність, збагатити цінними вітамінами, а також покращити мінеральний склад за рахунок збільшення кількості кальцію та фосфору.

Досліджено вплив снеків на основі авокадо на здоров'я людини [10]. Враховуючи вплив жирів, вітамінів К, С та Е, фолієвої кислоти, калію та інших елементів, що сприятливо вплинуло на покращення стану кровоносної системи.

Досліджено вплив снеків на основі пробіотиків на здоров'я людини вченими [11, 12].

Фахівцями [13] було розроблено технологію снекової продукції з використанням нетрадиційної сировини. Зокрема було використано борошно різних видів (пшеничне, житнє, вівсяне, рисове, горохове, квасолеве) із додаванням пюре яблучного, морквяного, шипшини, пасти томатної, борошна топінамбура. Одержана продукція мала приємний смак та аромат, однорідну ніжну структуру, світло-оранжевий колір та знижену калорійність.

Наукові дослідження демонструють значний розвиток цього сегменту харчової промисловості, зокрема тому, що вітаміно-, мінераломісткі снеки сприяють зміцненню кісток та імунної системи. Снеки з додаванням пробіотиків та пребіотиків підтримують здоров'я шлунково-кишкового тракту, покращують імунітет, зменшують ризик виникнення ожиріння, збільшують кількість корисних бактерій у шлунково-кишковому тракті та поліпшують здоров'я травної системи.

Це свідчить про ріст популярності здорового харчування, де спостерігається тенденція до зменшення використання штучних і шкідливих добавок у харчових продуктах.

Зростаюча свідомість щодо корисності та шкідливості харчових продуктів спонукає до пошуку альтернативи шкідливим продуктам. Таким чином, виробники, які можуть запропонувати снеки, що містять корисні елементи, можуть знайти своїх споживачів.

Суттєвої необхідності набувають функціональні снекові продукти у період військового стану, коли життя громадян України супроводжується постійними стресами та неповноцінним раціоном харчування. Це призводить до погіршення, послаблення імунітету та поширення хвороб, у тому числі цукрового діабету, фенілкетонурії, остеопорозу, дисбактеріозу тощо. Виробництво снекової продукції спрямоване на включення до рецептурного складу функціональних продуктів на вимогу нутріціології, а також надходження поживних речовин.



Завдяки сучасним досягненням медицини існує можливість правильно оцінити роль харчування в організмі людини та функції окремих мікро- та макронутрієнтів, при цьому сформулювати вимоги до якості та складу харчових продуктів.

Висновок. Снекова продукція користується значною популярністю серед українських споживачів. Завдяки високим поживним властивостям снеки здатні не лише для тамування почуття голоду, але й сприяти надходженню до організму цінних поживних речовин. У зв'язку зі зростаючою свідомістю споживачів про корисність та шкідливість харчових продуктів, виробництво функціонально збагачених снекових продуктів є актуальним. Розробка функціонального снекового продукту повинна ґрунтуватися на дотриманні принципів використання натуральних та безпечних інгредієнтів, збереженні поживної цінності та смакових властивостей продукту, інформуванні споживачів про склад та поживну цінність продукту.

Застосування в рецептурі снекової продукції інгредієнтів, здатних підвищити вміст повноцінного білку, вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон є актуальним завданням, особливо в часи війни, коли зростає потреба в підтримці фізичного та психологічного стану.

Перспективи подальшої роботи у даному напрямку полягає у необхідності збагаченні та розширення асортименту функціональної продукції, оскільки зараз є істотна потреба в біологічно-активних речовинах, в період сезонного авітамінозу та стресу зумовленого війною, а також як продукція для швидкого поповнення запасу калорій під час привалів у військових, або перебування в укриттях у цивільних. Тому, створення продукції, яка буде відповідати цим вимогам є досить актуальною. Це можливо реалізувати за рахунок збагачення снекового напівфабрикату гелями функціонального призначення. Заміна шкідливих інгредієнтів на корисні буде відповідати світовій тенденції та перспективам в галузі здорового харчування. Потенційно, гелеве покриття може бути виготовлене з натуральних інгредієнтів, таких як пектин, агар-агар, каррагінан та інші рослинні полісахариди. Ці інгредієнти мають властивості затвердіння, що сприятиме захисту і збереження харчових продуктів, збільшення їх строку зберігання та запобігання руйнуванню. Гелеве покриття може містити широкий вибір нутрієнтів, які нададуть організму оздоровчу функцію. Наприклад, покращення стану шлунково-кишкового тракту та підвищення імунітету, усунення стресу, профілактика авітамінозу [16-18].

Також, технологія є гнучкою в додаванні різноманітних смаків, ароматів шляхом додавання натуральних елементів до гелю. При цьому, гелеве покриття може бути розроблене для різних типів снеків,



таких як чіпси, печиво, кукурудзяні палички тощо.

Отже, розробка гелевого покриття функціонального призначення для снекових напівфабрикатів - є перспективною, оскільки покращує якості та функціональні властивості снєків. Також, це може сприяти збільшенню конкурентоспроможності продукту на ринку та задоволенню потреб споживачів у здоровому та смачному харчуванні.

Список використаної літератури

1. World Health Organization (Europe) and International Diabetes Federation (Europe). Diabetes care and research in Europe: the St Vincent Declaration. *Diabet Med* 2020; 7:360
2. Grand View Research. Functional Snacks Market Size, Share & Trends Analysis Report By Ingredient (Fruits & Vegetables, Grains & Seeds, Dairy), By Product (Cereal & Energy Bars, Meat Snacks, Nut, Seed & Trail Mixes), By Distribution Channel, And Segment Forecasts. 2021–2028.
3. Yang, W. H., Drouin, M. A., Herbert, M., Mao, Y., & Karsh, J. (2019). The monosodium glutamate (MSG) controversy: Factual or merely fear mongering: A review of its origins, marketing, perceived effects and regulatory considerations. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 522–531
4. Arnold, L. E., Lofthouse, N., & Hurt, E. (2012). Artificial food colors and attention deficit/hyperactivity symptoms: Conclusions to dye for. *Neurotherapeutics*, 9(3), 599–609.
5. Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, 354(15), 1601–1613
6. Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Tornqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(17), 4998–5006
7. Bagchi, H.G. Preuss, A. Swaroop. *Nutraceuticals and Functional Foods in Human Health and Disease Prevention*. CRC Press/Taylor & Francis Group. 2016
8. Ammar, M. A., El-Sayed, M. A., & El-Sayed, H. I. (2016). Development of extruded snacks from carrot pomace and apple pomace blends using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4), 587–596
9. Glibowski, P., Kowalski, R., Walkowiak, J., & Ludwiczak, A. (2017). The effect of blueberry pomace addition on the nutritional and sensory properties of extruded snacks made from wheat bran and wheat shorts. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 998–1005.
10. Li, W., Liang, J., Li, Q., Li, H., Zhang, H., Li, L., & Zhang, M. (2019). Optimization of roasting conditions for pumpkin seeds and evaluation of its nutritional and sensory characteristics. *Journal of Food*



Processing and Preservation, 43(11), 142–159.

11. Gualberto, D. G., & Bergman, C. J. (2017). Use of nonfat dry milk and soy protein isolate to enhance nutrition and texture in extruded corn-based snacks. *Journal of food science*, 82(11), 2767–2775.

12. Dreher ML, Davenport AJ. Hass avocado composition and potential health effects. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2013;53(7):738-50.

13. Gibson GR, Hutkins R, Sanders ME, Prescott SL, Reimer RA, Salminen SJ, Scott K, Stanton C, Swanson KS, Cani PD, Verbeke K. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2017 Nov;14(8):491.

14. Hill C, Guarner F, Reid G, Gibson GR, Merenstein DJ, Pot B, Morelli L, Canani RB, Flint HJ, Salminen S, Calder PC. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2014 Aug;11(8):506.

15. Ezeokoli, O. T., & Okafor, G. I. (2018). Quality characteristics of snacks produced from blends of wheat flour and cowpea flour fortified with fruits. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics*, 7(2), 34–42.

16. Zheng, Q., Sun, X., & Han, Z. (2020). Edible coatings based on natural polymers to improve the quality and storability of fruits and vegetables: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(7), 1145–1166.

17. Arancibia, M. Y., Ortiz, J. L., Pérez, O. E., & Rojas, R. (2018). Edible films and coatings based on natural polymers: A review. *Ciência Rural*, 48(3), e20170467

18. Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237-248.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2023 р.

R. Yankovskyi, T. Stepanova
Sumy National Agrarian University

OVERVIEW OF THE SNOW PRODUCTS MARKET AND THE RELEVANCE OF FUNCTIONAL PRODUCT DEVELOPMENT

Summary

Snack products are very popular among Ukrainian consumers. Snacks can not only suppress the feeling of hunger, but also contribute to the supply of valuable nutrients



to the body, thanks to their high nutritional properties. Due to the growing awareness of consumers about the usefulness and harmfulness of foodstuff, the production of functionally enriched snack products is relevant. The development of a functional snack product should be based on the principles of using natural and safe ingredients, preserving the nutritional value and taste properties of the product, informing consumers about the composition and nutritional value of the product.

The use of ingredients capable of increasing the content of complete protein, vitamins, minerals and dietary fibers in the recipe of snack products is an urgent task, especially in times of war, when the need to support the physical and psychological state increases.

Prospects for further work in this direction consists in the need to enrich and expand the range of functional products, since now there is a significant need for biologically active substances, in the period of seasonal avitaminosis and stress caused by the war, as well as products for quickly replenishment of calories during halts of military, or staying in civil shelters. Therefore, the creation of products that will meet these requirements is quite relevant. This can be realized by enriching the snack semi-finished product with functional purpose gels. The replacement of harmful ingredients with useful ones will correspond to the global trend and perspectives in the field of healthy nutrition. Potentially, the gel coating can be made from natural ingredients such as pectin, agar-agar, carrageenan and other plant polysaccharides. These ingredients have hardening properties, which will contribute to the protection and preservation of food products, increase their shelf life and prevent destruction. The gel coating can contain a wide selection of nutrients that will provide the body with a health-improving function. For example, improving the state of the gastrointestinal tract and increasing immunity, eliminating stress, and preventing avitaminosis. [16-18]

Also, the technology is flexible in adding various flavors and aromas by adding natural elements to the gel. At the same time, the gel coating can be designed for different types of snacks, such as chips, cookies, corn sticks, etc.

In conclusion, the development of a functional gel coating for snack semi-finished products is promising because it improves the quality and functional properties of snacks. Moreover, it can help to increase the competitiveness of the product on the market and satisfy the needs of consumers for healthy and tasty food.

Key words: Snack, functional product, healthy food, enrichment of semi-finished products.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-21

УДК 637.54+635.82

М. Ю. Савченко-Перерва, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-8498-3272

С. М. Сабадаш, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0371-8208

О. Ю. Кошель, д.ф.

ORCID: 0000-0002-2184-2106

Сумський національний аграрний університет

e-mail: marina.saw4encko2011@gmail.com тел.: 099-383-43-98

ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СІЧЕНИХ ВИРОБІВ ІЗ ПТИЦІ, ЗБАГАЧЕНИХ НА КУЛЬТИВОВАНУ ГРИБНУ СИРОВИНУ З ВИКОРИСТАННЯМ СУШИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Анотація. В статті здійснено наукове обґрунтування збагачення січеної продукції з м'яса птиці шампінйоном двоспоровим, висушеним у сушарці інфрачервоної дії. На підставі комплексних досліджень окреслено перспективу одержання функціонального продукту з підвищеною харчовою та біологічною цінністю. Проведено дослідження функціонально-технологічних показників та обґрунтовано оптимальний вміст порошку шампінйону двоспорового в рецептурному складі січеної продукції з м'яса птиці. Розроблено технологію січеної продукції з м'яса птиці з використанням порошку шампінйону двоспорового та досліджено органолептичні та функціонально-технологічні показники, харчову та енергетичну цінність, показники безпеки готової продукції.

Ключові слова: інновації, січена продукція, м'ясо птиці, культивовані гриби, *Agaricus bisporus*, сушильне обладнання, функціональні полісахариди, м'ясні гелі, протеїн, харчова цінність.

Постановка проблеми. Інноваційні тенденції збільшення продукції оздоровчого призначення відображають сучасний стан ресторанного господарства [1]. Така продукція позиціонується з акцентом на уникнення використання напівфабрикатів і штучних сумішей. Проте, в сучасних умовах економічної нестабільності, кризових фінансових явищ, особливо пов'язаних із військовими діями в Україні, необхідно чітко усвідомлювати специфіку капітальних вкладень, а також рівень ефективності для підприємств такого типу. Сучасні тенденції в харчуванні людини спрямовані на здоровий спосіб життя. Вони вимагають споживання м'ясних продуктів зі зниженою енергетичною цінністю, а також підвищеною кількістю білка і



наявністю речовин, що покращують травлення та обмін речовин [2].

До такої м'ясної сировини відноситься м'ясо птиці. При виробництві продукції птахівництва можливе використання різноманітної сировини, що покращує функціональні та технологічні властивості готової продукції.

Зв'язок між споживанням м'яса птиці та його впливом на здоров'я людини багатогранний і потребує детального аналізу (таблиця 1). При цьому варто звернути особливу увагу на певні відмінності, які мають різні види м'яса птиці [3].

Таблиця 1

Харчова цінність м'яса птиці, г/100 г

Нутрієнт	М'ясо птиці		
	Курка	Індичка	Перепілка
Вода	74,6	72,5	74,3
Білок	12,1	13,7	13,1
Жир	11,1	11,9	11,0
Вуглеводи	1,2	1,1	1,4
Зола	1,0	0,8	1,1

Як видно з таблиці 1, м'ясо птиці є високоцінною сировиною, завдяки значному вмісту повноцінного білка, що є досить затребуваним у раціоні сучасної людини, особливо в період військових дій та підвищеного рівня стресу, коли виникає гостра потреба в даних нутрієнтах.

Аналіз останніх досліджень. Ґрунтуючись на аналізі літературних фундаментальних джерел, які скеровуються на вирішенні завдань щодо забезпечення надходження корисних інгредієнтів до організму людини, суттєвої уваги заслуговує збагачення січеної продукції з м'яса птиці на високоцінну білкову сировину.

Серед такої – культивована грибна сировина, яка вимагає певної технології обробки з метою максимального збереження харчового потенціалу. У запропонованій технологічній інновації застосування культивованої грибною сировини надасть готовій продукції необхідного спектру фізіологічних властивостей, що передбачаються в розвитку сучасних інновацій. Дані щодо харчової цінності культивованих їстівних грибів наведено в таблиці 2 [4].

Серед різноманіття грибною сировини, яка широко культивується в Україні, особливої уваги заслуговує шампінйон двоспоровий (*Agaricus bisporus*), що є найбільш широко вирощуваним і споживаним грибом у всьому світі, на нього припадає приблизно 40% світового виробництва [5], а також за показниками харчової цінності [6] дозволяє передбачити перспективність використання в технології січених



Таблиця 2

Харчова цінність культивованої грибною сировини

Вид грибною сировини	Білки	Жири	Вуглеводи	Зола
Agaricus bisporous	33,48	3,10	46,17	5,70
Pleurotus ostreatus	30,40	2,20	57,60	9,80
Flammulina velutipes	17,60	1,90	73,10	7,40
Lentinula edodes	32,93	3,73	47,60	5,20

виробів із птиці.

Серед різноманіття грибною сировини, яка широко культивується в Україні, особливої уваги заслуговує шампіньйон двоспоровий (*Agaricus bisporus*), що є найбільш широко вирощуваним і споживаним грибом у всьому світі, на нього припадає приблизно 40% світового виробництва [5], а також за показниками харчовою цінності [6] дозволяє передбачити перспективність використання в технології січених виробів із птиці.

Поряд із високою харчовою цінністю, гриби *Agaricus bisporus* мають і суттєвий лікувальний ефект, що дозволяє віднести їх до нутрицевтиків [7], бо вони володіють антиоксидантною та імуномодельюючою, метаболічною дією [8], мають протизапальну і протиракову активність [9], а також антихолестеринемічну та антиглікемічну дію [10]. Авторами [11] відмічено вплив порошку *Agaricus bisporus* на посилення дозрівання дендритних клітин кісткового мозку. Порошок гриба *Agaricus bisporus* має сприятливу дію на кишечник [12], антимікробну дію [13].

Приймаючи до уваги суттєвий харчовий потенціал, а також нутрицевтичні властивості шампіньйону двоспорового, виникає потреба в особливому способі обробки даного виду грибною сировини з метою максимального збереження корисних компонентів.

Формулювання цілей статті. Визначити органолептичні та функціонально-технологічні показники, харчову та біологічну цінності готовою продукції, а також показники безпеки використання шампіньйону двоспорового у січеній продукції з м'яса птиці.

Основна частина. Шампіньйон двоспоровий висушували на сушильному обладнанні, яке працює на інфрачервоному випромінюванні в лабораторії СНАУ [14]. Це обладнання SH-1 виготовлене із нержавіючої сталі, має 5 полиць для сушіння, пульт керування тощо (рис.1).

Технічні характеристики сушильного обладнання SH-1 представлено в таблиці 3.

Перед сушінням гриби нарізали півкільцями товщиною 2-3 мм, укладали на деко і розташовували в сушильній шафі. Визначили, що



Рисунок 1. Сучасна установка для сушіння SH-1

Таблиця 3

Технічні характеристики сушильного обладнання SH-1

Маса обладнання	70 кг
Габаритні розміри	1200*1250*800мм
Об'єм камери	0,5 м ²
Потужність	3,5 кВт
Макс. температура нагріву	До 80 °С
Час сушіння для яблук	8 год.
Номинальна напруга	220В/50Гц

грибна сировина за 8 год. при температурі 60 °С висушується на 87 % та зберігає свою структуру і поживні речовини (рис.2).



Рисунок 2. Зовнішній вигляд висушених грибів (вигляд зсередини)

Для подальшого використання грибної сировини у якості добавки у січених напівфабрикатах з птиці, її подрібнювали на дисмембраторі та проводили аналіз отриманого порошку.



Аналіз хімічного складу свідчить про значну кількість функціональних складових у порошку шампінйону двоспорового. З метою підбору раціональних інгредієнтних співвідношень та для максимального збереження біологічно активних речовин було проаналізовано зразки січених виробів із птиці в інтервалі внесеної добавки 5...25 %. Було досліджено показники вологозв'язувальної здатності (ВЗЗ) та виходу зразків січених виробів із птиці (рис. 3).

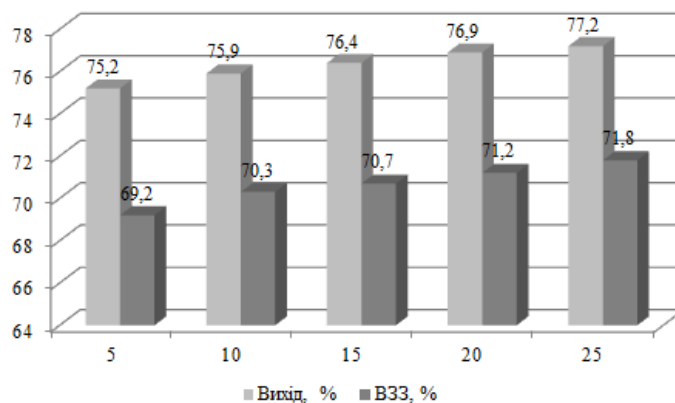


Рисунок 3. Динаміка вологозв'язувальної здатності фаршів та вихід січених виробів із птиці з використанням порошку шампінйону двоспорового

Як видно з рисунку 3, вологозв'язувальна здатність фаршів та вихід січених виробів коливалися залежно від кількості порошку шампінйону двоспорового. Здатність до вологозв'язування у фаршевих системах зростала пропорційно внесенню добавки. Це також корелює зі значеннями виходу зразків січених виробів. Отже, було обрано 15 % порошку шампінйону двоспорового для використання в технології січених виробів із птиці. Рецептурні компоненти січених виробів із птиці здійснюють істотний вплив на утриманні вологи та жиру в системі фаршів для зразків січених виробів. В подальшому це впливає на соковитість та консистенцію готової продукції, що відображається на зростанні показників волого та жиромісту залежно від внесення порошку шампінйону, завдяки вмісту харчових волокон, що мають істотний вплив на досліджувані показники.

Результати органолептичної оцінки зразків січених виробів із птиці наведено на рис. 4.

На підставі аналізу профілограми, при внесенні порошку шампінйону двоспорового в інтервалі 5...25 % колір зразків дещо змінювався, але залишався привабливим. При внесенні 15 % - зразки мали приємний колір та аромат. На підставі проведених досліджень, розроблено рецептурний склад січених виробів із птиці – котлети (за прототип було взято котлети курячі згідно Збірника рецептур страв та

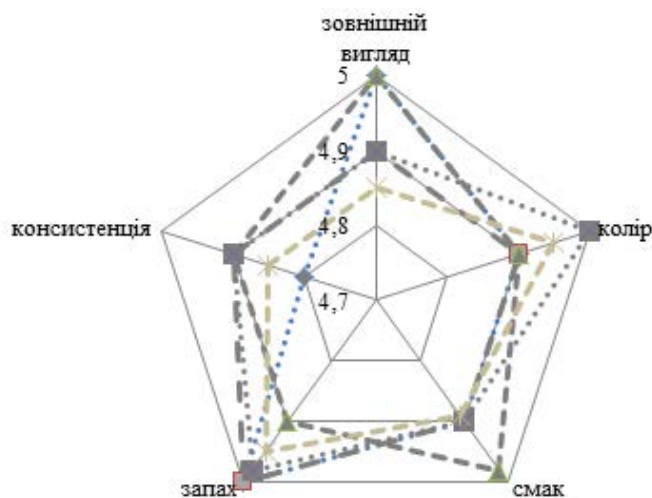


Рисунок 4. Профілограма зразків січених виробів із птиці з використанням порошку шампінйону двоспорового

кулінарних виробів) [15]. Рецептний склад котлет із птиці, з використанням порошку шампінйону двоспорового, наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Рецептурний склад котлет із птиці з використанням порошку шампінйону двоспорового

Сировина	Брутто	Нетто
Філе куряче	80,5	68,5
Порошок шампінйону двоспорового	15,0	15,0
Вершки	5	5
Часник	0,7	0,5
Олія соняшникова	8	8
Маса смажених котлет	-	50
Масло вершкове	5	5
Вихід	-	75

Додавання порошку шампінйону двоспорового до складу котлет із птиці, впливає на показники поживної цінності готової продукції. Показники харчової та енергетичної цінності наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Харчова та енергетична цінність котлет із птиці

Показник	Білки	Жири	Вуглеводи	Калорійність, ккал
Кількість, г/100 г	17,2	15,1	6,2	229,5



Як бачимо з таблиці 5, котлети з птиці мають високі показники харчової цінності завдяки додаванню до рецептурного складу порошку шампінйону двоспорового. Показники безпеки, розробленої продукції, наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Мікробіологічні показники безпеки котлет із птиці з використанням порошку шампінйону двоспорового

Найменування показників	Нормоване значення*	Фактичне значення
Кількість МАФМ, КУО в 1 г, не більше	5×10^4	до 10
БГКП (коліформи), в 0,1 г	не дозволено	не виявлено
Патогенні мікроорганізми, у т. ч. бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 г	не дозволено	не виявлено
Плісеневі гриби та дріжджі, КУО в 1 г, не більше	1×10^2	не виявлено

*ДСТУ 4437:2005

За результатами досліджень, наведених у таблиці 6, котлети із птиці, з використанням порошку шампінйону двоспорового, відповідають вимогам нормативної документації та є цілком безпечними за мікробіологічними показниками.

Висновки. Розроблена продукція має високі органолептичні та функціонально-технологічні показники, підвищену харчову та біологічну цінності готової продукції, а також котлети із птиці, з використанням порошку шампінйону двоспорового, відповідають вимогам нормативної документації та є цілком безпечними за мікробіологічними показниками.

Список використаних джерел

1. П'ятницька Г. Т. Ресторанне господарство України: ринкові трансформації, інноваційний розвиток, структурна переорієнтація: монографія. Київ: КНТЕУ, 2007. 465 с.
2. Daniel C. R., Cross A. J., Koebnick C., Sinha R. Trends in meat consumption in the USA. *Public Health Nutr.*, 2011. Vol.14(5). Pp. 75–83.
3. Soriano-Santos J. Chemical Composition and Nutritional Content of Raw Poultry Meat. *John Wiley & Sons*, 2010. 805 p.
4. Zięba P., Sękara A., Sułkowska-Ziaja K. & Muszyńska B. Culinary and Medicinal Mushrooms: Insight into Growing Technologies. *Acta Mycologica*, 2020. Vol. 55(2). Pp. 1–19.
5. Nan Haijuan, Stepanova T. M., Li Bo, Kondratjuk N. V. Modern achievement of food science in aspects of cultivated mushrooms application



in food technology. *Oldi*, 2022. 102 p.

6. Wani B. A. Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *Journal of medicinal plant research*, 2010. Vol. 4(24). Pp. 2598–2604. DOI:10/5897/JMPR09.565.

7. Basu S. K., Thomas J. E., Acharya S. N. Prospects for Growth in Global Nutraceutical and Functional Food Markets: A Canadian Perspective. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2007. Vol. 1(4). Pp. 637–649.

8. Kozarski M., Klaus A., Niksic M., Jakovljevic D., Helsper, J., Griensven L. Antioxidative and immunomodulating activities of polysaccharide extracts of the medicinal mushrooms *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Ganoderma lucidum* and *Phellinus linteus*. *Food Chemistry*, 2011. Vol. 129(4). Pp. 1667–1675.

9. Chen S, Oh S. R., Phung S., Hur G., Ye J. J., Kwok S. L. Anti-aromatase activity of phytochemicals in white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Cancer Res*, 2006. Vol. 66. Pp. 2026–2034.

10. Jeong S. C., Jeong Y. T., Yang B. K., Islam R., Koyyalamudi S. R., Pang G. White button mushroom (*Agaricus bisporus*) lowers blood glucose and cholesterol levels in diabetic and hypercholesterolemic rats. *Nutr Res*, 2010. Vol.30. Pp. 49–56.

11. Ren Z., Guo Z., Meydani S.N. & Wu D. White button mushroom enhances maturation of bone marrow-derived dendritic cells and their antigen presenting function in mice. *J Nutr*, 2008. Vol. 138. Pp. 544–550.

12. Kawakami S., Araki T., Ohba K., Sasaki K., Kamada T., Shimada K. Comparison of the effect of two types of whole mushroom (*Agaricus bisporus*) powders on intestinal fermentation in rats. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2016. Vol. 80. Pp. 2001–2006.

13. Komura D. L., Carbonero E. R., Gracher A. H., Baggio C. H., Freitas C. S., Marcon R. Structure of *Agaricus* Spp. Fucogalactans and their anti-inflammatory and antinociceptive properties. *Bioresour Technol*, 2010. Vol. 101. Pp. 6192–6199.

14. Сабадаш С. М., Савченко-Перерва М. Ю. Аналіз сучасних способів сушіння рослинної сировини та існуючі конструкції сушильного устаткування. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*, 2017. Вип. 10 (32). С. 131–134.

15. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів. / заг. ред. О. В. Шалимінова. К.: А.С.К., 2016. 655 с.

Стаття надійшла до редакції 17.03.2023 р.



M. Savchenko-Pererva, S. Sabadash, O. Koshel
Sumy National Agrarian University

INCREASING THE QUALITY INDICATORS OF CHOPPED POULTRY PRODUCTS ENRICHED WITH CULTURED MUSHROOM RAW WITH THE USE OF DRYING EQUIPMENT

Summary

The article provides a scientific substantiation of the enrichment of chopped poultry products with double-spored champignon, dried in an infrared dryer in the university laboratory. Based on complex studies, the prospect of obtaining a functional product with increased nutritional and biological value has been determined. The study of functional and technological indicators was carried out and the optimal content of champignon powder in the recipe composition of cut products from poultry meat was substantiated. A technology has been developed for minced poultry meat products using double-spored champignon powder, and organoleptic and functional-technological indicators, nutritional and energy value, and safety indicators of finished products have been studied. It was found that when champignon powder was added in the range of 5 ... 25%, the color of the samples changed somewhat, but remained attractive. When making 15%, the samples had a pleasant color and aroma. It has been substantiated that the prescription components of chopped poultry products have a significant impact on the moisture and fat content in the minced meat system for samples of chopped products. In the future, this affects the juiciness and consistency of the finished product, which is reflected in the growth of wet and fat-containing indicators, depending on the addition of champignon powder, due to the content of dietary fiber, which has a significant impact on the studied indicators. On the basis of the research carried out, the recipe composition of chopped poultry products - cutlets was developed. According to the results of the research, it was determined that poultry cutlets, using double-spored champignon powder, meet the requirements of regulatory documentation and are quite safe in terms of microbiological indicators.

Key words: innovations, chopped products, poultry meat, cultivated mushrooms, *Agaricus bisporus*, drying equipment, functional polysaccharides, meat gels, protein, nutritional value.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-22

УДК 664.9

Н. В. Новікова, к.с.г.н.

ORCID: 0000-0001-5393-688X

К. С. Шумілова

ORCID: 0009-0004-8928-0084

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Тел.: 066-030-41-01

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СУБПРОДУКТОВОГО ПАШТЕТУ

Анотація. У статті описано процес розроблення паштету оздоровчого призначення. У якості функціонального інгредієнту ми пропонуємо вносити до його рецептури овочевий наповнювач – порошки топінамбуру. Він виступає джерелами харчових волокон та пребіотику інуліну, користь яких добре відома. Порошок топінамбуру застосовують для поліпшення обміну речовин при захворюваннях цукровим діабетом, атеросклерозом, ожирінням. У даній роботі, визначена доцільним внесення даного порошку у кількості 10 % що відповідає вимогам, які враховуються при створенні функціональних продуктів харчування.

Використання у рецептурі печінки свинячої та яловичої у кількості 15 % не надасть виробу гіркуватого смаку. Використання 15 % сала надасть паштету необхідної ніжності. Додавання меланжу у співвідношенні 7 % є найбільш оптимальним для забезпечення органолептичних показників паштету. Використання смаженої цибулі не більше 10 % дасть паштету солодкуватого присмаку. Суміш спецій і приправ є оптимальним у використанні 0,1-1,2 %, для забезпечення гарних смакових властивостей.

Ключові слова: паштет, харчові волокна, інгредієнти, топінамбур, харчова цінність.

Постановка проблеми. Актуальним завданням м'ясної і м'ясоконсервної промисловості є збільшення випуску та покращення якості продукції шляхом оптимізації технологічних процесів, виявлення і використання прихованих у них резервів, економії сировинних, енергетичних ресурсів. В асортименті виробів м'ясної промисловості відсутні науково обґрунтовані рецептури консервованих м'ясопродуктів у вигляді паштетів загального призначення, що відповідають фізіологічним нормам здорового харчування. Виробництво функціональних продуктів, до яких можна



віднести і м'ясні паштети, які збагачені різними рослинними та харчовими добавками, можна розглядати як частину штучно створеної людиною технологічної сфери. Ми обрали м'ясний паштет з використанням пастернака замість селери, так як хімічний склад пастернака значно багатіший ніж селери і містить більшу кількість харчових волокон. Також він багатий вітамінами і макроелементами. Таким чином його внесення дає можливість створити новий продукт, функціонально-технологічні властивості якого кращі за аналог і надають новому продукту кращих органолептичних властивостей, що впливає на попит серед споживачів [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. За останні десять років на споживчому ринку продуктів харчування з'явилася велика кількість нових видів м'ясних продуктів. Технологія виробництва їх передбачає використання крім основної м'ясної сировини білковмісних харчових фабрикатів тваринного, мікробіологічного і рослинного походження та харчових добавок вираженого функціонального призначення [5-8].

М'ясо та м'ясомісткі продукти є незамінними компонентами здорового харчування населення. Їх асортимент постійно розширюється як за рахунок нових видів сировинних ресурсів, так і за рахунок пошуку нових способів обробки вторинної та низькосортної сировини (субпродуктів, шкіри, хрящової та кісткової тканини тварин, тощо). Досить полюбилася споживачам продукція з тонкоподрібнених та реструктурованих фаршевих мас, які мають високі органолептичні якості. Забезпечення їх привабливої структури засновано на адгезійно-коагезійній взаємодії білків м'яса, у результаті чого підвищується клейкість і в'язкість мас. Такі продукти мають соковитість, цікаву текстуру і багатогранний смак.

Досить популярними серед м'ясних продуктів є м'ясні консерви. Використовують консерви для приготування перших і других страв, вживають їх також без попередньої кулінарної обробки. Вони зручні в походах і експедиціях. Енергетична цінність консервів вище енергетичної цінності м'яса, оскільки в них немає кісток, сухожиль, хрящів, але на смаку і змісту вітамінів консерви поступаються свіжому м'ясу [10, 12].

Консерви виробляються з охолодженої або розмороженої доспілої яловичини, баранини, свинини, субпродуктов, свіжих доброякісних сосисок, шинки, фаршу і інших продуктів (круп, бобових, харчових топлених жирів, макаронних виробів).

Асортимент м'ясних консервів великий, різноманітний і активно збагачується завдяки використанню нетрадиційної сировини. Основним принципом, яким користуються при визначенні рецептури консервів, є вибір співвідношення і структурної сумісності компонентів, які забезпечують після стерилізації отримання



високоякісних, повноцінних за вмістом харчових інгредієнтів консервів з добрими органолептичними властивостями і стабільністю при зберіганні [3, 4].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є оптимізація технології виробництва паштетів на основі субпродуктової сировини, збалансованих за вітамінним складом з використанням функціонального інгредієнту порошку топінамбуру.

Основна частина. Цільове комбінування рецептурних інгредієнтів забезпечує одержання харчової композиції із заданим хімічним складом. Цей підхід складає основу комплексного використання сировини, основна перевага якого полягає в потенційній можливості взаємного збагачення інгредієнтів, які входять до рецептури за одним чи декількома есенціальними факторами з метою забезпечення найбільш повної відповідності створюваних композицій формулі збалансованого чи адекватного харчування [7, 8].

Промислове виробництво продуктів харчування, у тому числі продуктів здорового харчування, неможливе в даний час без застосування харчових мікроінгредієнтів: харчових і біологічно активних добавок. Розвиток харчової індустрії визначає асортимент, технологію внесення харчових інгредієнтів, а також справляє величезний вплив на прогресивні процеси в технології продуктів харчування.

Згідно з положеннями ДСТУ 4432:2005 «Паштети м'ясні. Технічні умови», м'ясним паштетом називають вироби пастоподібної консистенції з фаршу, виготовленого з вареної або сирової м'ясної сировини з додаванням жиру, запечені в металевій формі або піддані термічній обробці і розфасовані. Норми зазначеного стандарту поширюються на всі м'ясні паштети, за винятком тих, які випускаються у вигляді консервів. Технологія виробництва паштетів передбачає використання багатьох видів сировини тваринного і рослинного походження, що визначає різноманіття застосовуваних способів обробки. Комбінуючи варіння, бланшування, пасерування, обсмажування, гомогенізацію та інші види термічного і механічного впливів, отримують ніжний однорідний продукт пастоподібної консистенції, що відрізняється приємним смаком, запахом і кольором. Співробітниками Технологічного інституту молока та м'яса Академії аграрних наук розроблена «Технологічна інструкція з виробництва паштетів м'ясних до ДСТУ 4432:2005». Вищі сорти паштетів, що випускаються відповідно до зазначеного технічного документу, не передбачають використання як сировини свинячої шкурки, рубця і легень. Сучасній тенденції переважного зростання виробництва харчових продуктів високої і повної кулінарної готовності цілком відповідають різноманітні м'ясні паштети й інші пастоподібні



гомогенізовані вироби з свинини, яловичини, субпродуктів, м'яса птиці – висококалорійні дрібнодисперсні продукти з переважаючим вмістом м'ясної сировини [11].

При розробці рецептур м'ясних субпродуктових паштетів покращеної якості керувались наявністю субпродуктової бази, доступністю і економічною доцільністю використання в якості функціональної добавки порошку топінамбуру у кількості 10 % що відповідає вимогам, які враховуються при створенні функціональних продуктів харчування (10-50 %).

Як основну сировину в рецептурах паштетів використовували печінку свинячу та яловичу (попередньо бланшовану), мізки, серце, сало та меланж.

Використання у рецептурі печінки свинячої та яловичої у кількості 15 % не надасть виробу гіркуватого смаку. Використання 15 % сала надасть пашкету необхідної ніжності. Додавання меланжу у співвідношенні 7 % є найбільш оптимальним для забезпечення органолептичних показників пашкету. Використання смаженої цибулі не більше 10% дасть пашкету солодкуватого присмаку. Суміш спецій і приправ є оптимальним у використанні 0,1-1,2 %, для забезпечення гарних смакових властивостей. Додавання композиції харчових добавок на основі гідроколоїдів і регуляторів кислотності є оптимальним у кількості 0,1-1,0 %. А оптимальне використання солі кухонної досягається у межах 1,0-1,5 %. Додавання на рецептуру бульйону або води повинно складати не менше 15 %, щоб виріб не був занадто сухий, та не більше 45%, щоб виріб не був занадто водянистий.

При складанні рецептур субпродуктових паштетів було витримано вміст сухих речовин та вологи, прийнятних для даної групи кулінарних виробів. Кількість основної сировини введена в рецептуру пашкету, обґрунтована вмістом комплексів вітамінів і обмежена впливом на собівартість готових виробів. Дана сировина збалансовує вироби за амінокислотним складом.

В таблиці 1 наведена рецептура пашкету на основі субпродуктової сировини з додаванням порошку топінамбура.

Таблиця 1

Рецептура функціонального субпродуктового пашкету

Найменування сировини	Масова частка компонентів, у %
Печінка свиняча	15
Печінка яловича	15
Мізки	5
Серце	10
Сало	15



Продовження таблиці 1

Цибуля ріпчаста пасерована	3,5
Сіль кухонна харчова	1,5
Цукор–пісок	0,6
Перець духмяний	0,2
Перець чорний	0,2
Кориця мелена	0,2
Гвоздика мелена	0,2
Мускатний горіх	0,2
Борошно пшеничне	5
Бульйон з кісток	11,4
Меланж	7
Порошок топінамбура	10,0
Всього	100,00

Проведемо розрахунки потреби в інгредієнтах при умові, що за зміну в цех на переробку надійшло 3750 кг основної сировини (печінка свиняча 15%+ печінка яловича 15%+мізки 5%+ серце10%=45%).

Таблиця 2

Розрахунок потреби в інгредієнтах при виробництві субпродуктового паштету функціонального призначення

Назва сировини	Розрахунок інгредієнтів
Вихід готової продукції (паштету)	$(3750 \cdot 100) / 45 = 8333$ (кг)
Печінка свиняча, печінка яловича	$(3750 / 45) \cdot 15 = 1249$ (кг)
Мізки	$(3750 / 45) \cdot 5 = 416,6$ (кг)
Серце	$(3750 / 45) \cdot 10 = 833,3$ (кг)
Сало	$(3750 / 45) \cdot 15 = 1249$ (кг)
Цибуля ріпчаста	$(3750 / 45) \cdot 3,5 = 291$ (кг)
Сіль кухонна харчова	$(3750 / 45) \cdot 1,5 = 125$ (кг)
Цукор-пісок	$(3750 / 45) \cdot 0,6 = 56,25$ (г)
Перець духмяний, перець чорний, кориця мелена, гвоздика мелена, мускатний горіх	$(3750 / 45) \cdot 0,2 = 16,6$ (г)
Борошно пшеничне	$(3750 / 45) \cdot 5 = 416,6$ (кг)
Бульйон з кісток	$(3750 / 45) \cdot 11,4 = 949,9$ (кг)
Меланж	$(3750 / 45) \cdot 7 = 583,3$ (кг)
Порошок топінамбура	$(3750 / 45) \cdot 10 = 833,3$ (кг)
Вихід фасованої продукції:	$8333 / 0,2 = 41665$ (шт)



Вживані при виробництві субпродуктового паштету функціонального призначення паштетів сировина та матеріали повинні бути не нижче 1-го сорту і відповідати вимогам діючих стандартів і технічних умов.

Висновки. Доведено оптимальне співвідношення компонентів у розробленій рецептурі субпродуктових паштетів функціонального призначення. Як основну сировину в рецептурах паштетів використовували печінку свинячу та яловичу (попередньо бланшовану), мізки, серце, сало та меланж, у якості добавки функціонального призначення додавали порошок топінамбуру у кількості 10 % що відповідає вимогам, які враховуються при створенні функціональних продуктів харчування. Як результат, отримані дані свідчать про можливість використання висунутих гіпотез стосовно технологічного процесу даного виду продукції в промисловому технологічному процесі.

Список використаних джерел

1. Андреев В. А., Альохіна Л. В., Мітасева Л. Ф., Пилкова Л. А. Нова документація на м'ясні та м'ясовмісні рубані напівфабрикати і начинки. *М'ясна індустрія*. 2014. № 11. С. 31–33.
2. Болишакова Л. С., Меркулова Л. С. М'ясні рубані напівфабрикати, збагачені йодованими харчовими волокнами. *М'ясні технології*. 2016. №1. С. 46–48.
3. Брикля О. А. Проблеми підвищення якості продукції тваринництва. *Мясная індустрія*. 2007 №12. С. 345–349.
4. Возіанов О. Ф. Харчування та здоров'я населення України. *Журнал Академії медичних наук України*. 2002. №4. С.645–657.
5. Гоноченко А. А. Варіація м'ясної сировини при виробленні м'ясних рублених напівфабрикатів. *Збірник наукових праць*. 2015. № 8. С. 64–66.
6. Горджинец О. В., Калговіч І. В. М'ясні рубані полуфабрикати спеціального призначення для харчування людей, що займаються спортом. *М'ясні технології*. 2013. №8. С. 36–38.
7. ГОСТ 4288-76 Вироби кулінарні та напівфабрикати з рубленого м'яса. Технічні умови. К.: Виробництво стандартів, 2004. 16 с.
8. Дзюндзя О. В. Встановлення впливу порошків із баклажанів на реологічні характеристики напівфабрикату паштетних печінкових мас / О. В. Дзюндзя, В. Г. Бурак, І. О. Ряполова та ін.



Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Т. 4, № 11 (100). С. 56–63.

9. Котляр Є. О. Розробка рецептур м'ясних паштетів з використанням білково-жирових емульсій на основі вітамінізованих купажованих рослинних олій. Науковий Вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. 2017. Т. 19, № 75. С. 89–96.

10. Marcelis P. A. Food Quality Management: Technological and Managerial Principles and Practices. *Wageningen Academic Publishers*. 2013. P. 234

11. Grundy S. M. Trans monoun saturate fatty acids and some cholesterol levels. *Med*. 2017. Vol. 323, № 7. P. 480–481.

12. Zhang Chuman. Antioxidant effect of flavonoids extracted from rosehip seeds on edible oils Zhang Chuman, Ye Lin Wu Xiaojun, Zhan Liti. *ZhongguoyouzhiChinaOilsandFats*. 2010. - Vol. 35, № 1. P. 44–46.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2023 р.

Novikova N.V., Shumilova K.S.
Kherson State Agrarian and Economic University

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL BY-PRODUCT PATE

Summary

The article describes the process of developing a pate for health purposes. As a functional ingredient, we suggest adding a vegetable filler to its recipe - Jerusalem artichoke powder. It is a source of dietary fiber and prebiotic inulin, the benefits of which are well known. Jerusalem artichoke powder is used to improve metabolism in diabetes, atherosclerosis, and obesity. In this work, it is determined that it is appropriate to add this powder in the amount of 10%, which meets the requirements that are taken into account when creating functional food products.

The use of pork and beef liver in the amount of 15% in the recipe will not give the product a bitter taste. The use of 15% lard will give the pate the necessary tenderness. The addition of melange in the ratio of 7% is the most optimal for ensuring the organoleptic parameters of the pate. Using no more than 10% of fried onions will give the pate a sweet taste. A mixture of spices and seasonings is optimal in the use of 0.1-1.2%, to ensure good taste properties.

Adding a composition of food additives based on hydrocolloids and acidity regulators is optimal in the amount of 0.1-1.0%. And the optimal use of table salt is achieved in the range of 1.0-1.5%. The addition of broth or water to the recipe should be at least 15%, so that the product is not too dry, and no more than 45%, so that the product is not too watery

When preparing recipes for by-product pastes, the content of dry substances and moisture, acceptable for this group of culinary products, was maintained. The amount of the main raw material introduced into the pate recipe is justified by the content of vitamin complexes and limited by the effect on the cost price of the finished products. This raw material balances the products in terms of amino acid composition.

Key words: pate, food fibers, ingredients, Jerusalem artichoke, nutritional value.



УДК 664.654

Н. В. Новікова, к.с.г.н.

ORCID: 0000-0001-5393-688X

А. В. Ангелуша

ORCID: 0009-0004-0263-0847

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Тел.: 066-030-41-01

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ БІЛКА

Анотація. У статті на підставі вивчення літературних джерел, щодо хімічного складу шротів кунжуту та плодів волоського горіха визначено перспективу розроблення рецептурного складу та технологічної схеми виробництва печива пісочного з підвищеним вмістом білка. У даній роботі, визначена доцільним заміни пшеничного борошна на 20 % композиції шротів волоського горіха і кунжуту за ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкена. Дослідженнями встановлено, що у шротах кунжуту та ядер волоського горіха міститься 32 та 44 % відповідно білку та значна кількість незамінних амінокислот. Крім того, встановлено, що шроти є цінним джерелом таких біогенних мікроелементів, як кальцій, магній, калій, натрій

Обґрунтовано доцільність введення до рецептури прянощів мускатного горіха, гвоздика і кардамону для поліпшення органолептичних властивостей нового функціонального продукту з підвищеним вмістом білка.

Ключові слова: печиво пісочне, функціональні інгредієнти, шрот кунжуту, шрот плодів волоського горіха, білок, мускатний горіх, гвоздика, кардамон.

Постановка проблеми. З давніх часів відомо, що стан організму людини, його працездатність, опір шкідливим чинникам навколишнього середовища в значній мірі залежать від харчування, тобто надходження до організму необхідних поживних речовин як біологічного та енергетичного матеріалу. Потреба організму в білках, жирах, вуглеводах, макро- та мікроелементах, вітамінах поповнюється за рахунок щоденного споживання людиною певного набору харчових продуктів. Ця потреба залежить від умов праці, способу діяльності, віку людини, стану навколишнього середовища та інших чинників на протязі всього життя людини [1].

На сьогоднішній день в світі спостерігається стійка проблема дефіциту білка в харчуванні. В раціонах харчування рекомендовані



норми білка ґрунтуються, на даних дослідження азотного балансу і рекомендаціях ВООЗ, опублікованих у «Потребах в енергії і білках» [1], з врахуванням того, що із 90% засвоєного білка, який міститься в їжі, лише 70% білка включається до складу тканин організму. Середнє споживання білка тваринного походження в світі згідно статистичним даним, складає 40...43 г/добу, що нижче на 20%, ніж рекомендовано фізіологічними нормами. Результатами досліджень визначено, що на стан здоров'я людини, розвиток організму та зменшення його опору негативним впливам зовнішнього середовища впливає зниження кількості білків в раціоні харчування [2].

Тому, для повноцінного забезпечення людського організму білком важлива увага повинна приділятися білкововмісним продуктам та сировині, що відносяться до незамінних продуктів харчування, які людина споживає протягом всіх періодів життя та особливо в дитячому і похилому віці.

Аналіз останніх досліджень. Білки відіграють важливу роль в організмі людини, адже вони беруть участь в утворенні і відтворенні тканин людського організму, їх не можуть замінити інші корисні речовини, тому що вони виконують будівню функцію в кожній клітині.

Дуже важливим є постачання повноцінних білків разом з їжею, які містять у своєму складі незамінні амінокислоти, які не синтезуються організмом людини, а нестача хоч би однієї, може привести до незворотних процесів, тому фізіологічні норми харчування людини передусім вказують на мінімальну кількість білкових речовин.

Найбільш перспективними у зв'язку з компліментарністю амінокислотного складу порівняно з білками зернових культур є білкові продукти переробки сої. Між рослинними білками та білками тваринного походження білки сої посідають проміжну сходинку, і наближаються до білка коров'ячого молока. Соя є багатим джерелом незамінних амінокислот, насамперед лізину, що зумовлює її високу біологічну цінність [7].

Проведені у виробничих умовах дослідження свідчать про доцільність збагачення хлібобулочних виробів соєвим борошном (3 %) і соєвим борошном (3 %) з β -каротином мікробіологічним в олії кількістю 2 % до маси борошна.

Найбільш вивчені, так звані, клейковинні білки пшениці – гліадін і глютенін, які мають велике значення для виробництва продукції з борошна. За допомогою іонообмінної хроматографії, гельхроматографії, електрофорезу та інших методів гліадинова фракція пшениці розділена на велику кількість компонентів, які умовно об'єднані за зменшенням їхньої електрофоретичної рухливості в кислому середовищі у 4 групи: α -, β -, γ - та ω -гліадіни. Кожна з цих фракцій складається з декількох компонентів, загальна кількість яких у



пшениці складає від 40 до 50.

Додаткове збагачення виробів лімітуючими амінокислотами, насамперед L-лізином є ефективним шляхом забезпечення населення білком. Установлено, що додавання невеликої кількості цієї добавки підвищує харчову цінність неповноцінних рослинних білків до рівня тваринного молочного білка – казеїну [13].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є підвищення поживної цінності пісочного печива за рахунок використання в технології композиції шротів насіння олійних культур

Основна частина. Продукти функціональної спрямованості створюють шляхом раціонального та кількісного підбору основної та допоміжної сировини, внесених харчових добавок на основі принципів комбінаторики харчової продукції, поєднання яких формує бажані органолептичні, мікробіологічні і фізико-хімічні властивості, в тому числі заданий рівень харчової та енергетичної цінності.

У якості функціональних інгредієнтів у нашій розробленій рецептурі ми пропонуємо використання композиції шроту кунжуту та плодів волоського горіха, які характеризуються високим вмістом білка, та завдяки своїй високій біологічній цінності, легкому засвоюванню та функціональним властивостям широко використовуються у виробництві продуктів профілактичного та дієтичного призначення [21].

Хімічний склад шротів дослідних культур наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад шротів кунжуту та волоського горіха

Найменування шроту	Вміст у шроті, %			Вміст незамінних амінокислот, мг%
	Сирий жир	Сирий протеїн	Сира клітковина	
Шрот кунжуту	2,07±0,35	32,17±3,48	13,31±0,48	14,14
Шрот ядер волоського горіха	2,22±0,24	44,60±3,24	5,36±0,57	19,12

З даних, наведених у таблиці 1, видно, що у шротах кунжуту та ядер волоського горіха міститься 32 та 44 % відповідно білку та значна кількість незамінних амінокислот. Крім того, встановлено, що шроти є цінним джерелом таких біогенних мікроелементів, як кальцій, магній, калій, натрій (Табл.2.)



Таблиця 2

Вміст макроелементів у шроті

Найменування шроту	Вміст у шроті, %				
	Ca	P	Mg	K	Na
Шрот кунжуту	0,445±0,08	0,755±0,03	0,485±0,02	1,320±0,10	0,091±0,05
Шрот ядер волоського горіха	0,363±0,3	0,983±0,01	0,270±0,01	1,051±0,11	0,207±0,02

У складі кунжутного шроту міститься велика кількість мікроелементів, таких як, кобальт, залізо, мідь, цинк, фосфор, сірка які забезпечують оптимальний процес кровотворення і беруть участь у нормалізації ліпідного обміну речовин в організмі людини. Не менш важливими для повноцінного функціонування організму є наявність у кунжутному шроті вітамінів, пектину, лігніну, фосфоліпідів, протопектинів, фітостеринів та флавоноїдів.

Шрот волоського горіха у своєму хімічному складі містить одну з найцінніших для організму речовин - лецитин, який необхідний для регенерації клітин. Враховуючи, те що у його складі є достатньо велика кількість вітамінів, каротину, мінеральних речовин, поліненасичених жирних кислот, фітостеринів, аскорбінової кислоти, робить його цінним продуктом харчування людини.

Шроти даних культур завдяки вмісту у своєму складі значної кількості поживних речовин використовуються як інноваційні збагачувачі основного раціону людини, так і для створення нової нетрадиційної харчової продукції, та являються перспективним джерелом цінних нутрієнтів.

У даній роботі для приготування печива пісочного розглядається додавання до печива пісочного – шротів волоського горіха і кунжуту. Слід відмітити, що є досить доцільним у класичній рецептурі провести заміну пшеничного борошна на 20 % композиції шротів волоського горіха і кунжуту визначену ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкена. Вони більш звичні для сприйняття українськими споживачами, а також відносяться до відносно низької цінової категорії, що є не менш важливим при виборі заміників класичної сировини (Табл.3.).



Таблиця 3

Рецептурний склад печива пісочного з додаванням шротів кунжуту та плодів горіха волоського

Найменування сировини	Норма витрат на 1000 г	
	г	%
Борошно	478	47,8
Цукор	128	12,8
Масло вершкове	130	13,0
Меланж	38	3,8
Сіль	5	0,5
Амоній	0,6	0,06
Вершки	14	1,4
Мускатний горіх	2,1	0,21
Гвоздика	2,1	0,21
Кардамон	2,2	0,22
Шрот кунжуту	50	5
Шрот ядер волоського горіха	150	15
Разом сировини	1000	100
Вихід готової продукції	875	87,5

Додані у якості прянощі до рецептури печива пісочного мускатного горіха, гвоздики та кардамону підвищує вітамінний і мінеральний склад готових виробів.

Речовини у складі мускатного горіху сприяють забезпеченню нормальної життєдіяльності організму та проявляють стійкий терапевтичний ефект. Мускатний горіх чинить позитивну дію при безсонні, нервовій збудливості, захворюваннях серцево-судинної системи. Також він характеризується високим вмістом вітамінів А, В і С, мінералів, такі як магній, фосфор, залізо і калій. Цей продукт має високу поживну цінність, та є просто джерелом корисних для здоров'я властивостей.

Висновки.

1) В результаті органолептичних, технологічних досліджень було становлено, що до складу розроблених рецептур нового виду печива з підвищеним вмістом білка доцільно вводити шрот кунжуту та плодів горіха волоського.

2) Доведена доцільність заміни пшеничного борошна на 20 % композиції шротів волоського горіха і кунжуту визначену ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкена.



Список використаних джерел

1. Бачинська Я. О., Непочатих Т. А., Бородай Д. В. Шляхи підвищення біологічної цінності кондитерських виробів та вдосконалення технології виробництва печива з використанням шротів. *Зернові продукти і комбікорми*. 2013. № 3. С. 27–30.
2. Давидович О. Я., Лозова Т. М. Нетрадиційні види борошна у кондитерському виробництві. *Товарознавство та інновації*. 2011. № 3. С. 229–234.
3. Давидович О. Я., Палько Н. С. Нетрадиційні види олій у виробництві борошняних кондитерських виробів. *Продукты & ингредиенты*. 2012. № 3. С. 8–9.
4. Донцул А., Однолько, В. Аналіз ринку кондитерських виробів України: проблеми та перспективи розвитку. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*. 2018. №5. С. 67–84.
5. Дорохович В. В. Інноваційні технології борошняних кондитерських виробів зі зниженою калорійністю. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*, 4, 86–94. 2017.
6. Дробот В. І. Поговоримо ще раз про харчові добавки та їх функціональну роль в технологічному процесі. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*, 3, 62–80. 2018.
7. Marcelis P. A. Food Quality Management: Technological and Managerial Principles and Practices. *Wageningen Academic Publishers*. 2013. P. 234.
8. Richard, M. D. McPerson, R. Matthew, M. D. Pincus. Henry's Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods. Commended, Basic and Clinical Sciences, BMA Awards, 2006. 1472 p.
9. Grundy S. M. Trans monounsaturated fatty acids and some cholesterol levels. *Med*. 2017. Vol. 323, № 7. P. 480–481.
10. Finley J. W. The nexus of food, energy, and water. *Agric Food Chem*. 2014. Vol. 62, № 27.
11. Zhang Chuman. Antioxidant effect of flavonoids extracted from rosehip seeds on edible oils. Zhang Chuman, Ye Lin Wu Xiaojun, Zhang Liti. *Zhongguo youzhi China Oils and Fats*. 2010. Vol. 35, № 1. P. 44–46.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2023 р.



N. V. Novikova, A. V. Angelusha
Kherson State Agrarian and Economic University

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGY OF CONFECTIONERY PRODUCTS WITH INCREASED PROTEIN CONTENT

Summary

In the work, based on the study of literary sources, regarding the chemical composition of sesame meal and walnut fruits, the prospect of developing a recipe composition and technological scheme for the production of shortbread cookies with an increased protein content is determined. In this work, it is determined that it is expedient to replace wheat flour with 20% of the composition of walnut and sesame meal according to the orthogonal symmetric Box-Behnken plan.

Research has shown that sesame meal and walnut kernels contain 32 and 44% protein, respectively, and a significant amount of essential amino acids. In addition, it has been established that meal is a valuable source of such biogenic trace elements as calcium, magnesium, potassium, and sodium.

Sesame meal contains a significant amount of organic salts of potassium, cobalt, iron, copper, zinc, phosphorus, sulfur, that is, trace elements that are necessary for normal blood formation and normalization of lipid metabolism; proteins with a balanced amino acid composition, water-soluble vitamins and fiber are present. It also contains lignin, pectins, protopectins, phytosterols, phospholipids, flavonoids, and vitamins.

Technochemical control of the production of shortbread is mainly related to the consistency of the dough and its spreading during baking (from the point of view of technology), as well as taste and aroma from the point of view of consumer properties.

Walnut meal contains a significant amount of polyunsaturated fatty acids, vitamins and minerals. In addition, its composition includes ascorbic acid, carotene, phytosterols. 70% of walnut meal is lecithin - one of the most valuable substances for the body, which is necessary for the renewal of damaged cells. Due to the content of such a large number of nutrients, the meal of these crops is a promising source of valuable nutrients and is used both as a functional food enhancer and for the creation of new non-traditional food products.

The expediency of adding nutmeg, clove and cardamom spices to the recipe to improve the organoleptic properties of a new functional product with increased protein content is substantiated.

Key words: shortbread, functional ingredients, sesame meal, walnut fruit meal, protein, nutmeg, clove, cardamom.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-25

УДК 663.26

О. І. Мамай, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-2591-8059

Т. О. Кузьміна, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6113-1923

Т. О. Яковенко, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-1616-8997

О. В. Стоянова, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7266-6245

К. В. Зубкова, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-8672-0855

Херсонський національний технічний університет

e-mail: kntuxt@gmail.com, тел.: 095-202-10-66

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ВИНОРОБСТВА

Анотація. Розроблена технологія комплексної ресурсозберігаючої переробки відходів виноробства – дріжджових осадів. Запропонована апаратурно-технологічна схема безвідходної переробки, що передбачає виробництво харчових дієтичних добавок, спирту виноградного походження, сполук винної кислоти, білкового корму із автолізованих дріжджових осадів. Проведено дослідження фізико-хімічного складу отриманих харчових дієтичних добавок, зокрема, вмісту вітамінів групи В, амінокислот, мінеральних елементів.

Ключові слова: осад винних дріжджів, технологія комплексної безвідходної переробки, автоліз, вітаміни, амінокислоти, мінеральні елементи, харчова дієтична добавка, спирт виноградного походження, сполуки винної кислоти, білковий корм.

Постановка проблеми. Проблема повного і раціонального використання вторинних матеріальних ресурсів харчової промисловості існує в усіх країнах, де ця галузь достатньо розвинена. Цій проблемі постійно приділяється увага науковців, пропонуються різні підходи для максимального використання або залучення до виробничого циклу вторинних матеріальних ресурсів, а отже, мінімізації відходів та запобіганню їх утворення. Крім того, попит на натуральні інгредієнти змушує виробників шукати дешеві та прості технології переробки сировини [1, 2].

В Україні проблемі утилізації вторинної сировини виноробства не приділяють належної уваги. Традиційні вітчизняні технології переробки вторинної сировини були розроблені ще за радянських часів і зараз є технологічно, економічно та екологічно неефективними. Незважаючи на незаперечну цінність і значущість обсягів вторинної



сировини виноробства в Україні відсутні спеціалізовані підприємства з її комплексної переробки. Зокрема, необроблені виноградні вичавки в більшості випадків безконтрольно вивозяться на сільськогосподарські угіддя, що призводить до кислотної ерозії ґрунту, забрудненню навколишнього середовища метаболітами мікроміцетів та загострює одну з глобальних проблем людства – екологічну. Відсутній порівняльний аналіз інноваційних вітчизняних і зарубіжних технологій і обладнання для переробки вторинної сировини виноробства.

На даний момент існує низка наукових розробок щодо отримання цінних продуктів із вторинної виноробної сировини, але вони не можуть бути впроваджені, оскільки немає необхідного обладнання вітчизняного виробництва, а імпортне обладнання коштує занадто дорого. Іншим стримуючим фактором є слабка взаємодія між виноробнями, науковими установами, бізнес-структурами та адміністративною владою. Переробка вторинної сировини виноробства на продукцію з високою біологічною та споживчою цінністю є важливою науково-практичною проблемою. Ефективним її рішенням є впровадження безвідходних технологій, що розглядається як стратегічний напрямок раціонального використання обмежених сировинних ресурсів та охорони навколишнього середовища [1].

В результаті переробки винограду або плодово-ягідної сировини на вино чи безалкогольну продукцію залишається значна кількість вторинних продуктів, наприклад, в середньому на 100 кг винограду залишається 3,5 кг гребнів, 10 кг солодких вичавків (після пресування винограду), 13 кг вичавків після бродіння м'язги, 3 кг насіння, що створює серйозні проблеми у відношенні екології [3]. Водночас вторинна виноробна сировина залишається багатою на біологічно активні сполуки (фенольні, азотисті речовини, цукри, кислоти, мінерали, ліпіди та ін.). Тому науковці працюють над розробкою нових та вдосконаленням існуючих технологій переробки відходів виноробства як вторинної сировини для отримання корисних препаратів, зокрема лікарських та біологічно активних речовин у фармацевтичній [2, 4-7], косметичній [4, 5, 7] або харчовій промисловості [2, 4-7] для підвищення фізіологічної цінності та поживних характеристик); у сільськогосподарському виробництві для обробки ґрунтів [5, 8] та добавок до комбікормів [4, 5]; для отримання спирту [10, 11], біогазу [5, 8, 9] тощо.

Отже, впровадження у виробництво нових технологій комплексної переробки вторинних ресурсів виноробства, є актуальним та дозволить підприємствам здійснювати беззбиткову переробку сировини з максимальною механізацією технологічних процесів з отриманням як нових, так і традиційних продуктів з покращеними властивостями.

Аналіз останніх досліджень. Винний осад – це шламований



матеріал, який в основному складається з мертвих дріжджів, що осідають на дні резервуарів. Поряд з виноградними вичавками і плодоніжками він є одним з основних побічних продуктів виноробної промисловості. Враховуючи, що винний дріжджовий осад вважається забруднювачем ґрунту, його утилізація є витратною для виноробних підприємств [10]. Крім дріжджових клітин винний осад містить спирт, солі винної кислоти, мінеральні речовини, полісахариди (пектинові речовини, камеді, слиз), фенольні сполуки, білки, продукти їхньої взаємодії, ліпіди, фосфати, сульфати й інші речовини. З дріжджових осадів одержують спирт, виннокислотну сировину, кормові білки, енантовий ефір [10, 12].

Враховуючи харчову цінність складу винного дріжджового осаду виробники харчової продукції частіше застосовують у якості харчових добавок дріжджові автолізати й екстракти. Відповідно до регламенту Європейської ради № 1334/2008 [13] дріжджовий екстракт як смакоароматична добавка може маркуватися терміном «натуральний».

Проведені раніше дослідження [14, 15] показали, що автолізат дріжджів із сухих виноматеріалів містить багато цінних біологічно активних речовин: широкий спектр вітамінів групи В, амінокислоти (лізин, аргінін, аспарагін, треонін, глутамін, пролін та ін.), мінеральні елементи (калій, кальцій, магній, натрій, фосфор, цинк та ін.). Проведені дослідження показали доцільність виробництва двох форм випуску готового продукту: у вигляді рідкого харчового концентрату, а також висушеного порошкового продукту. В першому випадку концентрат отримують шляхом вакуум-випарювання очищеного автолізованого продукту при температурах, що забезпечують збереження вітамінів [16]. В другому випадку з концентрату отримують висушений продукт, з використанням розпилювальних сушарок [17].

Комплекси харчових речовин, що отримують з осадів винних дріжджів у вигляді харчового концентрату, або у висушеному вигляді є перспективними біологічно-активними дієтичними добавками для забезпечення повноцінного харчування людей [18].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета даної роботи – розробка технології комплексної безвідходної переробки винних дріжджів для виробництва харчового концентрату, спирту винного походження, сполук винної кислоти, а також білкового корму для тварин.

Основна частина. Дріжджові осади для досліджень відбиралися із столових сухих виноматеріалів сортів винограду Ркацителі, Аліготе, Біанка.

Фізико-хімічні показники дріжджів і продукту автолізу визначалися за сучасними методиками, що прийняті у виробництві



[19]. Вміст сухих речовин визначали висушуванням (ДСТУ 7804:2015), загальну кислотність – титрометричним методом, відносну густина визначали пікнометричним методом (ДСТУ 4112.1-2002), вітаміни групи В – спектрофотометричним способом, амінокислоти – хроматографічним методом, загальну золу – атомним емісійним спектральним методом.

В результаті проведених досліджень [14, 15] була розроблена технологічна схема комплексної безвідходної переробки винних дріжджів.

З метою комплексної переробки відходів виробництва вина, а саме, винних дріжджів, розроблена апаратурно-технологічна схема (рис. 1). Згідно зі схемою, передбачається безвідходна переробка винних дріжджів, отриманих у вигляді спресованої маси із фільтр-пресів, або згущених винних осадів після відстою, з отриманням таких продуктів: спирт винний, солі винної кислоти, харчовий концентрат, білкова кормова добавка.

У таблиці 1 приведені фізико-хімічні показники амінокислотно-вітамінного концентрату.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники амінокислотно-вітамінного концентрату

Найменування показників	Одиниці вимірювання	Значення
Вміст сухих речовин	%	51,66
Загальна кислотність	%	5,70
Відносна густина	г/см ³	1,2197
Мінеральні елементи	%	2,69
Вітаміни групи В (В ₁ , В ₃ , В ₅ (PP), В ₆ , В ₇ , В ₈ , В ₁₂)	г/дм ³	5,824
Амінокислоти	г/дм ³	49,527

Апаратурно-технологічна схема (рис. 1) безвідходної переробки винних дріжджів з виробництвом спирту винного, солей винної кислоти, харчового концентрату, білкової кормової добавки складається з наступних вузлів і устаткування.

Збірник змішування 1 представляє апарат з перемішуючим пристроєм. У якості перемішуючого пристрою доцільно використання пропелерних мішалок. У верхні завантажувальні пристрої апарату подають спресовані винні дріжджі або згущені осаді після відстоювання.

Також до верхньої частини підключений трубопровід подачі води для розведення. До нижньої частини збірника через кран підключений

насос дріжджової суспензії 2.

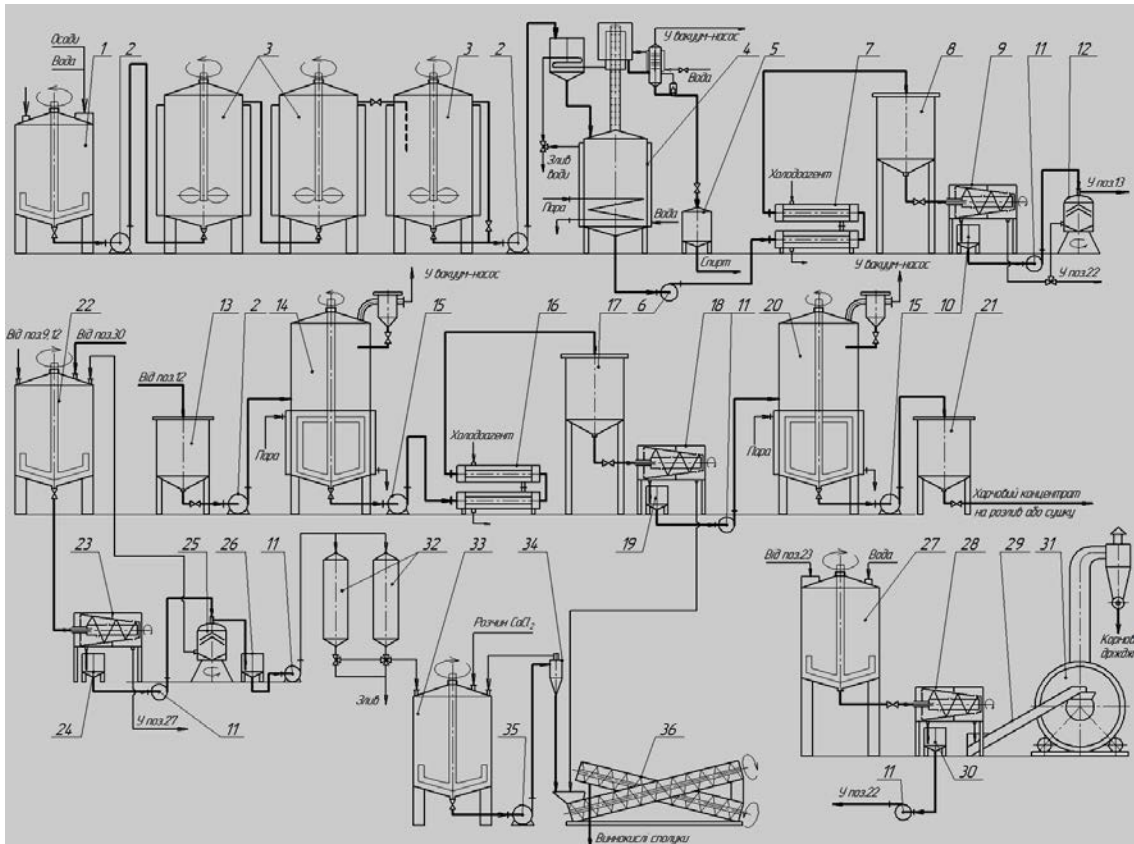


Рисунок 1. Схема комплексної переробки дріжджових осадів

Батарея реакторів 3, у яку подається дріжджова суспензія, призначена для проведення автолізу дріжджів. Батарея обладнана відповідною арматурою і трубопроводами. Реактори батареї обладнані перемішувачами, теплообмінними сорочками, автоматизованою системою регулювання температури і витрати суспензії. Реактори з'єднані один з одним послідовно таким чином, що дріжджова суспензія подається у нижню частину реактора, а відведення – з верхньої частини реактора. У всіх реакторах, за винятком останнього підтримується температура 48 °С. В останньому реакторі підтримується температура в межах 65 – 70 °С. Після проведення процесу автолізу, суспензія подається на вакуум-перегонку.

Вакуум-перегонна установка 4 призначена для відгонки під вакуумом спирту з дріжджової суспензії, що пройшла автоліз. Конструкція установки [11] пристосована для роботи під вакуумом. Отриманий спирт надходить у вакуум-збірник 5.

До зливного патрубку куба установки 4 підключений насос 6 для перекачування дріжджової суспензії на охолодження до низьких температур у теплообміннику безпосереднього охолодження 7. Охолоджену дріжджову суспензію подають у напірний збірник 8,



обладнаний перемішуючим пристроєм і арматурою плавної подачі суспензії на відцентрову декантацію.

Декантер 9 призначений для розділення дріжджової суспензії. Декантер обладнаний конічним збірником декантату 10 з насосом 11, а також транспортними засобами для передачі згущеного осаду на наступні операції.

Тарілчастий сепаратор 12 слугує для більш тонкого освітлення декантату, отриманого у декантері 9. Сепаратор зв'язаний трубопроводами з насосом 11, збірником освітленої частини автолізваної дріжджової суспензії 13, а також з транспортною лінією декантера 9, або транспортером для повернення згущеного осаду в збірник 22.

Збірник 13 освітленої частини суспензії, що пройшла автоліз сполучається трубопровідною арматурою з вакуум-випарним апаратом першого ступеня 14. Для відбору частково концентрованого продукту автолізу з вакуум-випарного апарату 14 використовується насос 15, що подає продукт автолізу на охолодження у теплообміннику 16. Від охолодженого продукту автолізу відділяють згущений осад у декантері 18, а декантат з нього передається у вакуум-апарат другого ступеня 20.

Для відкачки отриманого харчового концентрату використовується насос 15, що направляє концентрат у напірний збірник 21. В залежності від форми випуску готового продукту, концентрат направляють на розлив, як готовий продукт, або на сушку, для отримання розчинної порошкової форми продукту.

Ділянка отримання сполук винної кислоти і кормових дріжджів зі згущених осадів дріжджової суспензії складається з наступного устаткування.

Збірник-розріджувач 22 зв'язаний зливним трубопроводом з декантером 23, який обладнано збірником декантату 24 з насосом 11, що подає декантат у тарілчастий сепаратор 25. Освітлений розчин виннокислих сполук подається в збірник 26 з насосом 11, звідки подається в іонообмінну установку 32. Транспортна лінія вивантаження осаду з декантера 23 зв'язана зі збірником змішування другого ступеня 27, в якому проводиться розведення відпрацьованих дріжджових осадів водою. Збірник-змішувач 27 також є напірним збірником декантера 28, обладнаного транспортером осаду 29 і збірником декантату 30 з насосом 11. Для отримання кормових дріжджів рекомендується використовувати розпилувальну сушарку 31.

Освітлений розчин виннокислих сполук зі збірника 26 декантера 25 подається в іонообмінну установку 32.

Реактор-декантатор 33 призначений для осадження сполук винної кислоти і обладнаний насосом суспензії сполук винної кислоти 35 і



гідроциклоном [20] для відділення осадів 34.

Сушіння сполук винної кислоти проводиться у шнековій сушарці 36.

Процес комплексної переробки дріжджових осадів проводиться згідно апаратурно-технологічній схемі (рис. 1).

Дріжджові осадки від сухих виноматеріалів у рідкому виді подаються в збірник змішування 1, де проводиться розведення водою, або відпрацьованим розчином сполук винної кислоти до вмісту сухих речовин 8 – 10 % мас. при температурі 20 – 30 °С. Для забезпечення безперервної роботи збірників-змішувачів повинно бути не менше двох.

Насосом 2 здійснюється безперервна подача суспензії дріжджових осадів у батарею реакторів-автолізаторів 3, де при температурі 48 – 50 °С проходить автоліз клітин дріжджів і отримання суспензії з продуктами автолізу дріжджів. Цей процес проходить протягом 3 – 5 діб. Наприкінці автолізу в останньому реакторі-автолізаторі при температурі 70 °С відбувається інактивація ферментів. Процес автолізу має проводитись при ретельному перемішуванні в герметично закритих реакторах. З реакторів-автолізаторів суспензія, що містить спирт подається насосом 2 у вакуум-перегінну установку 4, що працює під вакуумом 300 – 400 мм ртутного стовпчика і температурі 70 – 80 °С.

Спирт-сирець концентрацією 60 – 80 % об. отримують з дріжджової суспензії, що пройшла автоліз. Суспензія подається у вакуум-перегінну установку 4. Отриманий в процесі перегонки спирт-сирець подається у вакуум-збірники 5. Після проведення перегонки барда суспензії дріжджових осадів охолоджується в кубі установки 4 через теплообмінну сорочку і через зливний патрубок куб, з'єднаного з атмосферою насосом 6 дріжджова барда подається в установку безпосереднього охолодження 7, де проводиться охолодження барди (дріжджової суспензії) до низьких температур $0 \div (-2)$ °С.

Охолоджена дріжджова суспензія з продуктами автолізу подається у напірний збірник 8 декантера 9. У відцентровому декантері 9 зі шнековим вивантаженням осаду проводиться відділення твердої частини автолізованої дріжджової суспензії від рідини. Частково освітлена рідина зі збірника 10 насосом 11 подається на подальше освітлення в тарілчастому сепараторі з автоматичним вивантаженням 12. Осад, що містить білкові речовини і сполуки винної кислоти від декантера 9 і сепаратора 12 подається у збірник-розріджувач 22.

Освітлений розчин продуктів автолізу від сепаратора 12 надходить у збірник 13, з якого подається у вакуум-апарат першого ступеня 14. Перед надходженням у вакуум-апарат автолізат може бути підігрітий автолізатом дріжджів, що виходять з апарату на теплообмінник (на схемі не показано).



Концентрований до 20 – 25 % сухих речовин автолізат з вакуум-апарату 14 подається насосом 15 в теплообмінник безпосереднього охолодження 16, де охолоджується до $0 \div (-2) ^\circ\text{C}$. Охолоджений, частково концентрований автолізат надходить у напірний збірник 17, звідки подається на освітлення у декантері 18, осад з якого транспортується в сушарку 36, а декантат зі збірника 19 насосом 11 подається у вакуум-випарний апарат другого ступеня 20, де остаточно концентрується до 45 – 50 % сухих речовин.

Концентрований вітамінно-амінокислотний харчовий концентрат насосом 15 подається в напірний збірник 21, звідки подається на розлив у якості готового продукту, або на сушку для отримання порошкового продукту автолізу дріжджів. Харчовий концентрат розливається при температурі 50 – 65 °C в спеціальну тару. Осади від декантеру 9 і сепаратору 12 надходять у збірник-розріджувач 22, де розбавляються до консистенції 3 – 10 % сухих речовин декантатом, що надходить з декантеру 28 зі збірника 30 і перекачується насосом 11. Ретельно перемішана суспензія подається у декантер першого ступеня 23, з якого декантат надходить у збірник 24 і насосом 11 подається у тарілчастий сепаратор 25 для тонкого освітлення. Освітлений розчин виннокислих сполук подається у збірник 26, звідки насосом 11 подається в іонообмінну установку 32. Осад із сепаратора 25 повертається в збірник 22, а з декантера 23 транспортною системою першого ступеня в збірник змішування другого ступеня 27. У збірнику змішування осади розбавляються водою до консистенції 5 – 10 % сухих речовин. Після ретельного перемішування суспензія осадів другого ступеня промивання надходить у декантер 28, де осад відокремлюється і подається транспортером 29 в сушарку 31 для виробництва білкового корму, а декантат за допомогою насоса 11 зі збірника 30 другого ступеня повертається в збірник-розріджувач першого ступеня 22.

Освітлений розчин виннокислих сполук зі збірника 26 насосом 11 подається в іонообмінну установку 32, де проходить іонообмінна сорбція солей винної кислоти. Відпрацьований розчин використовується для розведення дріжджових осадів у збірнику-змішувачі 1 осадів або в другому ступені промивання в збірнику розріджувачі 27. Елюат, отриманий у результаті десорбції аніонітових смол іонообмінної установки подається в реактор-декантатор 33 де відбувається осадження виннокислих сполук розчином хлористого кальцію. Насосом 35 суспензія виннокислих сполук подається в гідроциклон 34, де відокремлюються виннокислі сполуки, що піддаються сушці в шнековій сушарці 36.

Висновки. Використання запропонованого способу комплексної безвідходної переробки відходів виноробства – дріжджових осадів, окрім традиційних продуктів: спирту-сирцю, сполук винної кислоти і



білкового корму, дає можливість виробництва дієтичних харчових добавок.

На підставі проведених досліджень складу амінокислотно-вітамінного концентрату можна зробити висновки, що він є перспективним лікувальним продуктом харчування і може бути використаний як добавка в харчових продуктах для збагачення їх амінокислотами, вітамінами, мінеральними речовинами тощо.

Запропонована комплексна технологія переробки відходів первинного виноробства дає можливість максимально використовувати вторинні матеріальні ресурси, а отже, мінімізувати відходи та запобігти їх утворенню, що покращить екологічний стан навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. The current state and trends of processing secondary raw materials of winemaking in Ukraine / Osipova L. et al. *Food science and technology*. 2021. Vol. 15, Issue 2. P. 50–60 DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i2.2031>.

2. Souza da Costa B., Soldevilla Muro G., Oliván García M., Motilva M.-J. Winemaking by-products as a source of phenolic compounds: Comparative study of dehydration processes. *LWT – Food Science and Technology*, 165 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113774>.

3. Семенова О. І., Жилик А. В. Використання твердих відходів виноробства як вторинної сировини для отримання нового продукту. *Materials of the XI international scientific and practical conference “Science and civilization – 2015”*, 30 January – 07 February, 2015. Sheffield: Science and Education LTD, 2015. Volume 22. P. 23–25.

4. Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review / Beres C. et al. *Waste Management*, 68 (2017), pp. 581–594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.017>.

5. Duca G., Gonța M., Mereuța A. Processing and Valorization of Secondary Winery Products. In: Bahadir, A.M., Duca, G. (eds) *The Role of Ecological Chemistry in Pollution Research and Sustainable Development. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Springer, Dordrecht. (2009). DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-2903-4_21.

6. Збаржевський О. В., Саєнко Т. В. Перспективи використання відходів виноробної галузі як джерела важливої вторинної сировини. *Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія екологія*. 2016. Вип. 1. С. 62–68.

7. Natural Bioactive Compounds from Winery By-Products as Health Promoters: A Review / Teixeira A. et al. *Int. J. Mol. Sci.* 2014, 15, 15638–15678. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms150915638>.



8. Evaluation of Anaerobic Digestion of Verdejo Lees from an Ecological Crop / Hungría J. et al. *Waste Biomass Valor* 11, 6781–6791 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00922-4>.

9. Крусир Г. В., Соколова И. Ф. Перспективы использования дрожжевых осадков винодельческих предприятий. *Экологическая безопасность*. 2013. №. 16. С. 111–114.

10. De Iseppi A., Lomolino G., Marangon M., Curioni A. Current and future strategies for wine yeast lees valorization. *Food Research International*, 137 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109352>.

11. Виноградов В. А., Ковалевский К. А., Шанин О. Д. Вакуум-перегонная установка для получения этилового спирта. *Виноградарство и виноделие «Магарач»*. Ялта, 2013. №1. С.37–38.

12. Zacharof M.P. Grape Winery Waste as Feedstock for Bioconversions: Applying the Biorefinery Concept. *Waste Biomass Valor* 8, 1011–1025 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9674-2>.

13. Регламент ЕС № 1334/2008. International Center for Quality Certification. (Дата звернення 6 липня 2016). URL: <http://www.icqc.eu/userfiles/File/1334-2008-EC.pdf>.

14. Ковалевський К. А., Мамай О. І., Валько М. І., Кузьміна Т. О. Дослідження автолізу винних дріжджів. *Праці ТДАТУ*, 2021, вип. 21., т. 1, С. 217–228. DOI: 10.31388/2078-0877-2021-21-1-217-228.

15. Мамай О. І., Ковалевський К. А., Валько М. І., Кузьміна Т. О. Дослідження способів отримання і хімічного складу біологічно активних харчових добавок із вторинної сировини виноробства. *Праці ТДАТУ*, 2021, вип. 21., т. 1. С. 244–253. DOI: 10.31388/2078-0877-2021-21-1-244-253.

16. Yeast cell disruption strategies for recovery of intracellular bioactive compounds – A review / Liu D. et al. *Innovative food science & emerging technologies*, (2016). 36, 181–192.

17. Spray Drying as a Method of Choice for Obtaining High Quality Products from Food Wastes – A Review / Banožić M. et al., Published online: 16 Jun 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1938601>.

18. Yeast Extracts: Production, Properties and Application / Teimouri I. et al. Conference: 6th National Conference On Strategic Research in Chemistry And Chemical Engineering With An Emphasis On Indigenous Technology In Iran. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/343682745_Yeast_Extracts_Production_Properties_and_Application/link/5f38d81092851cd302fa9959/download.

19. Методы теххимического контроля в виноделии / Под ред. В. Г. Гержиковой. 2-е изд. Симферополь: Таврида, 2009. 304 с.

20. Ковалевський К. А., Валько М. І., Мамай О. І., Кузьміна Т. О.,



Яковенко Т. О. Апарати для розділення продуктів виноробства. *Наукові праці*. 2018. Том 82, вип.1. С. 133–138.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2023 р.

O. Mamai, T. Kuzmina, T. Yakovenko, O. Stoianova, K. Zubkova
Kherson National Technical University

TECHNOLOGY OF PROCESSING SECONDARY RAW MATERIALS OF WINEMAKING

Summary

The technology of complex processing of secondary raw materials of the wine industry, namely wine yeast sediments, has been developed.

The proposed equipment-technological scheme for waste-free processing of wine yeast lees, obtained in the form of compressed mass from filter presses, or thickened wine lees after settling, with the production of the following products: alcohol of grape origin, tartaric acid compounds, concentrate of food dietary supplement, protein feed from autolyzed of yeast sediments, with a list of devices and installations of domestic developers, necessary for obtaining the declared products.

A study of the physicochemical composition of the obtained food dietary supplement concentrate was conducted, in particular, the content of group B vitamins, amino acids, and mineral elements.

The autolysis of yeast cells with obtaining a suspension with the products of yeast autolysis in autolyzer reactors with the subsequent inactivation of enzymes and obtaining raw alcohol of grape origin from the autolyzed yeast suspension in a vacuum distillation unit is described.

The remains of autolyzed yeast wort were separated to obtain salts of tartaric acid and protein feed for animals.

The process of obtaining a concentrated vitamin-amino acid food concentrate in a liquid state or obtaining a powder product of yeast autolysis is proposed.

The developed technology of primary winemaking waste processing makes it possible to use secondary material resources as much as possible, and therefore to minimize waste and prevent its formation, which will improve the ecological state of the environment.

Key words: sediment of wine yeast, technology of complex waste-free processing, autolysis of wine yeast, vitamins, amino acids, mineral elements, food dietary supplement, alcohol of grape origin, compounds of tartaric acid, protein feed.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-26

УДК 664.694

Н. В. Болгова, к.с.-г.н.

ORCID: 0000-0002-0201-0769

Н. В. Тараненко

ORCID: 0009-0004-3455-9547

Сумський національний аграрний університет

e-mail: natalia.bolhova@snaeu.edu.ua, тел.: 097-291-88-71

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА КІНОА СОРТУ КВАРТЕТ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБІВ МАКАРОННИХ

Анотація. Кіноа – втілення здорової їжі. Однак мало відомо як впливають її районовані сорти на оброблені харчові продукти. Метою дослідження було вивчення впливу борошна кіноа сорту Квартет на органолептичні та фізико-хімічні показники макаронних виробів. Об'єкт дослідження – технологія виробництва макаронів. Предметом дослідження є – макарони з додаванням борошна кіноа (5, 10, 15%). Сенсорний аналіз зразків макаронів з борошном кіноа дозволяє стверджувати, що зразок №3 характеризувався приємним післясмаком, що вигідно його виділяло, на думку дегустаторів. Часткова заміна пшеничного борошна була не визначальною для фізичних змін, таких як текстура маси та реологія. Отже, аналіз технологічних властивостей борошна певного сорту кіноа, є досить перспективними для розробки продукту з місцевої сировини.

Ключові слова: борошно, кіноа, макарони, добавка, органолептика, фізико-хімічні показники.

Постановка проблеми. Макаронні вироби вважаються одними з найбільш популярних продуктів харчування. Це пов'язують з простотою їх вживання та зберігання, смаковою привабливістю, доступною ціною [1-4]. Макарони характеризуються високим вмістом складних вуглеводів, але низьким харчових волокон, білку, мінералів, вітамінів і біологічно активних сполук [5-10]. Враховуючи таку популярність макаронів у споживачів, виробники та науковці намагаються частково вирішити питання дефіциту в раціоні людей білків, в першу чергу, за допомогою нетрадиційної високобілкової рослинної сировини: соєве, горохове, бобове, нутове борошно або їх ізоляти [11-15]. Зростає інтерес до використання відомого суперфуду – кіноа. Вона має унікальний хімічний склад, не містить глютену, може використовуватися при виробництві спеціалізованих продуктів [6, 16-



18]. Тому, на нашу думку, макарони з борошном кіноа будуть гарною альтернативою класичним виробам.

Аналіз останніх досліджень. Інтерес до зерен кіноа пояснюється їх реологічними, функціональними, органолептичними характеристиками і харчовим профілем [19]. Зерно характеризується високим вмістом білка (8–20%), вітамінів, мінералів, харчових волокон, біоактивних і фенольних сполук [20].

З появою кіноа на світовому ринку, питання її використання у харчовій промисловості досліджували в свої роботах багато науковців [21–23]. Seol H., Sim H.K. включили до 20% чорної кіноа в пшеничну локшину і помітили, що стійкість знижується обернено пропорційно вмісту кіноа [21]. Schoenlechner R. та ін. виявили, що додавання до 50% кіноа або амаранту до свіжих макаронних виробів на основі гречки призвело до значного збільшення втрат при варінні та втрати твердості [24]. Vargas O.L.T. з колегами розробили рецептуру макаронів типу спагеті з борошна кіноа (60–75%), крохмалю маніоки (1,5–5,0%), води (25–40%) та яєчного білка (9%) [6]. Встановили, що таке співвідношення найкраще узгоджує сенсорні та реологічні показники. Інша група науковців на основі борошна кіноа розробила рецептуру макаронів не лише без глютену, але й без яєць. Замість яєць було використано люпинове борошно. В результаті макаронні вироби характеризувалися високим вмістом білка (27,9%) та харчових волокон (15,2%), мали адекватні споживчі характеристики [1]. Ramos-Diaz J.M. та інші досліджували вплив кіноа різних сортів на структурно-механічні властивості макаронів. Для дослідження використали перуанські та латвійські сорти. Кількість добавки була від 5 до 20%. В результаті дослідження дійшли висновку, що взаємозв'язок композиційних, механічних і текстурних властивостей макаронних виробів сильно залежав від сорту [24]. Такого ж висновку дійшли і інші дослідники [20].

Формування цілей статті. Сьогодні кіноа є втіленням здорової їжі та безглютенової альтернативи. Незважаючи на це, мало відомо про вплив районованих сортів на оброблені харчові продукти. Метою даного дослідження було вивчити вплив борошна кіноа сорту Квартет на органолептичні та фізико-хімічні показники макаронних виробів. Об'єкт дослідження – технологія виробництва макаронів. Предметом дослідження є макарони з додаванням борошна кіноа.

Основна частина. Для вирішення поставленої мети було вироблено три зразки з додаванням рослинної добавки та контроль (табл. 1).

Таблиця 1

Рецептура досліджуваних зразків, %

Зразок	Борошно пшеничне	Борошно кіноа	Вода
1 (контроль)	100	-	50
2	95	5	55
3	90	10	55
4	85	15	60

Борошно кіноа сорту Квартет отримували в умовах лабораторії кафедри технологій та безпечності харчових продуктів Сумського НАУ. Підготовлене зерно подрібнювали на лабораторних млинах та просіювали. Для замісу обирали найменшу фракцію (1 мм). Проводили підготовку інших компонентів: борошно пшеничне просіювали, кип'ячену воду охолоджували до 30°. Заміс починали з додавання в пшеничне борошно борошна кіноа, перемішування та введення води. Тісто замішували 10 хв. В залежності від відсотка борошна кіноа в рецептурі, змінювалась кількість доданої води. Таким чином у зразок №4 додали на 10% води більше порівняно з контролем. Можемо зробити висновок, що борошно кіноа має більшу вологопоглинаючу здатність. Готове тісто ставимо в холодильник на 2-4 год. при температурі 2-3°C для набухання клейковини (рис. 1). Після чого тісто розкатуємо товщиною від 1,5-2,0 мм., нарізаємо на рівномірні смужки шириною 0,5-1,0 мм., сушимо при температурі 40°C до вологості в готовому виробі 12% (рис. 2).

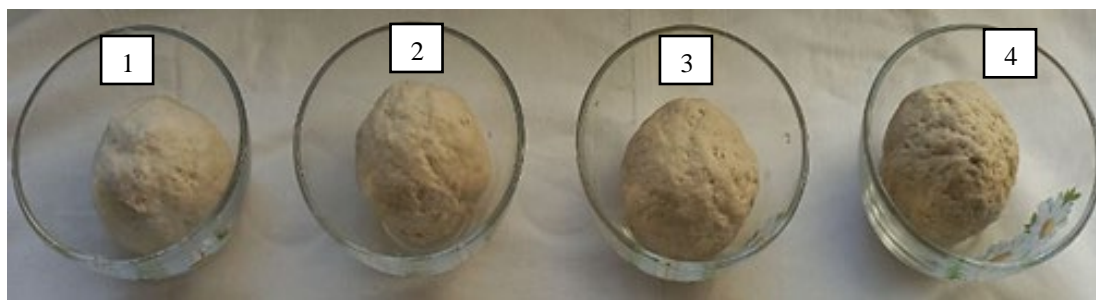


Рисунок 1. Зразки тіста після набухання

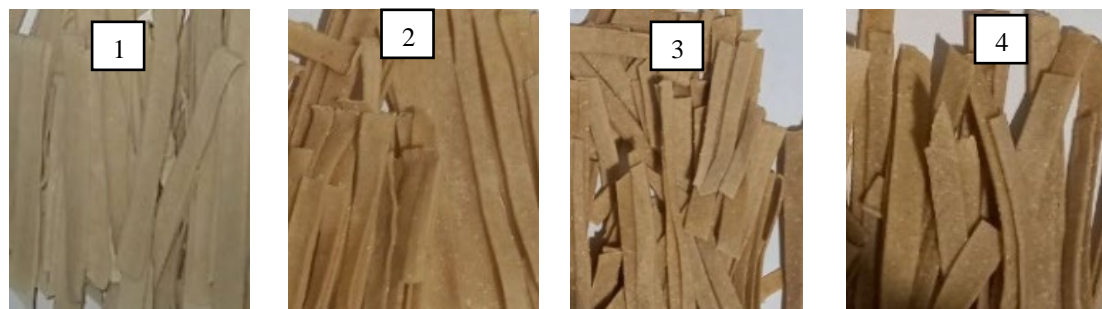


Рисунок 2. Зразки макаронів після висушування



Зважаючи, що важливим показником будь якого продукту є його органолептична характеристика, сенсорну оцінку отриманих зразків проводила група дегустаторів з 5 осіб за ДСТУ 7043:2020 «Вироби макаронні. Загальні технічні умови». Кожен показник оцінювали в 5 балів (табл. 2, рис. 3).

Таблиця 2

Органолептична оцінка якості

Назва показника	Зразок			
	1	2	3	4
Колір	Однотонний, відповідний сорту борошна, без слідів непромісу.	Однотонний з кремовим відтінком, з крихтами борошна кіноа		
Поверхня	Гладенька.	Гладенька. Є незначна шорсткість.	Рихла, в деяких місцях шорстка.	Рихла.
Форма	Відповідає типу виробу.			
Смак і запах	Без стороннього запаху та смаку.	Має присмак та запах смаженого горіху.		
Стан виробу після варіння	Зварені до готовності виробу зберігали форму, не злипатись, не утворювати грудочок, не рвалися.			

Слід зазначити, що зразки з борошном кіноа, загалом, були темніші за контроль. Сенсорний аналіз зразків макаронів з борошном кіноа дозволяє стверджувати, що збільшення рослинної добавки в рецептурі до 15% має негативний вплив. Зразок 4 мав дуже виражений запах горіху, відчувалися гіркий горіховий присмак. Зразок №3 характеризувався приємним післясмаком, що вигідно його виділяло, на думку дегустаторів, з поміж інших зразків і прирівняло за бальною оцінкою до контролю (зразок 1). Отже, аналізуючи сенсорні характеристик макаронів, виготовлених з додаванням борошна кіноа, слід зазначити, що це перспективний продукт для споживання.

Зважаючи на отримані вище результати для наступних досліджень обрано два зразки: №1, №3. Дослідження фізико-хімічних показників проводили згідно вимог ДСТУ 4073:2020.

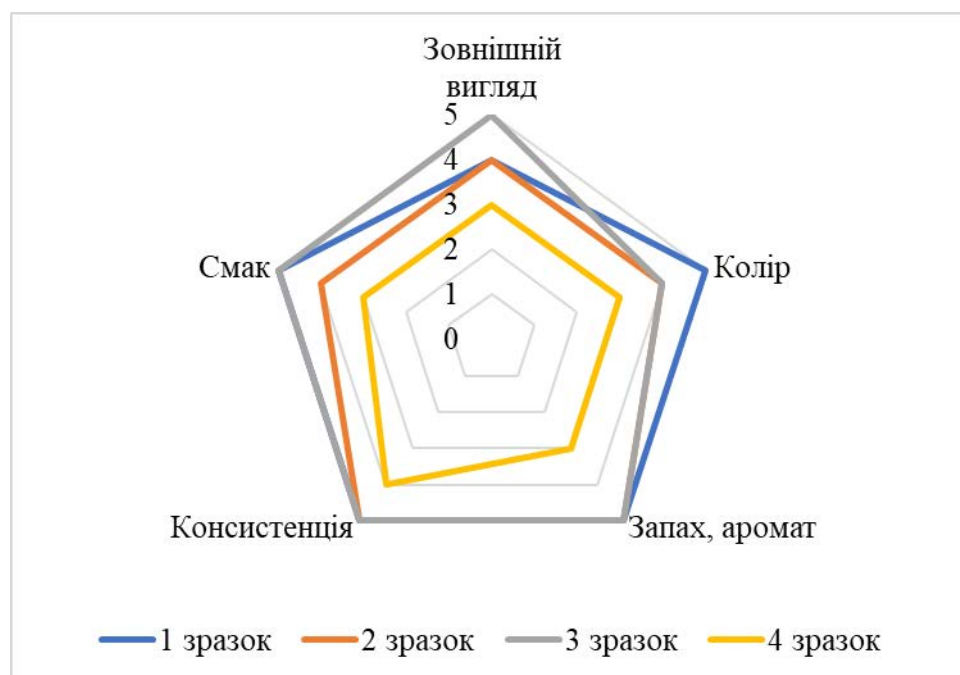


Рисунок 3. Профілограма органолептичної оцінки зразків, балів

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники

Показник	Зразок	
	1	3
Титрована кислотність, °Т	4,0	4,0
Вологість, %	12,0	12,0
Міцність, (Н)	1,2	1,0
Масова частка лому, %	2,0	1,8
Масова частка крихти, %	1,0	1,3
Масова частка деформованих виробів, %	1,5	1,8

Аналізуючи результати таблиці 3 слід зауважити, що заміна 10% борошна пшеничного на борошно кіноа суттєво не вплинула на досліджувані показники, а значення були в межах статистичної похибки. Зниження міцності не суттєво вплинуло на кількість крихти та деформованих виробів. Таким чином, третій зразок макаронів з борошном кіноа сорту Квартет відповідає вимогам нормативного документу та може бути рекомендований для виробництва.

Висновки: Отже, зразки з борошном кіноа мали темніший колір за контроль. Збільшення рослинної добавки в рецептурі до 15% має негативний вплив, тоді як зразок №3 характеризувався приємним післясмаком суперфуду. Часткова заміна пшеничного борошна була не визначальною для фізичних змін, таких як текстура маси та реологія. Отже, аналіз технологічних властивостей борошна певного сорту кіноа, є досить перспективними для розробки продукту з місцевої сировини.



Список використаних джерел

1. Linares-García L., Repo-Carrasco-Valencia R., Glorio Paulet P., Regine Schoenlechner. Development of gluten-free and egg-free pasta based on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) with addition of lupine flour, vegetable proteins and the oxidizing enzyme POx. *Eur Food Res Technol.* 2019. Vol.245. P. 2147–2156. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03320-1>
2. Marti A., Pagani M.A. What can play the role of gluten in gluten free pasta? *Trends Food Sci Technol.* 2013. Vol.31. №1. P. 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.001>
3. Carini E., Curti E., Minucciani M., Antoniazzi F., Vittadini E. Pasta. In: Guiné RPF, Correia PMR (eds) Engineering aspects of cereal and cereal-based products. *CRC Press, Boca Raton p.* 2014. P. 211–238.
4. Li M., Zhu K. X., Guo X. N., Brijs K., Zhou H. M. Natural additives in wheat-based pasta and noodle products: opportunities for enhanced nutritional and functional properties. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2014. Vol.13. P. 347–357. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12066>
5. Aranibar C., Pigni N. B., Martinez M., Aguirre A., Ribotta P., Wunderlin D., Borneo R. Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta. *LWT - Food Science and Technology,* 2018. Vol.89. P. 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.003>
6. Vargas O. L. T., González M. L., Loaiza Y. V. G. (2021). Optimization study of pasta extruded with quinoa flour (*Chenopodium quinoa* willd) Estudio de Optimización de una Pasta Extruida con Harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *CyTA - Journal of Food.* 2021 Vol.19. №1. P. 220–227. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1883116>
7. Болгова Н. В., Самілик М. М., Савчук Н. В. Розширення асортименту макаронних виробів з β –каротином. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2022. №2. С. 18–23. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.3>
8. Mane A., Deshmukh S., Mohite P., Pusatkar G. Acceptability and protein quality of supplementary foods developed out of oyster mushroom powder (*Pleurotus sajor-caju*). *Science and Cultivation of edible fungi. Proc of 15th Int Cong on Sci and Cultivation of Edible Fungi, Maastricht, Netherlands.* 2000. P 15–19.
9. Osorio D. P., Acevedo A. E., Vinalay M. M., Tovar J., Bello-Pérez L. A. Pasta added with Chickpea flour: Chemical composition, In Vitro Starch digestibility and predicted Glycemic Index. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 2008. Vol.6. P. 6–12. <https://doi.org/10.1080/11358120809487621>
10. Nilusha R. A. T., Jayasinghe J. M. J. K., Perera O. D. A. N., Perera P. I. P. Development of Pasta Products with Nonconventional Ingredients and Their Effect on Selected Quality Characteristics: A Brief



Overview. *International Journal of Food Science*. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6750726>

11. Kaur G., Sharma S., Nagi H. P., Ranote P. S. Enrichment of pasta with different plant proteins. *Journal of food science and technology*. 2013. Vol.50. №5. P. 1000–1005. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0404-2>

12. Messia M. C., Cuomo F., Falasca L., Trivisonno M. C., De Arcangelis E., Marconi E. Nutritional and Technological Quality of High Protein Pasta. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol.10. №3. P. 589. <https://doi.org/10.3390/foods10030589>

13. Foschia M., Horstmann S.W., Arendt E.K., Zannini E. Legumes as functional ingredients in gluten-free bakery and pasta products. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2017. Vol.8. P. 75–96. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-030045>.

14. Marconi E., Messia M. C. Pasta made from non traditional raw materials: Technological and nutritional aspects. *Durum Wheat Chemistry and Technology*. AACC International Press; St Paul, MN, USA: 2012.

15. Verardo V., Gómez-Caravaca A. M., Messia M. C., Marconi E., Caboni M. F. Development of functional spaghetti enriched in bioactive compounds using barley coarse fraction obtained by air classification. *J. Agric. Food Chem.* 2011. Vol.59. P. 9127–9134. <https://doi.org/10.1021/jf202804v>.

16. Pragya Mishra, Suman Devi, Seema Sonkar, Shatrughan Singha and HG Prakash. Development of value added pasta products for fortified with vegetables-A review. *An International Journal Society for Scientific Development*. 2020. Vol.15. P. 292–295.

17. Larrosa V., Lorenzo G., Zaritzky N., Califano A. Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. *Journal of Cereal Science*. 2013. Vol.57. №3. P. 520–526. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.03.003>

18. Pereira E., Encina-Zelada C., Barros L., Gonzales-Barron U., Cadavez V., Ferreira I. C. F. R. Chemical and nutritional characterization of chenopodium Quinoa Willd (Quinoa) Grains: A good alternative to nutritious food. *Food Chemistry*. 2019. P. 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>

19. Burgos V.E., López, E.P., Goldner M.C., Cristina Del Castillo, V. Physicochemical characterization and consumer response to new andean ingredients-based fresh pasta: Gnocchi. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2019. P. 100142. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100142>

20. Ayseli M. T., Yilmaz M. T., Cebi N., Sagdic O., Ozmen D., Capanoglu E. Physicochemical, rheological, molecular, thermal and sensory evaluation of newly developed complementary infant (6–24 Months Old)



foods prepared with quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) flour. *Food Chemistry*. 2020. P. 126208.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126208>

21. Seol H., Sim H. K. Quality characteristics of noodles with added germinated black quinoa powder. *Korean J. Food Nutr.* 2017. Vol.30. P. 19–30. <https://doi.org/10.9799/ksfan.2017.30.1.019>

22. Schoenlechner R., Drausinger J., Ottenschlaeger V., Jurackova K., Berghofer E. Functional Properties of Gluten-Free Pasta Produced from Amaranth, Quinoa and Buckwheat. *Plant Foods Hum Nutr.* 2010. Vol.65. P. 339–349. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0194-0>

23. Schoenlechner R., Jurackova K., Berghofer E. Pasta production from the pseudocereals amaranth; quinoa and buckwheat. In *Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers, Proceedings of the 12th ICC Cereal and Bread Congress, Harrogate, UK, 23–26 May 2004*; Cauvain, S.P., Salmon, S.S., Young, L.S., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2005

24. Ramos-Diaz J.M., Kince T., Sabovics M., Gürbüz G., Rauma A., Lampi A.-M., Piironen V., Straumite E., Klava D., Jouppila K. Relationship of Compositional, Mechanical, and Textural Properties of Gluten-Free Pasta Using Different Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Varieties. *Foods*. 2020. Vol.9. №12. P. 1849. <https://doi.org/10.3390/foods9121849>

Стаття надійшла до редакції 23.03.2023 р.

N. Bolgova, N. Taranenko
Sumy National Agrarian University

ANALYSIS OF THE USE OF QUARTET VARIETY QUINOA FLOUR IN THE TECHNOLOGY OF PASTA PRODUCTS

Summary

Pasta is considered one of the most popular food products. Pasta products are characterized by a high content of complex carbohydrates, but low in dietary fiber, protein, minerals, vitamins and biologically active compounds. Given the popularity of macaroni among consumers, manufacturers and scientists are trying to partially solve the problem of protein deficiency in people's diets. The high protein content distinguishes quinoa seeds from other plant-based products. The purpose of the research is to study the effect of Quartet quinoa flour on the organoleptic and physicochemical parameters of pasta products. The object of research is the technology of pasta production, the subject is pasta with the addition of quinoa flour. For research, we developed three samples with different percentages of quinoa flour and kotrol: 1 (control), 2 (5%), 3 (10%), 4 (15%). Research methods are organoleptic, physico-chemical, mathematical processing of experimental data using computer technologies. According to the results of the organoleptic evaluation, the best results of the tasting commission were obtained by pasta with quinoa flour in the amount of 10%. Physico-chemical indicators of sample No. 3 did not significantly differ from those of the control. We observe a slight increase in the share of crumbs and deformed products (0,3%). Developed pasta with 10% quinoa flour meets



the requirements of regulatory documentation and consumer requirements, which allows to expand the assortment. The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that Quartet quinoa flour was first proposed as a protein component in flour products, namely in pasta, and its influence on physico-chemical and rheological parameters was investigated. The practical significance of the obtained results is revealed in the possibility of using the proposed technology and recipe of pasta products both in the conditions of factories and in the conditions of mini-productions without replacing the equipment.

Key words: flour, quinoa, pasta, additive, organoleptic properties, physical and chemical parameters.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-27

УДК 631.95

Н. А. Дубчак, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-3279-7897

О. М. Кирик, ст. викл.

ORCID: 0000-0003-4551-3187

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

e-mail: dybchak1010@ukr.net, тел.: 097-497-93-15

ЗАСТОСУВАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація. Біотехнологічні процеси застосовують і для очищення навколишнього середовища, зокрема стічних вод і ґрунту від побутового і промислового забруднення. Методи біологічного очищення ґрунтується на здатності певних видів бактерій розкласти органічні сполуки, які потрапляють у довкілля. Біотехнологічні процеси враховують і під час розроблення біологічних методів боротьби зі шкідниками сільського господарства та паразитичними і кровосисними видами. Біотехнологічні продукти першого покоління призвели до зменшення їх використання, а майбутні продукти біотехнологій повинні принести ще більше переваг. Зменшення пестицидного, гербіцидного навантаження означає менший ризик токсичного забруднення ґрунтів та ґрунтових вод. Культури, виведені методами біоінженерії, також ведуть до ширшого застосування безвідвальної обробки ґрунту, що в кінцевому рахунку призводить до зменшення втрат родючості ґрунту.

Ключові слова: біотехнологія, генна інженерія, біотехнологія гумуса, субстрат, компостування

Постановка проблеми. Сучасна біотехнологія займає провідне становище у системі біологічних, медичних, ветеринарних та зоотехнічних досліджень. Вона є новою формою промислових технологій. У традиційному розумінні біотехнологія – це наука про методи та технології виробництва різних речовин та продуктів з використанням природних біотехнологічних об'єктів та процесів [1].

В історичному плані біотехнологія є, мабуть, найстарішою технологією, яка використовує людину, - випікання хліба, одержання сиру, приготування вина та пива, одержання кисломолочних продуктів, одержання скла з крохмалю. Люди, з натхнення, не знаючи



причин, з яких відбувається ті чи інші процеси, вже займалися біотехнологією.

Сучасна біотехнологія – це наука про генно-інженерні методи та технології створення та використання генетично трансформованих біологічних об'єктів для інтенсифікації виробництва або отримання нових видів різного призначення. Розвиток біотехнології дозволяє суттєво інтенсифікувати виробництво, підвищувати ефективність використання природних ресурсів, вирішувати екологічні проблеми, створювати нові джерела енергії.

Аналіз останніх досліджень. В даний час досягнення біотехнології перспективні в наступних галузях [2]:

у промисловості - (харчова, фармацевтична, хімічна, нафтова) – використання біосинтезу та біотрансформації нових речовин на основі сконструйованих методів генної інженерії штамів бактерій та дріжджів із заданими властивостями на основі мікробіологічного синтезу;

в екології – підвищення ефективності екологічного захисту рослин, розробка екологічно безпечних технологій очищення стічних вод, утилізація відходів агропромислового комплексу;

в енергетиці – застосування нових джерел біоенергії, отриманих на основі мікробіологічного синтезу та фотосинтетичних процесів, біоконверсії біомаси у біогаз;

у сільському господарстві – розробка в галузі рослинництва трансгенних культур, біологічних засобів захисту рослин, бактеріальних добрив, мікробіологічних методів рекультивативації ґрунтів;

- у галузі тваринництва – створення ефективних кормових препаратів із рослинної, мікробної біомаси та відходів сільського господарства, репродукція тварин на основі ембріогенетичних методів;

- у медицині – розробка медичних біопрепаратів, вакцин, розвиток імунотехнології [3].

Мета дослідження: Досягнення – в отриманні комбінованої молекули ДНК – дозволили створити нову біотехнологію, що реалізують свої можливості у промислових процесах, сільському господарстві, медицині, у вирішенні екологічних проблем.

Основна частина. З усього сказаного вище впливає ще одна важлива обставина – можливість проведення біотехнологічного процесу у промисловому масштабі, особливо у сільське господарство, тобто. доступність сировини та технології переробки, що біосинтез значно економічніше та технічно доступніше, ніж хімічний синтез. Об'єктами біотехнології є віруси, бактерії, гриби, аеробні та анаеробні організми, клітини, речовини біологічного походження (ферменти,



лектин, нуклеїнові кислоти).

Як найперспективніші слід виділити такі групи біологічних об'єктів [4]:

- рекомбінатори, тобто - організми, одержані методами генетичної інженерії;
- термофільні мікроорганізми та ферменти;
- рослинні та тваринні тканинні клітини;
- анаеробні організми;
- асоціації для перетворення складних субстратів;
- іммобілізовані біологічні об'єкти

Таким чином, біотехнології охоплюють всю сукупність передових напрямків та певних наук і в порівнянні з хімічним синтезом мають низку істотних переваг:

- низька енергоємність біологічних процесів – усі процеси протікають при фізіологічній температурі;
- біологічні процеси найчастіше є безвідходними;
- як субстрати для харчування мікроорганізмів використовуються відходи сільськогосподарського виробництва, відходи харчової промисловості в процесі компостування;
- біотехнологічні прийоми дозволяють надати малоцінним чи непрямим відходам виробництва цінних споживчих властивостей.

Звідси напрашується головний висновок:

1. Мікроорганізми можна розглядати як центральний біотехнологічний елемент системи, що визначає ефективність її функціонування – термофільні мікроорганізми, анаеробні, аеробні асоціації.

2. Застосування змішаних культур мікроорганізмів - спільноти різних популяцій; пов'язані між собою здатні утилізувати складні, неоднорідні за складом субстрати, часто непридатні для монокультур; вони підвищено стійкі до токсичних речовин.

3. Серцевиною біотехнології є молекулярна біотехнологія та її найважливіша складова частина – гена інженерія. Інша джерело та потужна гілка сучасної біотехнології – промислова мікробіологія та мікробіологічні синтези.

Сучасне сільське господарство з його індустріальними технологіями, великомасштабними роботами з хімізації та меліорації землеробства негативно впливає на навколишнє середовище в цілому та на ґрунт зокрема.

Необхідний пошук технологій, що запобігають негативним екологічним наслідкам інтенсифікації сільського господарства. Ця проблема може бути вирішена шляхом біологізації землеробства, одним з елементів якого є промислове виробництво та застосування біо- гумусу - продукту діяльності дощових хробаків (вермікультури).



Масована "хімічна атака" на наші ґрунти добрив, пестицидів, стоків тваринницьких стоків призвели до зникнення дощових черв'яків. Адже ці невтомні трудівники виконують справді титанічну роботу з освіти, структурування та меліорування ґрунту. У що обійшлося нам винищення ґрунтових організмів. За останні 20 - 25 років значно зменшилася кількість гумусу на площі 250 млн. га з втратою гумусу - 15 - 40% [5].

Потрібен новий тип добрив, який збагачував би ґрунт грибами, бактеріями та іншими ґрунтовими організмами. Йдеться про новий напрямок агробіологічної науки - біотехнології гумусу.

Нами розроблено біотехнологію утилізації свинячого гною в біогумус та внесення його під сільськогосподарські культури.

Як приклад переробки тваринницьких відходів наведено опис частини біотехнології отримання біогумусу. Біогумус – порівняно нове для України висококонцентроване органічне добриво. Цінність біогумусу у великій кількості мікроорганізмів. Високий вміст ферментів сприяє процесам регенерації природно-бідних ґрунтів чи ґрунтів, забруднених хімічними речовинами.

Біогумус містить вуглець, азот, фосфор, калій у пропорціях сприятливих для живлення рослин, високий ефект при вирощуванні всіх сільськогосподарських видів. Використання біогумусу прискорює проростання насіння, знижує стрес від пересадки рослин, полегшує отримання ранньої продукції, підвищує стійкість рослин до хвороб [6-8]. Біотехнологія включає такі операції: компостування, поділ на тверду та рідку фракцію свинячих гнійних стоків, пошарове укладання твердої фази гною, відходів зернових культур та ґрунту, перемішування, зволоження, заселення та годування вермікультури.

Отримання субстрату здійснюється із використанням елементів біотехнології приготування компосту [9, 10].

Рідку фракцію гною відправляють у накопичувач для дельмігізації, де вона розбавляється водою та транспортується на сільськогосподарські поля для зрошення. Потім тверду фракцію гною, відходи зернових культур і ґрунт послідовно укладають шарами у співвідношенні 7:1:2 і перемішують. Відходи зернових культур попередньо тонко подрібнюють. Зволоження субстрату здійснюється робочою сумішшю, що складається з рідких відходів спиртового виробництва.

При цьому субстрат додатково додають вапняний розчин для створення нейтрального середовища. Оптимальна вологість у субстраті підтримується 75 – 85%, що оберігає його від висушування. У підготовлений субстрат заселяють дощових хробаків, що мають високу плідність і життєздатність у співвідношенні не більше 20% від



загального обсягу субстрата та витримують. Через певний проміжок часу проводять зволоження, перемішування субстрату та підживлення хробаків [11].

Проходячи через травний канал черв'яків, органічні відходи розщеплюються на простіші сполуки, збагачуються мікроелементами і азотом, калієм і фосфором. В результаті виходить високоякісне добриво – біогумус.

В результаті проведених досліджень встановлено, що одержаний біогумус на посівах сої істотно впливав на вміст рухомих форм елементів мінерального живлення в ґрунті [12-13].

Протягом усієї вегетації рослини сої містили більший відсоток азоту, фосфору та калію у вегетативної частини, ніж на контрольному варіанті. Що позитивно позначилося і накопиченні макроелементів у бобах рослини. Так при внесенні 30 т/га біогумусу вміст макроелементів у бобах сої було максимальним і склало відповідно 6,13; 1,32; 2,31% при 5,30; 1,04; 1,77% на контролі.

При внесенні біогумусу в дозі 25 і 30 т/га рослини сої були вищими, ніж на контролі і мали більшу надземну масу. Сприятливі умови харчування рослин сприяли кращому зростанню сої.

Біогумус впливав як на врожайність, а й якість бобів сої. Соя є цінною білковою кормовою культурою, тому вміст білка, це один із головних показників її поживної цінності. Вміст білка за варіантами досвіду коливається від 33,1 на контролі до 37,8 та 38,3% на варіантах із внесенням біогумусу, а в дозах 25 та 30 т/га [14].

Внесення органічного добрива у вигляді біогумусу сприяло суттєвому підвищенню врожайності сої. Біогумус вносили під основну обробку повною нормою. Польовий досвід показав, що внесення органічного добрива у вигляді біогумусу сприяє суттєвому підвищенню врожайності сої. На контрольному варіанті врожайність становила 18,2 ц/га. Найнижча доза біогумусу 15 т/га мала найменший позитивний вплив на врожайність сої [15-16].

На даному варіанті отримано врожайність 19,3 ц/га, що на 6 % вище, ніж на контролі. Збільшення дози біогумусу до 20 т/га сприяло позитивному впливу на врожайність сої, одержано врожайність 20,9 ц/га, що на 15 % вище, ніж на контролі. Внесення біогумусу в дозі 25 т/га сприяло суттєвішому збільшенню врожайності сої до 21,7 ц/га, що на 19 % вище, ніж на контролі. Подальше збільшення дози біогумусу до 30 т/га склала врожайність 22,0 ц/га, що на 21 % вище, ніж на контролі. Математична обробка показала, що достовірної різниці між дозами 25 т/га та 30 т/га не спостерігається [17, 18].

Найважливішим фактором підвищення родючості ґрунту є біогумус. Особлива роль біогумусу пояснюється його впливом на всі властивості ґрунту та його біологічну активність. Біогумус, що



вноситься, може чинити пряму дію на баланс органічної речовини ґрунту, переходячи частково у форму гумусних сполук. Створення бездіфіцитного балансу органічної речовини у ґрунті – є обов'язковою умовою інтенсифікації землеробства країни [19-20].

Останнім часом все більшого поширення набуває екологічна або біологічна система землеробства, в основі якої лежить відмова від використання мінеральних добрив, а відновлення ґрунтів покладається на утилізацію відходів тваринництва [21-23].

Висновки. Біотехнологія спрямована на забезпечення екологічної рівноваги в природі, на переробку відходів, а також людини і максимальне зниження негативного антропогенного впливу на природу.

Список використаних джерел

1. Корпач А. О., Левківський О. О., Кочирко Б. Ф. Оцінка експлуатаційних властивостей біодизельного палива при низьких температурах. *Вісник НТУ*. 2010. Вип. 20. С. 193–197.

2. Калетнік Г. М. Економіка виробництва біопалива в Україні та забезпечення продовольчої безпеки. *Економіка АПК*. 2010. № 1. С. 30–35.

3. Півняк Г. Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г. Г. Півняк, Ф. П. Шкрабець; Нац. гірн. університет. Д. : НГУ, 2013. 109 с.

4. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві. / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, О. А. Марус та ін. К. : НУБіП України, 2016. 226 с.

5. Екологічна біотехнологія переробки синьо-зелених водоростей: монографія / М. В. Загірняк, В. В. Никифоров, М. С. Мальований та ін. Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2016. 168 с.

6. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В., Кухарець С. М.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба К.: НУБіП України, 2015. 119 с.

7. Голуб Г. А., Павленко М. Ю. Павленко Оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двохступінчастому віджиманні рослинної олії. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. Редкол.: Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. К.: ВЦ НУБіП України, 2014. Вип. 194, ч.1. С. 175–181.

8. Куріс Ю. В., Червоний І. Ф. Біогазові технології. *Енергетичні та екологічні аспекти*. Запоріжжя: ЗДІА, 2010. 487 с.

9. Голуб Г. А. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець, В. В. Гох, С. В. Осауленко,



О. А. Завадська, Б. О. Рубан, Н. Л. Поліковська, Р. Л. Швець, В. В. Чуба, М. Ю. Павленко. К.: НУБіП України, 2014. 106 с.

10. Голуб Г. А. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В., Кухарець С. М.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба/ К. : НУБіП України, 2015. 119 с.

11. Абрамчук М. Ю., Антонюк Н. А. Місце і роль біотехнологій в еколого-економічному розвитку суспільства. *Механізм регулювання економіки*. 2011. № 4. С. 44–49.

12. Матюшенко І. Ю. Біоекономіка: медичні біотехнології в світі і Україні. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Серія: Економічні науки. 2014. Вип. 9(7). С. 52–58.

13. Талавиря М. П. Розвиток біоекономіки та управління природокористуванням в умовах глобалізації: монографія / М. П. Талавиря та ін. Київ, 2012. 339 с.

14. Талавиря М., Газуда Л., Газуда М. Перспективи розвитку біоекономіки замкнутого циклу в Україні. *Геополітика України: історія і сучасність*. 2021. № 2(27). С. 128–138. doi:10.24144/2078-1431.2021.2(27).

15. Companiesmarketcap. Largest Biotech companies by Market Cap. URL: <https://companiesmarketcap.com/biotech/largest-companies-by-market-cap/> (дата звернення: 10.03.2022).

16. Conserve Energy Future. What is Biotechnology? URL: <https://www.conserve-energyfuture.com/biotechnology-types-examples-applications.php> (дата звернення: 10.02.2022).

17. EFPIA. The Pharma Industry in Figures. URL: <https://www.efpia.eu/publications/data-center/thepharma-industry-in-figures> (дата звернення: 18.02.2022).

18. Infinium Global Research. Biotechnology Market: Global Industry Analysis, Trends, Market Size, and Forecasts up to 2027. URL: <http://surl.li/cdbdn> (дата звернення: 18.02.2022).

19. Nasdaq. The Nasdaq Biotechnology Index: A True Benchmark for Technology-Driven Healthcare Innovation. URL: <https://www.nasdaq.com/articles/the-nasdaq-biotechnology-index%3A-a-true-benchmarkfor-technology-driven-healthcare> (дата звернення: 16.03.2022).

20. Precedence Research. Bioinformatics Market Size to Hit Around US\$ 45.6 Bn by 2030. URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/05/16/2444076/0/en/Bioinformatics-Market-Size-to-itAround-US-45-6-Bn-by-2030.html> (дата звернення: 20.02.2022).

21. Organic Standards and Certification / Офіційний сайт International Federation of Organic Agriculture Movements [Електронний ресурс]. URL: http://www.ifoam.org/about_ifoam/standards/index.html.



22. Statista. Value of the NASDAQ Biotechnology Index. URL: <https://www.statista.com/statistics/189752/nasdaq-biotech-index-closing-year-end-values-since-2000/> (дата звернення: 16.03.2022).

23. 'Green' Economy: From Global Concept to Reality of Local Development / N. Stukalo et al. Dnipro, 2018. 336 p.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2023 р.

N. A. Dubchak, O. M. Kyryk

Separate subdivision of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine «Berezhn Agricultural Technical Institute»

APPLICATION OF BIOTECHNOLOGY IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Summary

Abstract. Biotechnology makes it possible to organize the processing of various wastes into organic fertilizer, the volumes of which are constantly growing. Biotechnological processes are also used to clean the environment, in particular wastewater and soil from domestic and industrial pollution. Biological purification methods are based on the ability of certain types of bacteria to break down organic compounds that enter the environment. Strains of microorganisms capable of breaking down those compounds that natural species cannot mineralize have been created. Biotechnological processes are also taken into account during the development of biological methods of combating agricultural pests and parasitic and blood-sucking species. Using strains of certain types of microorganisms, preparations are made that effectively reduce the number of harmful species without polluting the environment with toxic compounds. A necessary condition for the use of biological preparations in the biological method of control is their safety for beneficial species of organisms. Recently, in the development of biotechnological processes, the methods of genetic and cellular engineering are increasingly used, which make it possible to obtain various compounds and drugs. First-generation biotech products have led to a reduction in their use in agricultural practice, and future biotech products should bring even more benefits. First-generation biotech products have led to a reduction in their use in agricultural practice, and future biotech products should bring even more benefits. A reduction in pesticide and herbicide loads means a lower risk of toxic soil and groundwater contamination. Bioengineered crops also lead to greater use of no-tillage, which ultimately results in reduced soil fertility losses.

Key words: biotechnology, genetic engineering, humus biotechnology, substrate, composting



УДК 637.3.05

М. М. Самілик, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4826-2080

Р. В. Цирулик, аспірант

ORCID: 0000-0002-4896-4891

Н. І. Вороненко

ORCID: 0009-0006-3769-196X

Сумський національний аграрний університет

e-mail: maryna.samilyk@snau.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ МОРКВЯНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

Анотація. В статті сформульовано гіпотезу щодо можливості застосування морквяних порошоків для збагачених молочних продуктів (молока та сиркових мас). В якості основної сировини використовували молоко А2, білок якого є менш алергенним та не викликає розладу органів травлення. Розроблено безвідходну технологію, яка передбачає збагачення молока А2 морквяним порошоком. Аналіз хімічного складу морквяних порошоків показав, що вони містять 2,9 г/100 г сирової клітковини, 1,4 г/100 г білків, а також ряд мінеральних речовин. Найбільше у морквяних порошках було виявлено калію – 27,1 мг/100 г. При застосуванні запропонованої технології збагачення забезпечується перехід каротиноїдів у молоко (0,1068 мг/100 г). Морквяну мезгу, відібрану в результаті фільтрування молока, рекомендовано використовувати в якості добавки у виробництві сиркових мас. При цьому можна отримати збалансований молочний продукт за рахунок введення у його склад харчових волокон.

Ключові слова: збагачене молоко А2, сиркова маса А2, морквяний порошок, харчові волокна, каротиноїди, мінеральні речовини, безвідходна технологія.

Постановка проблеми. Молочні продукти є обов'язковими у щоденному раціоні дітей та основним джерелом надходження білків до їхнього організму. Кабінетом Міністрів України (постанова №305 від 24 березня 2021 р.) рекомендовано споживати молоко і молочні продукти, до яких додано вітаміни та мінеральні речовини [1]. Молочні продукти є обов'язковими у харчовому раціоні дітей. У закладах дошкільної освіти їх рекомендована кількість порцій на тиждень – 10. У закладах загальної середньої освіти, дитячих закладах оздоровлення та відпочинку у разі п'ятиденного перебування молочні продукти рекомендовано споживати щодня по одній порції під час сніданку та



вечері. Для забезпечення різноманітності чотиритижневого сезонного меню асортимент молочних продуктів має бути широким, включати різноманітні збагачені молочні продукти.

Аналіз останніх досліджень. Технології збагачення молока дають можливість покращити його біологічну цінність. Молочні продукти, збагачені мікроелементами, зазвичай містять кальцій, фосфор, магній, залізо, цинк, мідь, марганець, селен, йод, хром, молібден та кобальт. Крім того, молоко збагачують вітамінами А, D, С, Е і К та біотином, пантотеновою чи фолієвою кислотами [2]. Для збагачення молочних продуктів зазвичай використовуються синтетичні комплекси, що містять вітаміни та мінерали. Проте, відомо, що синтетично створені вітаміни набагато гірше засвоюються організмом, ніж ті, які поступають із натуральними харчовими продуктами.

Збагачення молока вітаміном А і надання йому певних органолептичних властивостей можливе за рахунок використання каротиноїдів. Відомо, що каротиноїди мають антиоксидантні властивості, провітамінну активність А, імунну, ендокринну та метаболічну активність, відіграють роль у регуляції клітинного циклу [3]. Тому молоко, збагачене каротиноїдами моркви, має кращу здатність до зберігання. Очевидно, це пов'язано з тим, що β -каротин сповільнює мікробіологічні процеси [4].

Сир є джерелом вітамінів групи В (В2, В3, В12), білків, жирів, кальцію, фосфору та інших не менш значущих нутрієнтів. Сирну масу можна використовувати як готовий до вживання десерт, а також як сировину при виготовленні різноманітних продуктів. Найчастіше, як добавки, які надають певні смакові якості, при виробництві солодких сирних мас використовуються плодово-ягідні, рослинні та кондитерські наповнювачі. Актуальними є технології з використанням рослинної сировини, яка дозволяє збагатити молочні продукти натуральними вітамінами, пектинами, мінеральними речовинами, а також природними барвниками [5, 6].

Основним джерелом вуглеводів, вітамінів, мінеральних солей, фітонцидів та харчових волокон, необхідних для нормального функціонування живого організму, є овочі. Тому багато вчених досліджують способи їх застосування під час виробництва харчових продуктів [7]. Природним джерелом каротиноїдів є морква (*Daucus carota*) [8]. Цей овоч є доступним за ціною та широко розповсюдженим у всіх куточках України та світу. Доцільним є дослідження можливості застосування моркви для збагачення молочних продуктів. Враховуючи органолептичні властивості моркви та молочних продуктів, пропонується використовувати для збагачення молочних продуктів морквяні порошки. Актуальним завданням для виробників та розробників харчових продуктів є розробка безвідходних технологій



виробництва молочних продуктів із використанням рослинної сировини. Тому, запропоновано технологію, яка є безвідходною.

Формулювання мети статті. Розробити спосіб збагачення молочних продуктів (молока та сиркової маси) морквяними порошками.

Основна частина. В якості предмету дослідження використовували порошок, виготовлений в лабораторних умовах із коренеплодів моркви сорту Шантане. Рекомендується виготовляти морквяний порошок із цільних коренеплодів, оскільки у їх шкірках міститься велика кількість корисних нутрієнтів [9]. Ретельно відмиті коренеплоди дезінфікували діоксидом хлору, ополіскували чистою проточною водою, нарізали слайсами (товщиною 2 мм). Слайси висушували за температури 50–60 °С протягом 2 годин в інфрачервоній лабораторній сушарці потужністю 1,8 кВт. Після висушування матеріал подрібнювали на дисковому млині ЛЗМ-1 і просіювали через латунне сито №015. Для збагачення молока використовували лише фракцію розміром менше 0,15 мм.

Для обґрунтування доцільності використання даного виду сировини було визначено вміст деяких нутрієнтів у морквяних порошках. Результати представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад морквяних порошків

Показники	Значення
Білки, г/100 г	1,4
Вуглеводи, г/100 г	10,2
Сира клітковина, г/100 г	2,9
Жири, г/100 г	0,1
Каротиноїди, мг/100 г	84
Мінеральні речовини, мг/100 г:	
К	27,1
Ca	6,97
Fe	1,07
P	3,82
Mg	0,75
Na	3,3
Cl	6,97

Аналіз показав, що морквяні порошки містять досить високий вміст каротиноїдів (84 мг/100 г). Враховуючи, що каротиноїди є попередниками вітаміну А, доцільно їх застосовувати для збагачення молочних продуктів. Присутність клітковини у складі морквяних порошків (2,9 г/100 г), робить їх ефективною добавкою для збагачення

молочних продуктів харчовими волокнами. Наявність мінеральних речовин, зокрема калію (27,1 мг/100 г), надає додаткових функціональних властивостей. Калій бере участь у функціонуванні серця і системи кровообігу, підтримує адекватний кров'яний тиск та м'язовий тонус. Таким чином, обґрунтовано доцільність застосування морквяних порошоків для збагачення молочних продуктів.

Розроблено безвідходну технологію збагачення молочних продуктів морквяними порошками (рис. 1).

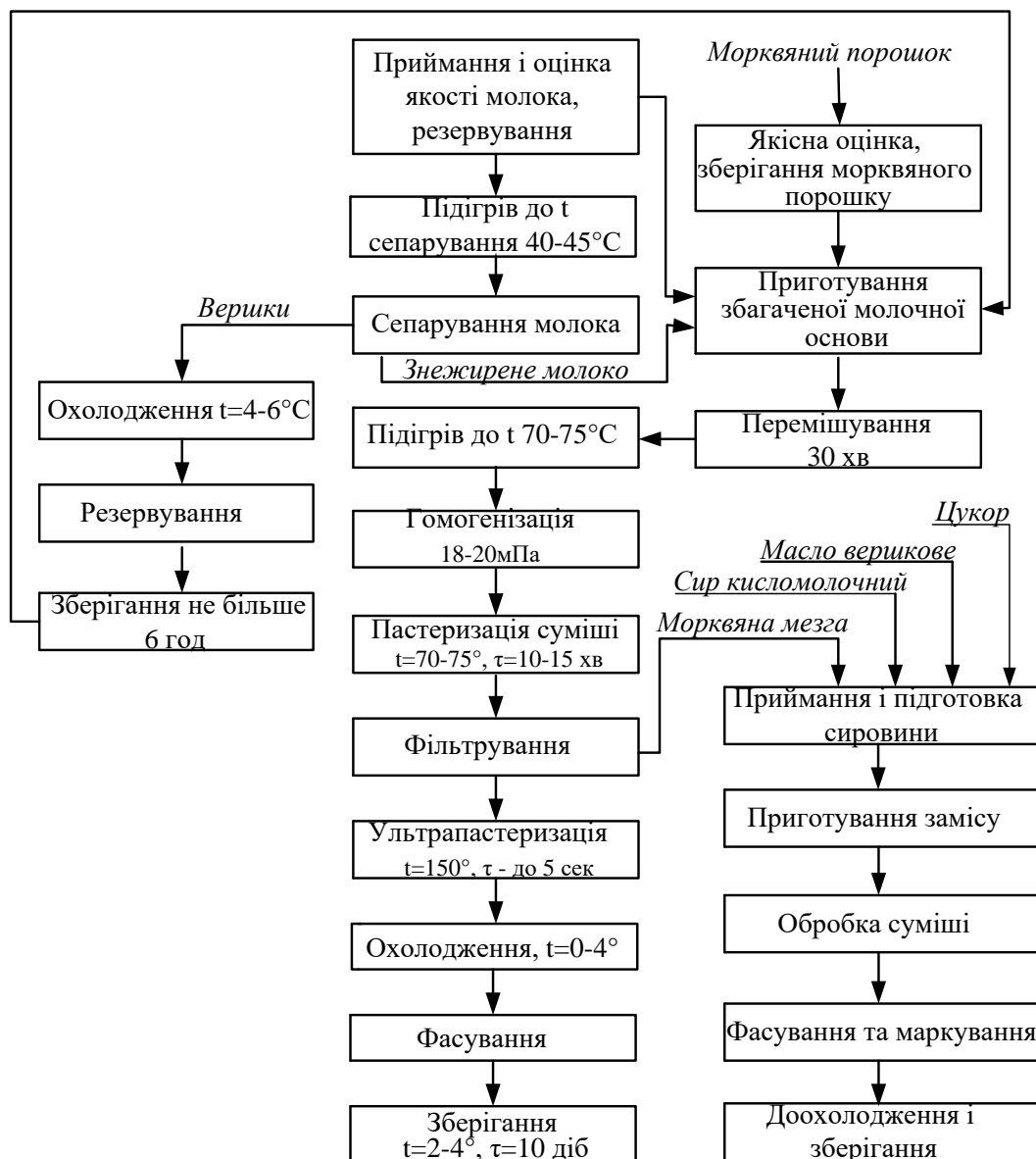


Рисунок 1. Технологічна схема виробництва збагачених молочних продуктів

В якості сировини запропоновано використовувати молоко А2 та сир кисломолочний А2, які згідно з дослідженнями є менш алергенними [10,11,12] та корисними для організму. Для дослідження використовували цільне незбиране (жирністю 3,8) молоко А2,

отримане від корів з віварію Сумського національного аграрного університету.

Згідно із запропонованою технологією, після оцінки якості молока, воно визріває у резервуарах протягом 24 години. Після визрівання молоко підігрівається і сепарується. Відібрані в процесі сепарування вершки, охолоджуються і зберігаються не більше 6 годин. Частина їх використовується для нормалізації молока та молочних продуктів, а частина – для виробництва масла.

Частина молока направляється на приготування молочної суміші. Для цього молоко змішується із морквяним порошком у співвідношенні 10:1, суміш ретельно перемішується протягом 30 ± 5 хв і направляється на гомогенізацію. Нормалізована суміш нагрівається до $70-75^{\circ}\text{C}$, а потім гомогенізується при тиску 18–20 МПа. Така температура забезпечує кращий перехід каротиноїдів у молоко.

Гомогенізована збагачена морквяним порошком молочна суміш направляється на пастеризацію. Пастеризація суміші проводиться протягом 10-15 хв за температури $70-75^{\circ}\text{C}$. Пастеризоване молоко фільтрується і підлягає ультрапастеризації за температури 150°C протягом 5 секунд. Пастеризоване молоко швидко охолоджується до $0-4^{\circ}\text{C}$, фасується та направляється на зберігання.

Морквяну мезгу, відібрану від молочної суміші рекомендовано використовувати у виробництві кисломолочних продуктів в якості харчової добавки. Оскільки молочна-морквяна суміш пастеризується, немає потреби у проведенні додаткової термічної обробки сиркової маси, виготовленої на її основі. При цьому важливо, щоб відібрана в результаті фільтрування морквяна мезга, одразу направлялася на приготування замісу. Зберігання її не дозволяється.

Отримані продукти мали гарні органолептичні властивості (рис.2).

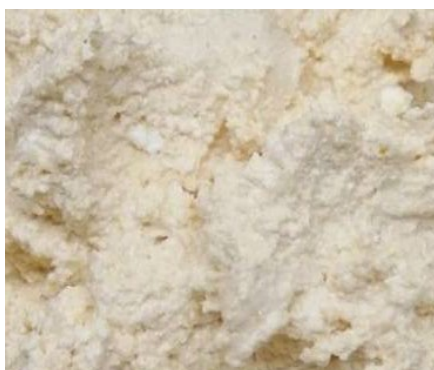
*а**б*

Рисунок 2. Збагачені молочні продукти: *а* – сиркові десерти А2, *б* – молоко А2

Завдяки введенню у склад сиркових мас морквяної мезги,



відібраної після фільтрування збагаченого молока, із рецептури повністю виключено цукор. Збагачене молоко та сиркові маси А2 можуть не лише споживатися як готові молочні продукти, а й бути сировиною для виробництва різноманітних кулінарних страв. Апробовано застосування збагаченого молока А2 для виробництва панакоти, а збагачених сиркових мас – для виробництва запіканок та суфле.

Висновки. Таким чином, дослідження показують, що доцільно використовувати морквяні порошки для збагачення молока А2 та сиркових мас А2.

Список використаних джерел

1. Про затвердження норм та Порядку організації харчування у закладах освіти та дитячих закладах оздоровлення та відпочинку: Постанова №305 від 24 березня 2021 р. / Кабінет Міністрів України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/305-2021-%D0%BF#Text>. (дата звернення: 23.11.2021). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/305-2021-%D0%BF#Text>.
2. Wo'zniak D., Cichy W., Dobrzy'nska M., Przysławski J., Drzymała-Czyz S. Reasonableness of Enriching Cow's Milk with Vitamins and Minerals. *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 1079. <https://doi.org/10.3390/foods11081079>.
3. Rao A. V., Rao L. G. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*. 2007. Vol. 55. No3. P. 207–216, <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>.
4. Ладика Л. М., Машкін М. І., Могутова В. Ф., Богомолів О. В., Денисенко С. А. Розробка технології пастеризованого молока з додаванням ваніліну і β – каротину. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2016. Вип. 179. С. 90–100.
5. Моїсеїва Л. О., Романчук І. О., Рудакова Т. В. Підвищення біологічної цінності кисломолочних продуктів для харчування дітей. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2015. Вип. 1(82), №2. С. 94–98.
6. Khodjaeva U., Wojňanská T., Vietoris V., Sytar O. About food additives as important part of functional food. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. Slovak University of Agriculture*. 2013. Vol. 2. P. 2227–2237.
7. Mayorov A. A., Buzoverov S. Y., Suray N. M. Investigation of characteristics of cottage cheese enriched with food fibres. *Technology: Chemical technology: Food processing and manufacture*. 2016. Vol. 41. No2. P. 62–66.
8. Pavlyuk R., Pogarska V., Radchenko L., Tauber R. D.,



Timofeyeva N. Deep Processing of Carotene-Containing Vegetables and Obtaining Nanofood With the Use of Equipment of New Generation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4. No11(82). P. 36–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.76232>.

9. Samilyk M, Bolgova N, Tsyrylyk R, Ryzhkova T. Prospects for processing and use of root vegetable waste in food production. *Food science and technology*. 2021. Vol.15. No4. P. 60-68. <https://doi.org/10.15673/fst.v15i4.2253>.

10. Kamiński S., Cieslińska A., Kostyra E. Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. *Journal of applied genetics*. 2007. Vol. 48. No3. P. 189–198. <https://doi.org/10.1007/BF03195213>.

11. Elliott R. B., Harris D. P., Hill J. P., Bibby N. J., Wasmuth H. E. Type I (insulin-dependent) diabetes mellitus and cow milk: casein variant consumption. *Diabetologia*. 1999. Vol. 42. No3. P. 292–296. <https://doi.org/10.1007/s001250051153>.

12. Bell S. J., Grochoski G. T., Clarke A. J. Health implications of milk containing beta-casein with the A2 genetic variant. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2006. Vol. 46. No1. P. 93–100. <https://doi.org/10.1080/10408390591001144>.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2023 р.

M. Samilyk, R. Tsyrylyk, N. Voronenko
Sumy National Agrarian University

APPLICATION OF CARROT POWDERS FOR FORTIFICATION OF DAIRY PRODUCTS

Summary

Dairy products are obligatory in the daily diet of children and are the main source of protein intake in their body. It is recommended to consume milk and dairy products that have added vitamins and minerals. The article formulated a hypothesis about the possibility of using carrot powders for enriched dairy products (milk and curd masses). The subject of the study was a powder made in laboratory conditions from the roots of carrots of the Shantane variety. Analysis of the chemical composition of carrot powders showed that they contain 2.9 g/100 g of crude fiber, 1.4 g/100 g of protein and a number of minerals. Most of all, potassium was found in carrot powders - 27.1 mg/100 g. A2 milk and A2 sour-milk cheese, containing only A2A2 β -casein, were used as the main raw materials. β -casein type A2A2 is less allergenic and does not cause digestive disorders. A waste-free technology has been developed, which provides for the enrichment of A2 milk with carrot powder. Carrot powder is mixed with standardized milk mixture, which after thorough mixing is homogenized, pasteurized and filtered. After filtering, the milk is re-pasteurized and sent for bottling. When applying the proposed enrichment technology, the transition of carotenoids into milk (0.1068 mg/100 g) is ensured. Carrot pulp, selected as a result of milk filtration, is recommended to be used as an additive in



the production of cheese masses. At the same time, a balanced dairy product can be obtained by introducing dietary fiber into the composition. By organoleptic properties, fortified milk is similar to baked milk. Enriched curd masses have a delicate texture and creamy color. The use of the developed technology in production will expand the range of dairy products with functional properties. Enriched products can be used as raw materials for the production of culinary dishes.

Key words: fortified milk A2, cheese mass, carrot powder, dietary fiber, carotenoids, minerals, waste-free technology.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-29

УДК 637.5:006.015.5

І. О. Ряполова, к. с.г. н., доц.

ORCID: 0000-0002-7672-6639

А. А. Назаренко

Херсонський державний аграрно-економічний університет

e-mail: ryapolovairina11@gmail.com

ОЦІНКА НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ЗАБІЙНИХ ТВАРИН

Анотація. У статті розглянуто можливі ризики біологічної природи під час забою та первинної переробки м'яса в умовах м'ясокомбінату. Як відомо, ризики які впливають на безпечність харчових продуктів поділяють на фізичні, хімічні і біологічні. Останні можуть бути найбільш небезпечними для споживачів продукції, тож основна увага приділяється мікробіологічним небезпекам. Аналіз ризиків представляє собою процес, який складається з трьох основних етапів: оцінка ризику, попередження та мінімізації ризику, а також інформування про наявність ризику. Оцінка ризиків дозволила визначити основні критичні точки контролю під час певних технологічних операцій на які слід звернути увагу.

Ключові слова: біологічні ризики, небезпечні чинники, забій тварин, первинна переробка м'яса, критичні точки контролю, санітарно-гігієнічний стан.

Постановка проблеми. На сьогоднішній момент глобалізація ринку харчової продукції призвела до необхідності вирішувати проблему безпеки продуктів харчування й необхідності зменшити ризики їхнього негативного впливу на здоров'я людини. Проблема має настільки серйозний і масштабний характер, що уряди країн і провідні асоціації виробників харчової продукції всі частіше торкаються питань безпеки харчової продукції й шукають шляхи її забезпечення й контролю. Найбільш дієвим рішенням називають введення єдиних міжнародних стандартів, вимог до забезпечення безпеки харчових продуктів [1-3].

Виробництво м'яса є однією з найважливіших галузей сучасного світового агробізнесу. Однак справедливо лунає критика щодо безпечності й якості для споживача продуктів тваринного походження. Це залишається актуальною проблемою у багатьох державах і Україна не є винятком. Реалізація належної гігієнічної практики та застосування



процедур, що ґрунтуються на принципах системи аналізу ризиків в критичних контрольних точках слугує, своєю чергою, превентивними підходами у даному питанні. Науковці зазначають, що безумовною вимогою отримання безпечних продуктів, є простежуваність всіх ланок виробничого ланцюгу. Тобто можливість відслідковувати рух харчового продукту на всіх етапах виробництва, переробки та розподілу (кормів, тварини, з м'яса якого виробляють продукти або речовини, які призначені для включення в продукт, або очікується, що будуть внесені в продукт або корм) [4, 5].

Міжнародна Асоціація GS1 на основі чинних стандартів сімейств ISO 9000 та ISO 22000 розробила глобальний стандарт простежуваності GS1, який детально описує процес простежуваності, надає покрокову модель розробки цієї системи, що дає змогу підприємствам розробити систему простежуваності. Асоціація “ДжіЕс1 Україна” адмініструє і впроваджує в Україні всесвітні стандарти GS1 ідентифікації, штрихового кодування та електронних комунікацій [6].

Аналіз останніх досліджень. Більшість проблем щодо біологічних небезпек, пов'язаних із вживанням м'яса, беруть свій початок на фермах і в докільлі. Тому підвищена увага має приділятися превентивним заходам як у місцях початкової стадії вирощування тварин, так і на заключній стадії виробництва продукції тваринного походження [7, 8].

Профілактика небезпек вимагає неухильної уваги протягом усього ланцюга виробництва, при цьому відповідальність за безпечність продуктів повинна покладатися на всіх учасників виробничого процесу: тваринників, переробників, дистрибуторів, роздрібну торгівлю, споживачів і компетентних органів, які здійснюють контроль і нагляд за харчовими продуктами.

Формулювання мети статті. Метою нашої роботи є аналіз критичних точок контролю та виявлення біологічних ризиків під час технологічного процесу забою та первинної переробки м'яса в умовах м'ясокомбінату.

Одним з критеріїв, за якими оцінюють безпечність продукту, є оцінка ризиків, які пов'язані з виробництвом, споживанням та реалізацією продуктів харчування. За сучасним визначенням ризиком можна назвати імовірність нанесення продуктом шкоди життю або здоров'ю людей, які їх вживають.

Як відомо, ризики які впливають на безпечність харчових продуктів поділяють на фізичні, хімічні і біологічні. Останні можуть бути найбільш небезпечними для споживачів продукції, тож основна увага приділяється мікробіологічним небезпекам. Оцінка мікробіологічних ризиків є необхідною складною системою заходів, оскільки ці ризики мають безпосередній вплив на здоров'я людини.



Аналіз ризиків представляє собою процес, який складається з трьох основних етапів: оцінка ризику, попередження та мінімізації ризику, а також інформування про наявність ризику [9].

При забрудненні продукту мікробіологічними компонентами показником їх кількості вважають кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (визначається у колонієутворюючих одиницях – КУО на 1 г). Така їх кількість визначається за допомогою підрахунку колоній при посіві на поживні середовища та регламентується Міжнародною організацією зі стандартизації методів мікробіологічного аналізу (International Standard Organisation – ISO).

З точки зору мікробіологічного забруднення продукт харчування може містити такі види мікроорганізмів: санітарно-показові (мезофільні аеробні та факультативні мікроорганізми – бактерії групи кишкової палички, родини Enterobacteriaceae, ентерококи); умовно-патогенні мікроорганізми (*E. coli*, *S. aureus*, бактерії роду *Proteus*, *B. cereus*, сульфитредукуючі клостридії, *Vibrio parahaemolyticus*); патогенні мікроорганізми (сальмонели, *Listeria mono cytogenes*, бактерії роду *Yersinia*); мікроорганізми псування продуктів (дріжджі та плісняві гриби, молочнокислі бактерії); пробіотики та заквасочні мікроорганізми. Забруднення продукту може відбуватися одним або кількома санітарно-показовими мікроорганізмами, які розподіляють на такі групи:

- перша група – представники, що перебувають у кишківнику людини. До них відносяться група кишкової палички (коліформні бактерії), ентерококи, клостридії, коліфаги. Їх визначення є показником фекального забруднення продукту;

- до другої групи відносять мікроорганізми, які найчастіше виявляються у верхніх дихальних шляхах, а саме стафілококи. Вони відображають повітряно-крапельне забруднення середовища;

- третя група мікроорганізмів включає в себе сапрофітних представників навколишнього середовища: актиноміцети, гриби, спороутворюючі бактерії, бактерії – амоніфікатори та нітрифікатори.

Отже, існує велика кількість мікроорганізмів, які можуть нести в собі небезпеку при потраплянні їх у продукти харчування та при подальшому вживанні їх з їжею.

Основна частина. Потрапляння мікроорганізмів у продукт може відбуватися різним шляхами та на різних етапах виробництва (при вирощуванні сировини, переробці продукту, а також під час його зберігання або транспортування). Джерелами мікроорганізмів може бути повітря, вода, ґрунт, людина та тварини. Продовольчу сировину та харчові продукти стосовно розвитку мікроорганізмів слід розглядати як сукупність природних технологічних чинників, серед яких



основними є:

- наявність і сукупність фізико-хімічних обмежуючих (хімічний склад сировини чи продукту. Основними поживними речовинами для мікроорганізмів у м'ясних продуктах без добавок є білки, глікоген, полісахариди, ліпіди. Характерною властивістю м'яса є досить високий вміст широкої гама фізіологічно-активних речовин, часто у мікрокількостях. Це зумовлює додаткову небезпечність м'ясопродуктів, як носія патогенної (здебільшого гетеротрофи паразити) і умовно-патогенної мікрофлори (здебільшого гетеротрофи сапрофіти);

- наявність стимулюючих чинників, а також конкуруючої мікрофлори. Варто пам'ятати властиву м'ясу забійних тварин динаміку післязабійних процесів. Зокрема, на стадії задубіння зниження рН та зменшення кількості вільної вологи роблять м'ясо менш сприятливим для розвитку мікроорганізмів. На цій стадії м'ясо з мікробіологічної точки зору (за умови відсутності надмірного мікробного забруднення) як найбільше придатне до заморожування;

- час експозиції (час від потрапляння чи внесення мікроорганізмів до припинення розвитку внаслідок термічної обробки чи впливу інших обмежувальних чинників). Це означає необхідність мінімізувати тривалість попередньої обробки перед холодильною чи тепловою обробкою;

- недотримання правил особистої гігієни. Багато із мікроорганізмів, що викликають харчові захворювання, передаються через випорожнення та оральним шляхом (через ротову порожнину). Інфіковані робітники, які обробляють продукт і не дотримуються правил особистої гігієни переносять мікроорганізми на харчовий продукт. Це є основним чинником, що впливає на виникнення спалахів з причини вірусів (гепатит А, Norwalk) та таких бактерій як *Shigella*. *Staphylococcus aureus* може переноситися зі шкіри і ніздрів робітників на харчові продукти і після проходження певного часу може нагромадитися у великих кількостях в готових харчових продуктах і спричинити спалах токсикоінфекції;

- перехресне зараження. Харчові патогенні мікроорганізми можуть переноситися із сирого продукту на кухонне приладдя та оснащення, через яке можуть далі передаватися готовим харчовим продуктам чи тим, що вже пройшли теплову обробку, і призвести до хвороби. Дошки для нарізки продукту, ножі, міксери та м'ясорубки, які важко піддаються чистці, представляють собою особливу проблему.

Згідно мети нашої роботи ми провели аналіз технологічних операцій під час забою і первинної переробки тварин в умовах м'ясокомбінату і визначили найбільш значущі ділянки з точки зору мікробної безпеки (табл. 1).



Таблиця 1

Аналіз біологічних ризиків при виробництві м'яса

Можливі ризики	Причини виникнення	Контрольні міри
Знекровлення		
Сприятливі умови для розвитку м/о	Погане знекровлення туші	Дотримання параметрів технологічного режиму
Зняття шкіри		
Потрапляння великої кількості м/о на поверхню туші	Забруднена шкіра	Чищення або миття шкіри перед забоем тварин
Видалення внутрішніх органів		
Потрапляння великої кількості м/о на внутрішню та зовнішню поверхню туші	Розрив шлунково-кишкового тракту внаслідок невдалого нутрування	Виконання даного процесу кваліфікованими працівниками
Сухий та вологий туалет туш		
Забруднення патогенними та умовно-патогенними організмами (бактерії з роду сальмонел, кишкової палички, віруси, гриби)	Недотримання гігієни виробництва	Перевірка робочого стану обладнання, мікробного стану води, перевірка епідемічного благополуччя персоналу
Зберігання м'яса в тушах і полутушах		
Розвиток небажаної мікрофлори	Недотримання температурних режимів зберігання	Моніторинг температурного і вологосного режимів
Обвалювання м'яса		
Обсіменіння патогенними організмами (бактерії з роду сальмонел, кишкової палички)	Недотримання гігієни виробництва, температурний режим	Перевірка епідемічного благополуччя персоналу та санітарного стану інструментів, поверхні столів

Серед умов, які сприяють потраплянню мікробів до продукту, можна перерахувати: недотримання санітарно-епідеміологічних норм виробництва, забруднення техніки або рук працівників які оброблюють сировину, тощо.

Як видно з даної таблиці аналіз біологічних ризиків під час забою та первинній переробці м'яса дає змогу оцінити можливі ризики та виділити основні критичні точки контролю (рис.1).

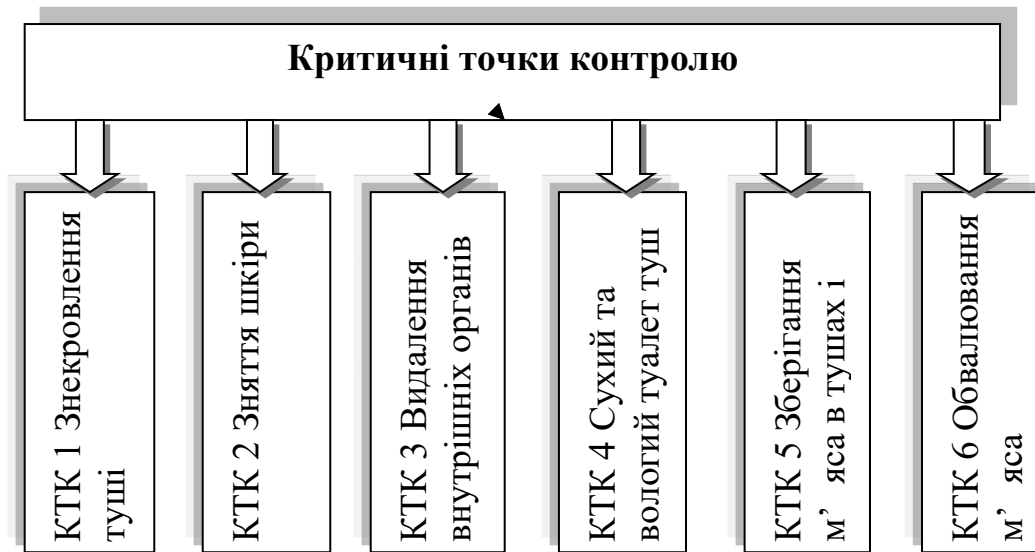


Рисунок 1. Критичні точки контролю мікробіологічних ризиків під час забою і первинної переробки тварин

Після виявлення потенційних небезпек на кожному кроці процесу виробництва розробляються попереджувальні заходи управління, основані на знанні ризиків та їх джерел, а також точок зараження. Заходами управління називаються види діяльності, які необхідні для попередження чи усунення ризику або зниження його до прийняттого рівня. Кілька заходів управління може бути потрібно для управління одним ризиком і навпаки, декількома ризиками можна управляти за допомогою одного заходу. Тож, розглянемо детально ймовірні ризики і заходи їх усунення.

Процес знекровлення туші передбачає максимальне видалення крові з судин, так як від цього залежатиме час зберігання м'яса, його безпечність. Відомо, що незадовільний ступінь знекровлення може бути у тварин яких забивають в стадії агонії, з наявними запальними процесами, при інфекційних хворобах. Тому, ця технологічна операція є першою критичною точкою (КТК 1) і підлягає суворому контролю під час ветеринарно-санітарної експертизи, що є запобіжним заходом для випуску безпечної продукції.



Зняття шкіри є другою критичною точкою контролю (КТК 2). Під час цієї операції велика кількість мікроорганізмів, що знаходиться на волосяному покриві шкіри разом з часточками бруду піднімається у повітря, а потім осідає на поверхню туші забруднюючи її. Контрольною мірою з недопущення цього виду забруднення є чищення або миття тварин перед забоєм.

Третя точка контролю (КТК 3) стосується етапу видалення внутрішніх органів (нутрування). Процес нутрування пов'язаний з кваліфікацією працівників на цій операції, при невдалому розрізі може відбуватися розрив кишківника та потрапляння його вмісту на прилеглі тканини, що призводить до забруднення мікрофлорою яка має санітарне значення зовнішньої та внутрішньої поверхні туші. Отже, запобіганню виникнення ризику на даній технологічній операції є висока кваліфікація працівників та моніторинг даного процесу.

Під час заключного етапу з технології забою проводять туалет туші. Його здійснюють сухим способом, видаляючи забруднення, побитості, прирізи шкіри, або вологим методом, використовуючи принцип душу. Недотримання санітарно-гігієнічних норм виробництва (якість води, обладнання, епідемічне благополуччя персоналу) може вплинути на мікробне забруднення туші. Як зазначає Загребельний В.О. [10], найбільша кількість мікроорганізмів відмічається на тушах, в яких було проведено вологий туалет. Туші, які оброблені сухим туалетом були менш контаміновані мікроорганізмами та краще зберігалися. Таким чином, четвертою критичною точкою контролю (КТК 4) є туалет туші. Зниження ймовірності виникнення ризиків під час здійснення цього процесу необхідно забезпечувати дотриманням санітарно-гігієнічних вимог виробництва і контролюються ці вимоги виробничою лабораторією м'ясокомбіната та працівниками санітарно-епідеміологічної інспекції.

П'ятою критичною точкою контролю (КТК 5) є процес зберігання туш або полутуш. Після проведення остаточної, фінальної ветеринарно-санітарної експертизи туш їх направляють на первинну переробку (обвалювання) або зберігають певний час. У холодильниках або приміщеннях для зберігання м'яса необхідно створювати умови (низька температура і відносна вологість не більше 80%) які будуть гальмувати розвиток наявної мікрофлори і за можливістю зменшувати її кількість. Моніторинг за умовами зберігання за допомогою технічних пристроїв дозволить запобігти псуванню м'яса.

Під час розбирання туш (КТК 6), відбувається перерозподіл мікрофлори, яка навіть при дотриманні всіх вимог у невеликих кількостях може знаходитися на поверхні туші. Кількість мікроорганізмів в м'ясі різко збільшується при розрубі туш, обвалюванні та жилуванні, – оскільки ці операції виконують вручну.



Наприклад, тільки після розрубу і обвалювання осіменіння м'яса мікроорганізмами інколи зростає в 100 разів і більш. В процесі розрубу, обвалювання і жилування м'язова тканина оголюється і подрібнюється, унаслідок чого збільшується площа її зіткнення із зовнішнім середовищем, і стає неминучим попадання в м'ясо різних гнильних неспороутворюючих і спорових бактерій, ентерококів, актиноміцетів, цвілевих грибів, дріжджів, бактерій групи кишкової палички, роду протеус, стафілококів і інших сапрофітних і умовно-патогенних мікроорганізмів, а інколи – і патогенних бактерій (сальмонел та ін.).

Контрольною мірою для недопущення цього ризику з метою максимального зниження ступеня мікробного осіменіння сировини необхідно, щоб процес підготовки був короткочасним (не більше кількох годин) і проводився при зниженій температурі виробничих приміщень не вище 12⁰С. Крім того, слід строго дотримуватися санітарно-гігієнічного режиму виробництва (ретельна санітарна обробка приміщень, столів, інструментів, тари, спецодягу, дотримання правил особистої гігієни робітниками тощо).

Мікроорганізми можуть потрапляти в м'ясо з рук робітників, із спецодягу, інструментів, столів для обвалювання, інвентарю, тари, з повітря виробничих приміщень та ін. Відбувається також перерозподіл мікроорганізмів, що є на поверхні туші, та оголюванні при розрізі нової (внутрішньої) ділянки м'язової тканини. Ступінь осіменіння м'яса залежить від розмірів шматків, на які розділяють туші: чим більше відношення поверхні до об'єму шматка (тобто менше його величина), тим більше ступінь осіменіння мікроорганізмами. Оскільки основним фактором забруднення м'яса мікроорганізмами є недотримання санітарно-гігієнічних вимог виробництва, ми провели дослідження в цеху розробки м'яса під час обвалювання та жилування туш великої рогатої худоби (табл. 2).

Перед початком роботи у цеху обвалювання м'яса, практично всі досліджувані об'єкти мають задовільний санітарний стан. Кількість мікроорганізмів не перевищують 1000 колоніє утворюючих одиниць (КУО) на 1 см², також не виявлено БГКП. Це свідчить, що миття, обробка приміщення, обладнання після закінчення роботи здійснюється ретельно, з дотриманням вимог санітарії та гігієни.

Під час роботи з обвалювання м'яса, показники загальної кількості мікроорганізмів суттєво збільшились на столі, інструментах, на руках робітників, також зафіксовано і ріст на агарі Ендо характерних для БГКП колоній, що свідчить про наявність цих бактерій на поверхні туш. У повітрі цеху та у змивах зі стін спостерігалось незначне збільшення загального числа мікроорганізмів у Показники загальної кількості мікроорганізмів на 1см² площі поверхні.



Таблиця 2

Мікробіологічні показники безпеки інструментів, обладнання, води, повітря цеху обвалювання м'яса

Об'єкти досліджень	Мікробіологічні показники		
	Кількість досліджень	КМАФАнМ КУО на см ²	БГКП КУО на см ²
Перед початком роботи			
Повітря приміщення	3	$1,2 \pm 1,1 \times 10^2$	-
Робоча поверхня столу для обвалювання м'яса	3	$7,8 \pm 1,3 \times 10^2$	-
Стіни цеху	3	$1,7 \pm 1,6 \times 10^3$	-
Інструменти (ножі, мусати)	9	$6,1 \pm 2,3 \times 10^2$	-
Руки персоналу	3	$1,6 \pm 0,8 \times 10^3$	
Під час робочої зміни			
Робоча поверхня столу для обвалювання м'яса	3	$6,4 \pm 2,1 \times 10^4$	$1,3 \pm 0,8 \times 10^3$
Повітря приміщення	6	$6,8 \pm 1,4 \times 10^2$	-
Стіни цеху обвалки	6	$5,2 \pm 3,1 \times 10^3$	-
Інструмент (ножі мусати)	9	$10,6 \pm 2,5 \times 10^4$	$4,1 \pm 1,7 \times 10^2$
Руки персоналу	3	$2,8 \pm 0,1 \times 10^4$	$1,2 \pm 0,8 \times 10^2$
Вода	3	$6,2 \pm 4,1 \times 10^2$	-

Отже, як зазначено в Codex Alimentarius [11], структури м'ясопереробних підприємств, їх обладнання, мусять обмежувати мікробне зараження до найнижче можливого рівня і запобігати подальшого поширення такого зараження до рівнів, що становлять загрозу. Належне додержання гігієнічних норм та виробнича практика мінімізуватиме таку небезпеку. Програми навчання разом з належним наглядом для забезпечення відповідності операційним вимогам також становлять важливий чинник у додержанні гігієнічних норм при заборі та розбиранні.

Висновки. Таким чином, проведені дослідження показують, що ефективний контроль безпечності м'ясних туш в процесі первинної переробки в умовах м'ясокомбінату базується на прогнозуванні, ідентифікації небезпечних чинників та управлінні ризиками. Для мінімізації мікробіологічної загрози на м'ясокомбінаті «Мрія» під час забою тварин і їх первинної переробки, необхідно приділяти увагу зазначеним критичним точкам, мінімізувати біологічні небезпеки шляхом впровадження попереджувальних заходів.



Список використаних джерел

1. Гуліч М. Безпека продуктів харчування як частина продовольчої безпеки України. URL: <http://amnu.gov.ua/bezpeka-produktiv-harchuvannya-ya-k-chastyna-prodovolchoyi-bezpeky-ukrayiny/> (Дата звернення 30 серпня 2020).
2. Kurpas M., Kinga W., Jacek O. Ready-to-eat meat products as a source of *Listeria monocytogenes* Journal of veterinary research №62.1. 2018. P. 49–55.
3. Theocharidi, Nikoletta Argyro, et al. High prevalence of *Klebsiella pneumoniae* in Greek meat products: detection of virulence and antimicrobial resistance genes by molecular techniques. Foods №11.5. 2022. P. 708.
4. Yu Z., Jung D., Park S., Hu Y., Huang K. Intelligent traceability for the safety of food product Critical Reviews in Food Science and Nutrition № 62 (4). 2022. P. 905–916.
5. Latino M. E., Menegoly M., Lazoy M., Corallo A. Voluntary traceability in the food supply chain: the basis for its implementation in «Agriculture 4.0». *Technological forecasting and social changes*. 2022. P. 178, 121564.
6. Асоціація «ДжіЕс1 Україна». URL: <https://gs1ua.org> (дата звернення 14 квітня 2022).
7. Семко Т., Іваніщева О. Вимоги ЄС щодо безпечності харчових продуктів та особливості впровадження систем НАССР у м'ясній промисловості України. *Продовольчі ресурси* №6 (11). 2018. С. 155–165.
8. Ряполова І. О., Новікова Н. В. Превентивна система контролю виробництва яловичини за біологічними ризиками. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. №4 (67). С. 202–208.
9. Luning P. A., Jacxsens L., Rovira J., Osés S. M., Uyttendaele M., Marcelis W. J. A concurrent diagnosis of microbiological food safety output and food safety management system performance: Cases from meat processing industries. *Food Control*, 22(3-4). 2011. P. 555–565.
10. Загребельний В. О., Якубчак О. М., Таран Т. В. Вплив способів заключної обробки туш на якість яловичини: монографія. НУБіП України. К. : Компринт, 2012. 94 с.
11. Codex Alimentarius. URL: <http://www.codexalimentarius.net>

Стаття надійшла до редакції 19.04.2023 р.



I. O. Ryapolova, A. Nazarenko
Kherson State Agrarian and Economic University

ASSESSMENT OF HAZARDOUS FACTORS IN PROCESSING ANIMALS FOR SLAUGHTER

Summary

The article considers possible risks of a biological nature during slaughter and primary processing of meat in the conditions of a meat processing plant. As you know, the risks affecting the safety of food products are divided into physical, chemical and biological. The latter can be the most dangerous for consumers of products, so the main attention is paid to microbiological hazards. Risk analysis is a process that consists of three main stages: risk assessment, risk prevention and minimization, as well as informing about the presence of risk. The risk assessment made it possible to determine the main critical control points during certain technological operations that should be paid attention to.

The first critical point of control is the process of bleeding the carcass, the quality of the bleeding will depend on the time of meat storage and its safety. Skin removal is the second critical control point. During this operation, a large number of microorganisms contained on the skin can settle on the surface of the carcass, contaminating it. The third point of control concerns the stage of removal of internal organs (evisceration), during which damage to the gastrointestinal tract (due to unsuccessful evisceration) and contamination of the carcass with its contents may occur. Non-observance of sanitary and hygienic norms of production during the implementation of carcass toilets (water quality, equipment, epidemic well-being of personnel) can affect the microbial contamination of the carcass, this is the next, fourth point of control. The fifth critical point is the process of storing carcasses or half-carcasses. During the disassembly of carcasses (sixth point of critical control), there is a redistribution of microflora, which, even if all requirements are met, can be found on the surface of the carcass in small quantities.

After identifying potential hazards at each stage of the production process, preventive management measures are developed based on knowledge of risks and their sources, as well as points of contamination.

Key words: biological risks, dangerous factors, animal slaughter, primary meat processing, critical control points, sanitary and hygienic condition.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-30

УДК 664.66.022.39

В. О. Сукманов, д.т.н.

ORCID: 0000-0003-1248-4068

А. В. Супрун, аспірант.

ORCID: 0000-0002-0604-3082

Сумський національний аграрний університет

e-mail: suprun9111@gmail.com, тел.: 095-011-65-84

ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА З ЕКСТРАКТОМ ЛУШПИННЯ ЦИБУЛІ ТА ОЦІНКА ЙОГО СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Анотація. Дана робота присвячена удосконаленню технології пшеничного хліба з використанням екстракту лушпиння цибулі та дослідження його споживчих властивостей. На основі результатів комплексу експериментальних досліджень удосконалено технологію та розроблено рецептуру пшеничного подового хліба, що виготовлявся безопарним способом із додавання екстракту лушпиння цибулі. Екстракт лушпиння цибулі отримували екстрагуванням субкритичною водою у статичному режимі. Далі отримані екстракти висушували для можливості тривалого зберігання. При додаванні у рецептуру пшеничного хліба сухий екстракт розчиняли у воді. Для досліджень було виготовлено три зразки хліба: контрольний за класичною рецептурою та з додаванням екстракту лушпиння цибулі із заміною води в рецептурі на 0,1 % та 0,2 % екстракти. Далі досліджували харчову та біологічну цінність зразків хліба, також розраховано покриття добової потреби в поживних та біологічноактивних речовинах. Дослідження показали, що додавання екстракту лушпиння цибулі до рецептури пшеничного хліба позитивно впливає на збільшення вітамінів, біологічноактивних та мінеральних речовин. А введення в рецептуру хліба екстракту лушпиння цибулі не вимагає істотних змін в технологічному процесі.

Ключові слова: хліб пшеничний, екстракт, лушпиння цибулі, поліфеноли, технологія, рецептура.

Постановка проблеми. Забезпечення населення якісними харчовими продуктами високої харчової цінності на сьогодні є актуальне завдання. З огляду на причини виникнення великої кількості хвороб, пов'язаних зі способом життя та раціоном харчування, очевидно, що більшості населення потребує корективи у раціоні харчування. Продукти харчування мають містити достатню кількість



природних біологічно активних речовин: вітамінів, макро- та мікроелементів, незамінних амінокислот, харчових волокон, поліненасичених жирних кислот, які здатні підвищувати здатність організму людини чинити опір до впливу негативних факторів навколишнього середовища[1].

Оскільки хліб є основним продуктом в раціоні кожної людини, то доцільним буде покращання його харчової цінності та споживчих властивостей у такий спосіб створюючи позитивний вплив на здоров'я населення.

Жовта цибуля (*Allium cépa*) є однією найбільш вирощуваних аграрних культур не лише в Україні, а й в усьому світі [2]. Під час переробки даної культури щорічно у світі утворюється близько 0,55 млн т відходів [3]. До них відносять лушпиння цибулі (ЛЦ), котре виникає в процесі зберігання самовідлущенням верхнього шару, під час висихання. Утилізація ЛЦ стає екологічною проблемою, тому що не підходить в якості кормів для тварин і компосту для посівних площ, тому утилізують на сміттєзвалищах. В ЛЦ міститься більше біологічно активних речовин (БАР), ніж у частині цибулини що придатна споживання [4]. У ЛЦ виявлено велику кількість поліфенолів, а саме флавоноїдів, таких як рутин і кверцетин та їх похідні. Вони мають високу антиоксидантну активність, мають протизапальну, антиалергічну, протипухлинну, антигістамінну здатність. Крім того, вони мають антитромбозну активність та здатність попереджувати серцево-судинні захворювання [5].

Вченими доведено доцільність використання ЛЦ, як сировини для отримання екстрактів, в котрих містяться БАР, методом екстрагування субкритичною водою (СКВ). Зміни, що відбуваються з фізико-хімічними властивостями води при збільшенні тиску і температури, надають їй ряд переваг над іншими видами екстрагентів: висока чутливість розчинюючої здатності СКВ до зміни тиску або температури; простота поділу СКВ і розчинених в ній речовин при скиданні тиску; технологічна і екологічна безпека виробництва; низька собівартість [6, 7].

Екстракт ЛЦ є локальною сировиною з багатим нутрієнтним складом, може добре поєднуватися з тістовою системою і покращувати показники якості хлібобулочних виробів [8].

Аналіз останніх досліджень. Аналіз літературних джерел показав, що дослідження, пов'язані введенням екстракту ЛЦ в рецептуру хліба, вже проводились, але проблему вирішено не повністю. Досліджено вплив екстракту ЛЦ на основі метанолу, на якісні показники пшеничного хліба. Встановлено, що даний екстракт, через його токсичність, не доцільно включати в рецептури хлібних виробів в значних кількостях, через негативний вплив на дозрівання тіста та на



органолептичні показники готових виробів [9]. Науковцям, за рахунок введення в рецептуру хліба екстракту ЛЦ у вигляді розчинів вдалося отримали позитивний вплив на його якість: питомий об'єм тіста зростає при зброджуванні протягом 180 хв; підвищуються органолептичні показники хліба, величина його пружної деформації під час зберігання протягом 72 год, підвищилися вміст поліфенолів і загальна антиоксидантна ємність. Додавання екстракту ЛЦ в рецептуру пшеничного хліба не потребувала істотних змін у технологічному процесі [6, 10].

Формулювання мети статті. Метою досліджень, результати яких надані в цій статті, є удосконалення технології пшеничного хліба з використанням екстракту лушпиння цибулі та дослідження його споживчих властивостей.

Основна частина. Раніше нами уже проводилися дослідження щодо вивчення впливу екстракту ЛЦ на якісні показники пшеничного хліба, при його включення в рецептуру [6, 10].

Для дослідження було виготовлено три зразки хліба: контрольний за класичною рецептурою та з додаванням екстракту лушпиння цибулі із заміною води в рецептурі на 0,1 % та 0,2 % екстракти. Для визначення основних показників якості тіста і готових виробів використовувалися загальноприйняті, а також регламентовані ДСТУ методи та прилади. При формуванні об'єму, пористої структури та реологічних властивостей тіста найкращі результати зафіксовано у зразку з додаванням 0,1 % екстракту лушпиння цибулі. За фізико-хімічними та органолептичними властивостями готової продукції найкращі результати також отримав хліб з додаванням 0,1 % екстракту ЛЦ. Досліджено структурно-механічні властивості хліба протягом 72 год зберігання, значення пружної деформації зразків з додаванням 0,1 % та 0,2 % екстракту лушпиння цибулі на 19 % та 17 % було більше, ніж у контрольного зразка. Отже найбільш оптимальним варіантом рецептури виявився з додаванням 0,1 % екстракту ЛЦ (таблиця 1).

При додаванні в рецептуру хліба екстракту лушпиння цибулі підвищився загальний вміст поліфенолів та загальна антиоксидантна ємність готового продукту, також протягом терміну зберігання зменшувався розвиток мікроорганізмів у хлібі, відносно контрольного зразка.

Екстракт ЛЦ отримували екстрагуванням субкритичною водою у статичному режимі. Далі отримані екстракти висушували для можливості тривалого зберігання. При додаванні у рецептуру пшеничного хліба сухий екстракт розчиняли у воді у співвідношенні 0,1 г/100 мл та 0,2 г/100 мл води.



Таблиця 1

Рецептура виготовлення зразків хліба

Найменування сировини	К-сть сировини з розрахунку на 100 кг борошна		
	Контроль	3 0,1% екстрактом ЛЦ	3 0,2% екстрактом ЛЦ
Борошно пшеничне в/г, КГ	100	100	100
Дріжджі пресовані, кг	2,44	2,44	2,44
Сіль, кг	1,62	1,62	1,62
Цукор, кг	0,97	0,97	0,97
Вода, кг	57,56	-	-
Екстракт ЛЦ, кг	-	57,56	57,56

Для отримання подового пшеничного хліба тісто готували безопарним способом. В ємність дозували сировину в кількості на перерахунок 650 г тіста. Тісто замішувалось протягом 15 хв. та зроджувалось на протязі 180 хв., при температурі 32 °С з періодичним обминанням. Після формування та остаточного вистоювання хліб випікався при температурі 180 °С протягом 40 хв. Випечені вироби охолоджували при температурі 20 °С і відносній вологості не більше 75%. Аналіз готових виробів проводили через 16 години після випічки хліба. Упакований в поліпропіленову плівку, хліб зберігали при кімнатній температурі.

На основі результатів комплексу експериментальних досліджень нами удосконалено технологію та розроблено рецептуру подового хліба, що буде виготовлятися безопарним способом із додавання екстракту ЛЦ.

Удосконалена технологія хліба відрізняється від традиційної й передбачає такі особливості: внесення екстрактів ЛЦ в стадії замішування, замінюючи воду; скорочення тривалості дозрівання тіста; збільшення кількості БАР в готових виробах; збільшення строків зберігання хліба.

Технологічна схема розробленого хлібного виробу представлена на рисунку 1.

Харчова, біологічна та енергетична цінність виробів є однією із важливих складових їх споживчої цінності. Під час дослідження екстракту ЛЦ було встановлено, що він характеризується високим вмістом БАР, а саме кверцетин, рутин та їх похідні, мінеральних речовин, вітамінів, що має змогу прогнозувати підвищення харчової та біологічної цінності хліба.

Для оцінки міри забезпечення добової потреби людини (І група

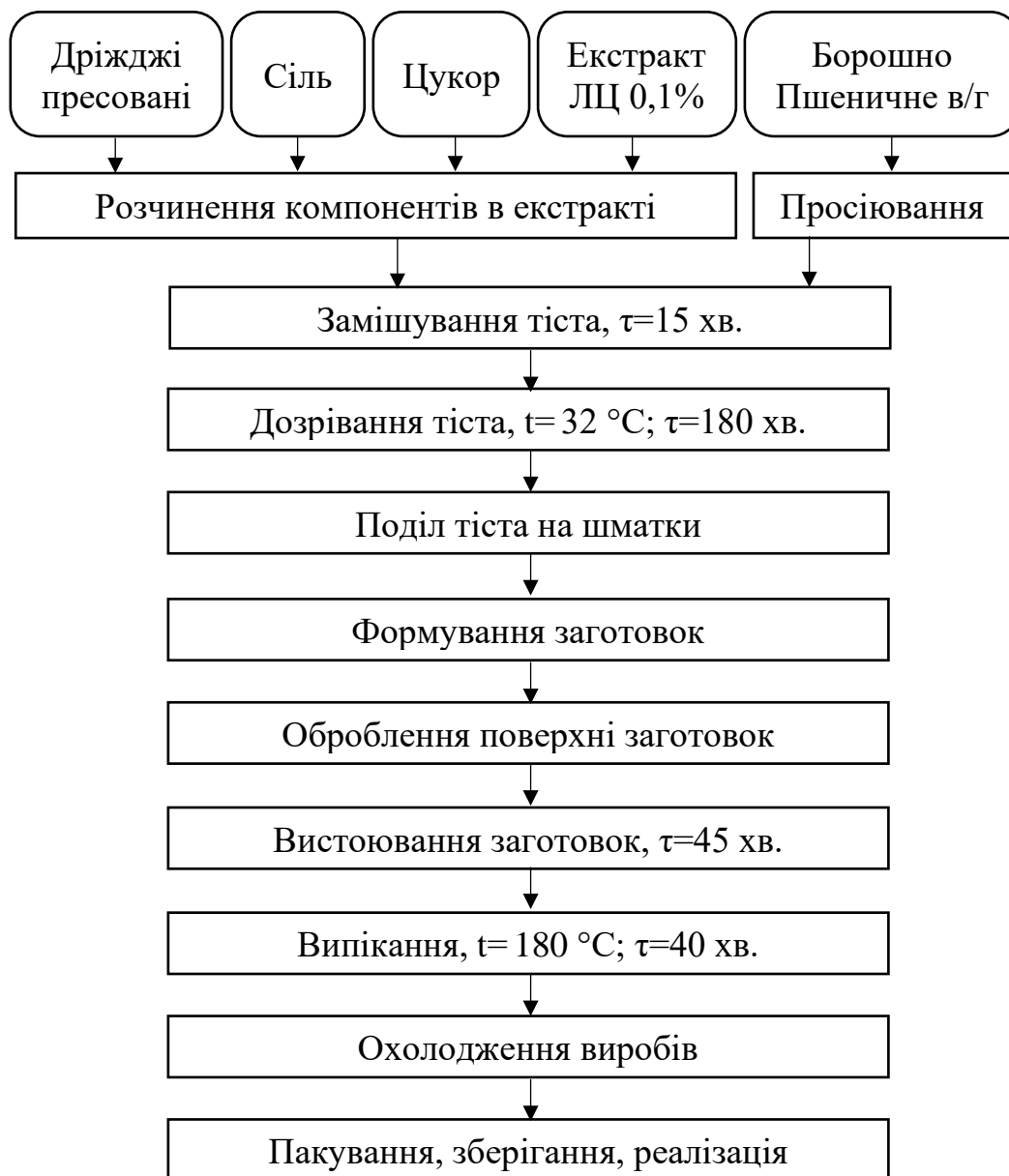
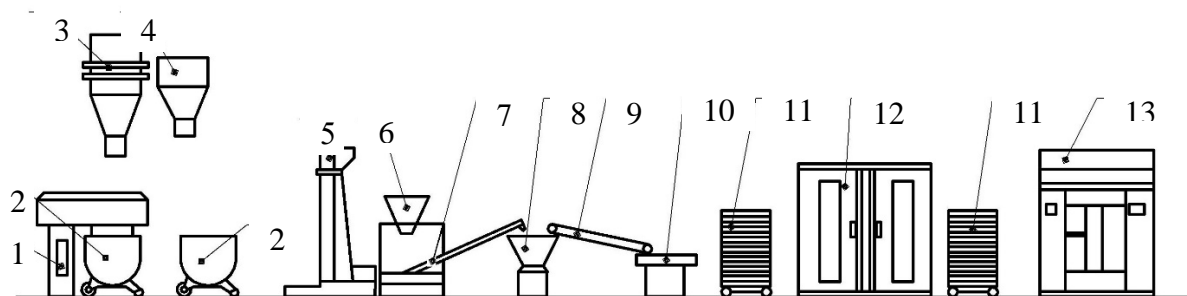


Рисунок 1. Технологічна схема виробництва хліба з додаванням екстракту ЛЦ

інтенсивності праці, жінки, вік 30-39 років) у важливих фізіологічних функціональних інгредієнтах визначали інтегральний скор дослідних виробів за умов вживання денної норми хліба – 277 г. Енергетичну цінність хліба розраховували, виходячи з його енергетичного складу.

У таблиці 2 наведені результати розрахунку хімічного складу хліба на 100 г виробів, а в таблиці 3 дані про покриття добової потреби організму людини в основних фізіологічно функціональних інгредієнтах за умови вживання денної норми виробів.

З представлених у таблиці 2 і 3 даних видно що внесення 0,1% та 0,2 % екстракту ЛЦ до рецептури пшеничного хліба не впливає на вміст білків в обох зразках. На опказники кількості жиру та вуглеводів



1 – тістомісильна машина; 2 – діжі; 3 – автоборошномір; 4 – дозатор рідких компонентів; 5 – діжоперкидач; 6 – тістоподільник; 7- транспортер; 8 – тістоокруглювач; 9 – проміжний транспортер; 10 – стіл для оброблення тіста; 11 – контейнери; 12 – шафа остаточного вистоювання; 13 – хлібопекарська ротаційна піч.

Рисунок 2. Апаратурно-технологічна схема з виробництва пшеничного хліба з екстрактом ЛЦ

додавання екстракту ЛЦ, також не повпливало. За цих умов не вдасться підвищити забезпечення у добовій потребі вищевказаних елементів.

Таблиця 2

Харчова та енергетична цінність хліба з додаванням екстракту ЛЦ

Складова	Вміст поживних речовин та БАР у 100 г хліба		
	Контроль	з 0,1% екстрактом ЛЦ	з 0,2% екстрактом ЛЦ
Білки, г	7,4±0,3	7,42±0,3	7,41±0,3
Жири, г	0,7±0,02	0,7±0,02	0,7±0,02
Вуглеводи, г	46,8±3,0	46,7±3,0	46,8±3,0
Вітаміни, мг			
В ₁	0,1±0,004	0,14±0,004	0,16±0,004
С	0,0	0,8±0,03	0,1,2±0,03
РР	1,28±0,05	1,36±0,05	1,39±0,05
Е	0,89±0,02	1,1±0,02	1,4±0,02
Поліфеноли, ЕГК/г	4,98±0,02	6,46±0,02	8,04±0,02
Мінеральні речовини, мг :			
кальцій	13±0,6	13,2±0,6	13,4±0,6
магній	13,3±0,02	13,6±0,02	13,9±0,02
Фосфор	59,1±2,0	60,1±2,0	60,9±2,0
Залізо	0,85±0,02	0,91±0,02	0,97±0,02
Енергетична цінність, ккал	231±2,1	231,5±2,1	231,5±2,1



Таблиця 3

Покриття добової потреби в поживних і біологічно активних речовинах за умов вживання 277 г хліба з додаванням екстракту ЛЦ

Складова	Добова потреба	Покриття добової потреби організму у поживних і біологічно активних речовинах(%) за вживання 277 г хліба		
		Контроль	з 0,1% екстрактом ЛЦ	з 0,2% екстрактом ЛЦ
Білки, г	52,0	39,4	39,5	39,5
Жири, г	53,0	1,69	1,69	1,69
Вуглеводи, г	304,0	42,63	42,63	42,63
Вітаміни, мг				
В ₁	1,3	20,76	29,2	33,8
С	75,0	0,0	0,6	1,6
РР	16,0	22,12	23,5	24,16
Е	15,0	16,4	20,26	25,8
Мінеральні речовини, мг :				
кальцій	1100,0	3,27	3,31	3,37
магній	350,0	10,52	10,76	11
фосфор	1200,0	13,64	13,87	14,05
залізо	17,0	13,82	14,82	15,76

При вживанні 277 г хліба з додавання 0,1% та 0,2% екстракту ЛЦ добова потреба організму людини у вітамінів В₁ задовільняється на 29,2% та 33,8% відповідно, у вітаміні С на 10,6% та 1,6% температура випікання 180 °С дозволяє в деякій мірі зберегти даний вітамін від розпаду, вітаміні РР 23,5% та 24,16%, у вітаміні Е на 20,26% та 25,8%. Слід відмітити що в виробках з додаванням екстракту ЛЦ покращується мінеральний склад. Так, за умов вживання даних зразків хліба добова потреба організму в кальцію задовільняється на 3,31% та 3,37%, в магнію на 10,76% та 11%, фосфору на 13,87% та 14,05% та заліза 14,82% та 15,76%.

За рахунок внесення екстракту ЛЦ в хлібі значно підвищується вміст поліфенолів за тим і антиоксиданта активність, що відрізняє нові вироби від контрольних зразків.

Висновки. Таким чином, дослідження показують, що введення в рецептуру хліба екстракту ЛЦ не вимагає істотних змін в технологічному процесі і при цьому надає позитивний вплив на харчову та енергетичну цінність хліба. Пшеничний хліб з додавання екстракту ЛЦ за вмістом вітамінів, поліфенолів та мінеральних



речовин можна вважати виробами підвищеної харчової та біологічної цінності, та можна рекомендувати для масового споживання.

Список використаних джерел

1. Сиза О., Савченко О., Журок І., Дорожинська М. Порошок з вичавків ягід калини в технології виробництва пшеничного хліба. *Технічні науки та технології*, (4), 2017/ 176–188.
2. Teshika J. D., Zakariyyah A. M., Zaynab T., Zengin G., Rengasamy K. R., Pandian S. K., Fawzi M. M. Traditional and modern uses of onion bulb (*Allium cepa* L.): a systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019. Vol. 59 (sup. 1). P. 39–70.
3. Sharma K., Mahato N., Nile S. H., Lee E. T., Lee Y. R. Economical and envi-ronmentally-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) waste. *Food & function*. 2016. Vol. 7. No 8. P. 3354–3369.
4. Piechowiak T., Grzelak-Błaszczak K., Bonikowski R., Balawejder M. Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. 2020. *LWT*. Vol. 117. P. 108614.
5. Margina D., Ilie M., Manda G., Neagoe I., Mocanu M., Ionescu D., Ganea C. Quer-cetin and epigallocatechin gallate effects on the cell membranes biophysical pro-perties correlate with their antioxidant potential. *General physiology and biophysics*. 2012. Vol. 31. No 1. P. 47–55.
6. Сукманов В. А., Супрун А. В. Екстрагування біологічно активних речовин з лушпиння цибулі субкритичною водою в статичному режимі. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2021. Vol. 29. No 2. P. 265–278.
7. Sukmanov V., Ukrainets A., Zavyalov V., Marynin A. Research of extraction of biologically active substances from grape pomace by subcritical water. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2017. № 5 (11). С. 70–80.
8. Sukmanov V., Suprun A. Якість пшеничного хліба, збагаченого біологічно активними речовинами цибулі. *Commodities and markets*, 41(1), 2022, 104–115.
9. Czaja A., Czubaszek A., Wyspiańska D., Sokół-Łętowski, A., Kucharska A. Z. Quality of wheat bread enriched with onion extract and polyphenols content and antioxidant activity changes during bread storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020. 55(4), 1725–1734. DOI: 10.1111/ijfs.14418
10. Сукманов В. А., Супрун А. В. Використання екстракту лушпиння цибулі в технології пшеничного хліба. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки* 30, 2022. 60–67.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.



V. Sukmanov, A. Suprun
Sumy National Agrarian University

**TECHNOLOGY OF OBTAINING WHEAT BREAD WITH ONION PEEL
EXTRACT AND ASSESSMENT OF ITS CONSUMER PROPERTIES**

Summary

Yellow onion (*Allium cépa*) is one of the most cultivated agricultural crops not only in Ukraine, but throughout the world. During the processing of this crop, about 0.55 million tons of waste is generated annually in the world. Onion peel extract is a local raw material with a rich nutrient composition, it can be well combined with the dough system and improve the quality indicators of bakery products. Bread is the main product in the diet of every person, and therefore it will be advisable to improve its nutritional value and consumer properties in this way, creating a positive impact on the health of the population.

This work is devoted to the improvement of wheat bread technology using onion peel extract and the study of its consumer properties. On the basis of the results of a complex of experimental studies, the technology was improved and a recipe for wheat field bread was developed, which was made by the steamless method with the addition of onion peel extract. Onion peel extract was obtained by extraction with subcritical water in a static mode. Then the obtained extracts were dried for the possibility of long-term storage. When adding to the wheat bread recipe, the dry extract was dissolved in water. Three samples of bread were prepared for the research: the control bread according to the classic recipe and with the addition of onion peel extract with the replacement of water in the recipe with 0,1% and 0,2% extracts. Further, the nutritional and biological value of the bread samples was investigated, and coverage of the daily need for nutrients and biologically active substances was also calculated. Studies have shown that the addition of onion peel extract to the recipe of wheat bread has a positive effect on the increase of vitamins, white active substances and minerals. And the introduction of onion peel extract into the bread recipe does not require significant changes in the technological process.

Key words: wheat bread, extract, onion peel, polyphenols, technology, formulation.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-31

УДК 637.33: 633.31/.37

Н. В. Болгова, к.с.-г.н..

ORCID: 0000-0002-0201-0769

М. М. Самілик, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4826-2080

Ю. В. Назаренко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-4870-4667

Б. В. Шмідт

ORCID: 0000-0003-0397-3425

Сумський національний аграрний університет

e-mail: natalia.bolhova@snaeu.edu.ua, тел.: 097-291-88-71

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ БІЛКОВОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИРНОГО ПРОДУКТУ

Анотація. У статті представлено аналітичний огляд хімічного складу та властивостей рослинної сировини для подальшої розробки сирних продуктів. Тверді та м'які сири вважаються одними з найбільш багатих на білок продуктів. Сирні продукти останнім часом набули популярності серед споживачів завдяки своєму незмінно цікавому смаку та високій поживній цінності. Споживання сиру дуже популярне не лише в Україні, а й в усьому світі. Тому є сенс розширювати асортимент продукції в цій категорії. Провідні вчені в галузі харчової промисловості довели, що завдяки поєднанню інгредієнтів тваринного і рослинного походження продукти можуть доповнювати один одного, створюючи повноцінний раціон. Додавання рослинних інгредієнтів до сирних продуктів не тільки збільшує їх різноманітність, але й робить їх більш пристосованими до різних дієт. Білкова рослинна сировина, така як соя, нут, сочевиця, насіння коноплі є перспективною сировиною у сироварінні. Встановлено, що соя, нут, сочевиця та насіння коноплі мають високий вміст білка, харчових волокон, важливих макро- і мікроелементів та вітамінів групи В.

Ключові слова: рослинна сировина, *Glycine max* (L.) Merr., *Cicer arietinum* L., *Lens culinaris* L., *Cannabis sativa* L., харчові добавки, борошно, білки, амінокислоти, вуглеводний склад, сирні продукти, органолептичні показники, фізико-хімічні показники.

Постановка проблеми. Білок – необхідний для харчування та здоров'я людини і життєво важливий для повноцінного розвитку людського організму. Десятиліттями тваринний білок був основним джерелом білка в раціоні, але в останні роки споживання їжі змістилося в бік рослинних білків. Це пов'язано зі зростаючою кількістю досліджень, які демонструють значні переваги рослинних білків для



здоров'я порівняно з продуктами тваринного походження [1, 2]. Як наслідок, виробництво та використання рослинних білків у харчовій промисловості набуває все більшої популярності.

Тверді та м'які сири вважаються одними з найбільш багатих на білок продуктів. Останнім часом серед споживачів набули популярності сирні продукти, завдяки своєму незмінно цікавому смаку та високій поживній цінності.

Наукове обґрунтування сучасних стратегій виробництва продуктів харчування полягає у пошуку нових ресурсів та додаткових резервів за рахунок тваринної та рослинної сировини. Ведучими науковцями харчової промисловості доведено, що поєднання тваринної і рослинної сировини дозволяє взаємно доповнювати продукти для забезпечення повноцінного харчування.

Аналіз останніх досліджень. Використання нетрадиційних рослинних інгредієнтів у сироварінні є хорошим джерелом білка, вітамінів, мінералів і вуглеводів.

Аналіз інформаційних джерел показав, що перспективною білоквмісною сировиною є соя, нут, сочевиця, а також насіння коноплі.

Найбільш широко вирощуваною і споживаною рослинною сировиною у світі вважається соя (*Glycine max (L.) Merr.*), через високий вміст білку та жиру [2, 3]. Соевий білок вважається повноцінним білком завдяки своєму амінокислотному складу [4]. Іншими цінними компонентами сої є фосфоліпіди, вітаміни та мінеральні речовини. Соя також є джерелом біологічно активних компонентів, таких як інгібітори трипсину та олігосахариди [5].

Нут (*Cicer arietinum L.*) – одна з найдавніших і найпоширеніших бобових культур у світі, яка використовується в їжу і на корм на різних континентах і придатна для вирощування як інгредієнт у консервній та харчовій промисловості [6, 7].

Нут перевершує інші види бобових, такі як горох, квасоля та соя, за поживною цінністю. Харчова цінність нуту визначається не кількістю білка, а його якістю, яка визначається ступенем збалансованості амінокислотного складу, вмістом незамінних амінокислот, засвоюваністю і характером впливу тих чи інших негативних факторів на утилізацію білка [8].

Сочевиця (*Lens culinaris L.*) – одна з найпоширеніших бобових культур, що вирощуються в усьому світі [9]. Насіння сочевиці є основним джерелом білка, вітамінів (групи В, фолієвої кислоти), мінералів (калій, кальцій, фосфор, магній, залізо, кобальт і цинк) і складних вуглеводів (харчові волокна, крохмаль і олігосахариди). Рівень білка в насінні сочевиці вдвічі вищий, ніж у більшості інших бобових, що підтверджує харчову цінність сочевиці [10].

Одним із високобілкових сировинних матеріалів, який все частіше

стає частиною здорового збалансованого раціону людини, є коноплі (*Cannabis sativa* L.) Насіння коноплі є багатим джерелом поживних речовин. Вони містять близько 35% жиру, 25% білка, 28% харчових волокон та 5,6% мінералів [11, 12, 13]. Амінокислотний профіль білка насіння коноплі близький до амінокислотного профілю яєчного білка і сої [14].

Формулювання мети статті. Метою роботи є обґрунтування вибору білкової рослинної сировини для виробництва сирного продукту.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

- порівняти хімічний склад білкової рослинної сировини: сої, нуту, сочевиці і насіння коноплі;
- науково обґрунтувати доцільність використання рослинної сировини у виробництві сирного продукту.

Основна частина. Вибираючи рослинну сировину для виготовлення сирних продуктів, слід враховувати не лише наявність білка, але й її амінокислотний, вітамінний та мінеральний склад.

Зовнішній вигляд зерен сої, нуту, сочевиці і коноплі, а також борошна відповідних культур рослин, наведено на рис. 1.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд насіння та борошна рослинної сировини

У табл. 1 наведено узагальнені результати аналітичних досліджень щодо усередненого хімічного складу сої, нуту, сочевиці і насіння коноплі [2, 8, 9, 13, 14].

Таблиця 1

Хімічний склад рослинної сировини

Найменування речовин	Вміст компонентів в 100 г сировини, г			
	<i>Glycine max (L.) Merr.</i>	<i>Cicer arietinum L.</i>	<i>Lens culinaris L.</i>	<i>Cannabis sativa L.</i>
Білки	21,0–48,9	20,1–20,5	24,0–24,6	18,0–25,0
Жири	2,8–15,0	2,9–16,1	1,1–11,9	8,0–19,5
Вуглеводи, в тому числі:	21,7–47,0	46,2–63,0	46,3–63,4	12,0–28,0
моно- та дисахариди	2,9–3,2	3,0–3,2	2,5–2,9	1,5–7,2
клітковина	2,5–12,4	3,7–12,2	3,7–11,5	32,0–40,2
крохмаль	36,5–43,8	41,0–43,2	39,8–43,4	2,9–8,5
Зола	2,1–3,6	2,8–3,0	2,1–2,7	2,0–5,9

Досліджувана рослинна сировина (табл. 1) характеризується високим поживних речовин. У складі сої спостерігається найбільший вміст білків, тоді як вміст жиру і вуглеводів наближений до складу нуту, сочевиці і коноплі.

Більшу частину загального вмісту вуглеводів сої, нуту і сочевиці складає крохмаль. Тоді як конопляне насіння є одним із найбагатших джерел харчових волокон серед зазначених білкових культур.

Оскільки досліджувана сировина характеризується високими показниками вмісту білку, то є доцільним охарактеризувати амінокислотний склад (рис. 2) та скор (табл. 2) рослинної сировини [5, 6, 16, 17].

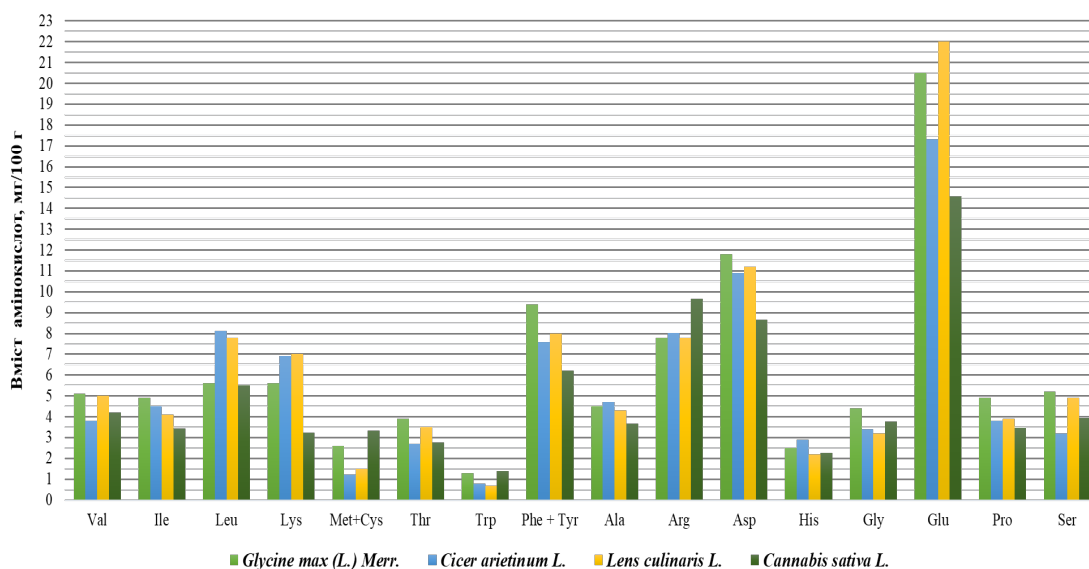


Рисунок 2. Амінокислотний склад білків рослинної сировини



Білок сої містить більший вміст амінокислот, ніж нут, сочевиця і коноплі (рис. 2). Висока біологічна цінність білків сої обумовлена вмістом незамінних амінокислот як ізолейцин, валін, фенілаланін+тирозин і гістидин (табл. 2).

Аналіз амінокислотного скору білків сочевиці показує, що домінуючими незамінними амінокислотами є валін, ізолейцин, лізин, фенілаланін+тирозин і гістидин. А високу біологічну цінність білків нуту обумовлює наявність незамінних амінокислот, таких як ізолейцин, лейцин, фенілаланін+тирозин і гістидин. Цінність білків коноплі визначає високий вміст незамінних амінокислот, таких як метіонін + цистин, а також валін, ізолейцин, триптофан, гістидин. Відповідно, додавання у рецептури сирних продуктів білків сої, нуту, сочевиці чи коноплі дасть можливість доповнити біологічну цінність молочних білків.

Таблиця 2

Амінокислотний скор білків рослинної сировини

Найменування амінокислоти	<i>Glycine max (L.) Merr.</i>	<i>Cicer arietinum L.</i>	<i>Lens culinaris L.</i>	<i>Cannabis sativa L.</i>
Валін (Val)	145,71	108,57	142,86	119,71
Ізолейцин (Ile)	175,00	160,71	146,43	122,14
Лейцин (Leu)	84,85	122,88	118,18	83,64
Лізин (Lys)	96,55	119,14	120,69	55,52
Метіонін + цистин (Met+Cys)	104,00	48,40	60,00	134,00
Треонін (Thr)	114,71	79,41	102,94	81,47
Триптофан (Trp)	118,18	72,73	63,64	125,45
Фенілаланін + тирозин (Phe+Tyr)	149,21	120,63	126,98	98,57
Гістидин (His)	131,58	152,63	115,79	118,42

Як видно на рис. 3, білкова рослинна сировина також містить значний мінеральний склад. Однак, насіння коноплі містить у своєму складі у декілька разів більшу кількість заліза та магнію, порівняно з іншою сировиною. Нут характеризується значним запасом кальцію і натрію калій, соя – багата на фосфор і калій.

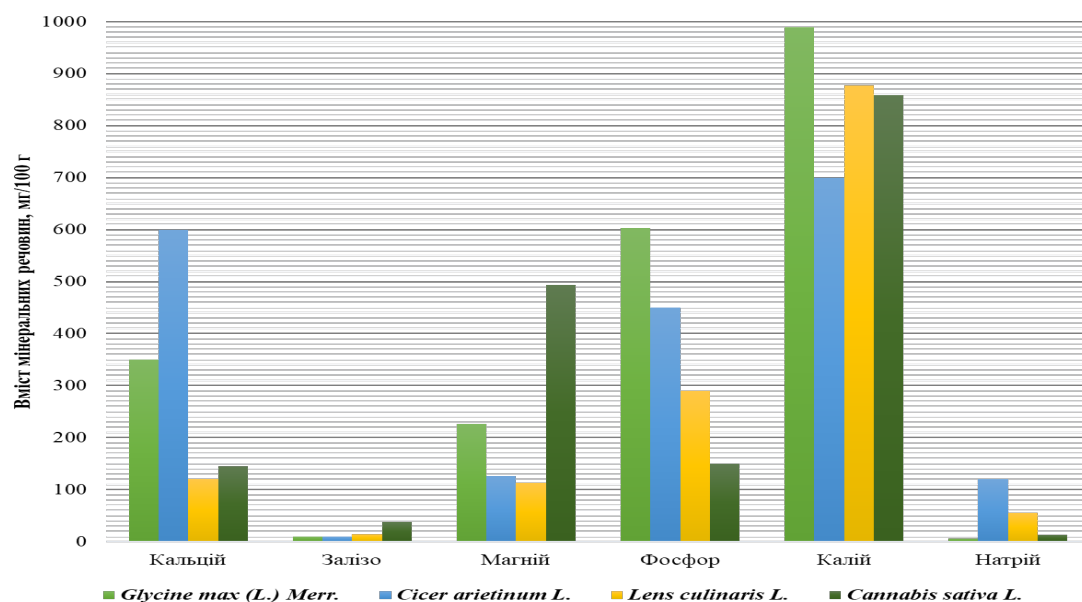


Рисунок 3. Мінеральний склад рослинної сировини

Білкова рослинна сировини також є джерелом вітамінів (рис. 4), зокрема групи В.

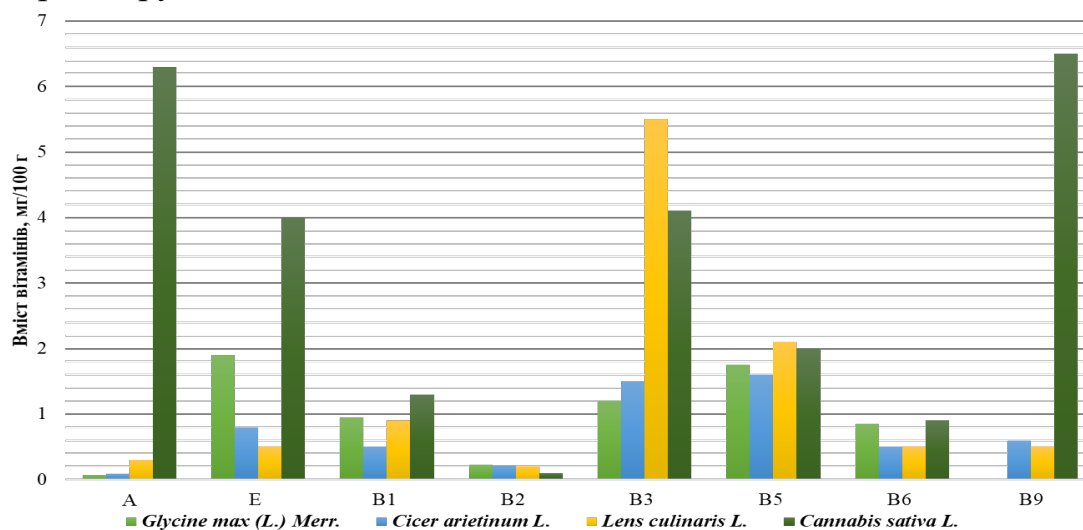


Рисунок 4. Вітамінний склад рослинної сировини

Дані (рис. 4) показують, що вміст вітаміну А і вітаміну Е перевищує в насінні конопель, порівняно з іншою сировиною, що робить насіння конопель перспективним джерелом антиоксидантів в технології сирного продукту.

Висновки. На основі аналітичних досліджень встановлено, що соя, нут, сочевиця та насіння коноплі мають високий вміст білка, харчових волокон, важливих макро- і мікроелементів та вітамінів групи В, що науково обґрунтовує доцільність використання цієї рослинної сировини при розробці сирного продукту.



Список використаних джерел

1. Shams-White M. M. Animal versus plant protein and adult bone health: A systematic review and meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation / M. M. Shams-White et al. *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13, no. 2. P. e0192459. DOI: 10.1371/journal.pone.0192459.
2. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022. № 7. 100265. DOI: 10.1016/j.jafr.2021.100265
3. Жуйков О. Г., Іванів М. О., Марченко Т. Ю., Возняк В. В. Сучасне виробництво сої як елемент розв'язання проблеми харчового білка: світові тренди та вітчизняні реалії. *Таврійський науковий вісник*. 2020. С. 54–63. DOI:10.32851/2226-0099.2020.116.1.7
4. Agarwal D. K. Soybean: Introduction, Improvement, and Utilization in India—Problems and Prospects / D. K. Agarwal et al. *Agricultural Research*. 2013. Vol. 2, no. 4. P. 293–300. DOI:10.1007/s40003-013-0088-0
5. Liu J., Klebach M., Visser M., Hofman Z. Amino acid availability of a dairy and vegetable protein blend compared to single casein, whey, soy, and pea proteins: a double-blind, cross-over trial. *Nutrients*. 2019. № 11(11). 2613. DOI: 10.3390/nu11112613
6. Nutritional and compositional study of Desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan / M. Zia-Ul-Haq et al. *Food Chemistry*. 2007. Vol. 105, no. 4. P. 1357–1363. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.05.004
7. Boukid F. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein as a prospective plant-based ingredient: a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 2021. № 56(11). P. 5435–5444. DOI: 10.1111/ijfs.15046
8. Nutritional constituent and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review / J. Wang et al. *Food Research International*. 2021. Vol. 150. P. 110790. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110790
9. Moradi D., Ziarati P., Sawicka B. Physicochemical and rheological properties of lentil milk/inulin blend—A feta cheese analogue. *Legume Science*. 2021. № 3(4). e80. DOI: 10.1002/leg3.80
10. Seed protein of lentils: Current status, progress, and food applications / H. Khazaei, Subedi M., M. Nickerson, C. Martínez-Villaluenga, J. Frias, A. Vandenberg. *Foods*. 2019. №8(9), 391. DOI: 10.3390/foods8090391
11. Роль Н. В. Роль Конопляна сировина: нові перспективи для харчової промисловості / Н. В. Роль, В. М. Надточій, А. Д. Цебро, А. Г. Вовкогон, Г. В. Мерзлова, Г. П. Калініна, О. П. Гребельник. *Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва»*. 2021. № 1. С. 152–158. DOI: 10.33245/2310-9289-2021-



164-1-152-158

12. Nasrollahzadeh F. Hemp (*Cannabis sativa* L.) protein concentrates from wet and dry industrial fractionation: Molecular properties, nutritional composition, and anisotropic structuring / F. Nasrollahzadeh, L. Roman, V. S. Swaraj, K. V. Ragavan, N. P. Vidal, J. R. Dutcher, M. M. Martinez. *Food Hydrocolloids*. 2022. № 131. 107755. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.107755

13. Khalesi M., Gcaza L., FitzGerald R. J. In Vitro Digestibility, Biological Activity, and Physicochemical Characterization of Proteins Extracted from Conventionally and Organically Cultivated Hempseed (*Cannabis sativa* L.). *Molecules*. 2023. № 28(3). 915. DOI: 10.3390/molecules28030915

14. Teterycz D. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation / D. Teterycz et al. *PLOS ONE*. 2021. Vol. 16, no. 3. P. e0248790. DOI: 10.1371/journal.pone.0248790

15. Shah S. M. S., Ullah F., Munir I. Biochemical characterization for determination of genetic distances among different indigenous chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties of North-West Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*. 2020. №81. P. 977–988. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.05.004

16. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition / B. Farinon, R. Molinari, L. Costantini, N. Merendino. *Nutrients*. 2020. № 12(7). 1935. DOI: 10.3390/nu12071935

17. Kaale L. D., Siddiq M., Hooper S. Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. *Legume Science*. 2022. e169. DOI: 10.1002/leg3.169

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

N. Bolhova, M. Samilyk, J. Nazarenko, B. Shmidt
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

FORMATION OF THE CHOICE OF PROTEIN PLANT RAW MATERIALS FOR THE DEVELOPMENT OF A CHEESE PRODUCT

Summary

The article presents an analytical review of the chemical composition and properties of vegetable raw materials for the further development of curd products. Hard and soft cheeses are considered among the most protein-rich foods. Cheese products have recently gained popularity among consumers due to their consistently interesting taste and high nutritional value. Cheese consumption is very popular not only in Ukraine, but all over the world. Therefore, it makes sense to expand the range of products in this category. Leading scientists in the food industry have proven that by combining animal and plant ingredients, foods can complement each other to create a complete diet. Adding herbal ingredients to cheese products not only increases their variety, but also makes them more



adaptable to different diets. Protein vegetable raw materials such as soybeans, chickpeas, lentils, hemp seeds are promising raw materials in cheese making. An analysis of information sources showed that soybeans, chickpeas, lentils, and hemp seeds are promising protein-containing raw materials. Soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) are high in protein and fat. Soy protein is considered a complete protein due to its amino acid composition. Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) are superior in nutritional value to other types of legumes such as peas, beans and soybeans. The nutritional value of chickpeas is determined not by the amount of proteins, but by their quality, determined by the degree of balance of the amino acid composition, the content of essential amino acids, digestibility and the nature of the influence of certain negative factors on protein utilization. Lentils (*Lens culinaris* L.) are a major source of protein, vitamins (B group, folic acid), minerals (potassium, calcium, phosphorus, magnesium, iron, cobalt and zinc) and complex carbohydrates (dietary fiber, starch and oligosaccharides). The protein level in lentil seeds is twice that of many other legumes, confirming the high nutritional value of lentils. One of the high-protein raw materials necessary for a healthy and balanced human diet is hemp (*Cannabis sativa* L.). Hemp seeds are rich in nutrients such as fats, proteins, fiber and minerals. The amino acid profile of hemp seed protein is similar to that of egg white and soy. The use of these herbal ingredients for the development of cheese products has been scientifically proven to be promising.

Key words: vegetable raw materials, *Glycine max* (L.) Merr., *Cicer arietinum* L., *Lens culinaris* L., *Cannabis sativa* L., food additives, flour, proteins, amino acids, carbohydrate composition, curd products, organoleptic indicators, physicochemical parameters.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-32

UDC 664.655.041–37

Volodymyr Fedorov¹, TSD., Prof.
Oleg Kepko², PhD., Assoc.
Valentyna Kepko³, PhD., Assoc.
Andrii Berezovskyi², PhD., Assoc.
Oleksandr Trus², PhD., Assoc.
Eduard Prokopenko², PhD., Assoc.
Svitlana Zhurilo², Senior Lecturer

ORCID: 0000-0002-4453-4122
ORCID: 0000-0003-1443-307X
ORCID: 0000-0001-6432-7211
ORCID: 0000-0002-9526-3721
ORCID: 0000-0002-9493-5469
ORCID: 0000-0003-4642-7635
ORCID: 0000-0002-0533-0485

¹*Professor-consultant, Ukraine*

²*Uman National University of Horticulture*

³*Bila Tserkva National Agrarian University*

e-mail: alex_trus@ukr.net, тел.: 097-944-45-45

STUDY OF TECHNOLOGICAL AND COMMERCIAL INDICATORS OF ORIENTAL TYPES OF FLATBREAD DUDING BACKING IN A TANDOOR

Summary. National eastern types of flatbread (lavash, Obi-non, Dambi-non etc.) are baked both in mechanized and manually operated ovens for individual or mass use of finished products. Among the last type of ovens, the most widespread is the tandoor with an electric or gas source of heat supply.

Two types of thermoelectric sensors were used to study the external and internal heat and mass exchange during baking of flatbread in Uzbek horizontal tandoor. These are the thermocouples for temperature measurement and primary converters of the heat flow density transmitted from the outside to the dough and into the middle of the product, as well as an electronic scale to determine the loss of mass.

The thermometric monitoring of the baking of Obi-non flatbreads made it possible to show the technological and commercial advantages of the tandoor over baking in mechanized ovens, as well as to compare the dynamics of temperature changes in the center of the flatbread dough with the theoretical solution of the problem of thermal conductivity in the plate.

The recommendations for the distribution of energy sources in mechanized ovens and the design of their hearthstone (bottom) have been developed.

Key words: oriental flatbreads, heat supply distribution, heat balance, material balance, energy-saving and organoleptic indicators.



Formulation of the problem. The baking chamber of the tandoor has the shape of a horizontally located pot with an open narrow part, through which round-shaped dough pieces are stuck onto the surface of the pan heated by an infrared burner. Thus, heat is supplied from the «hearth» by heat conduction, from the burner – by radiation and from the environment of the baking chamber – by convection.

The small-sized (10 x 10 x 1.2 mm) quick-response heat flow sensors [1–3] with the thermocouples mounted in them were pressed into the experimental piece from both sides in the center, and a separate thermocouple was placed in the center. The temperature of the baking chamber environment and the weight loss of the flatbread were also measured. These data were obtained by direct measurement of the heat flow density using small-sized, low-inertia thermometers that do not interfere with the flow of the technological process.

During the research, methods of organoleptic, physico-chemical, functional-technological and structural-mechanical research were used [4–6].

Formulation of the aim of work. Eastern types of bread are still baked in tandoors and traditional ovens with manual service. The research objective is to study the time and space thermal load on the product, to summarize the thermal and material balances, to compare the results with known data of baking flatbreads in mechanized ovens. In addition, it became possible to check the analytical solution of the problem with non-homogeneous boundary conditions due to the simple geometric shape of flatbreads.

The main part. Data averaged by statistical processing from the baking of six 0.2 kg Obi-non flatbreads at an ambient temperature of 175...185 C° (Fig. 1, curve 1) give simple kinetic dependences for the temperatures of the lower t_l (which contacts with the «hearth») 2, the upper t_u of the 3 surfaces and the center t_c 4 as well as for heat loads – from the contact q_1 5 and the radiative and convective q_2 6.

Balance calculations gave positive results: heat was supplied (per 1 kg of product) from the «hearth» with a thermal conductivity of 72 kJ/kg and the radiant-convective one – 233 kJ/kg. Calculation according to the equation of theoretical heat consumption, taking into account the cost of mass loss, gave 293 kJ/kg.

Since the difference in the total heat flow was less than 4.1 %, an attempt was made to verify the solution of the direct problem of thermal conductivity of a one-dimensional body (plate) with a known variable heat flow on one surface and, for clarity, with a known variable temperature on the second surface [7–11].

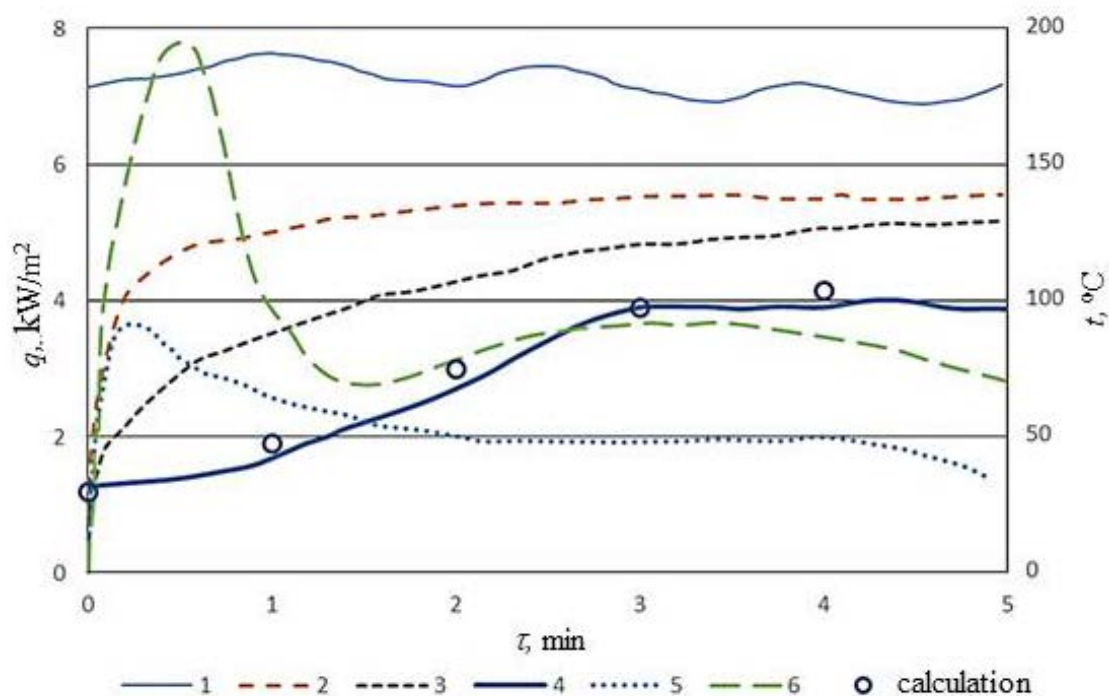


Figure 1. Change in temperature and heat loads on both sides of Obi-non flatbread during baking in a tandoor

The simplest approximation equations were obtained for q_l and t_u :

$$q_1(\tau) = 2000 + 2300 \cdot e^{-1,52\tau} \quad (1)$$

$$t_u(\tau) = 130 - 96 \cdot e^{-0,83\tau} \quad (2)$$

where τ – time, min;

q_l – heat flow density on the surface of the flatbread from the side, W/m²;

t_u – exterior wall (the upper) temperature.

Substitution of the coefficients from (1) and (2), as well as the thermophysic characteristics of flatbread dough from [12, 13] – heat conductivity $\lambda(\tau)$ – 0.29...0.26 W/(m·K) and thermal conductivity $\alpha(\tau)$ – (1...2)·10⁻⁷ m²/s, made it possible to compare experimental and calculated temperature data in the center of the flatbread. During the calculation $t_u(\tau)$ changes in the thickness of the flatbread h during baking were taken into account according to the simplest linear dependence (since λ was measured only at the beginning and end of baking), as well as the change in the effective α due to the heat of moisture evaporation. The calculation was carried out for $\tau = 0; 1; 2; 3; 4$ min. In Figure 1 the results are plotted in circles.



Good data coincidence allows to hope that, based on the results of thermometric studies of various technological processes, it is possible to obtain new «inverse» information, as during the study of the dependence of the thermal conductivity of cream on fat content, an almost functional inverse dependence was obtained [14–16]. It can significantly reduce the time of determination of cream fat content during their processing. Now it will be possible to find out in what state – in the form of liquid water or steam – the moisture in the middle of the flatbread dough moves at any moment in time.

The comparison of the above data was made with the results of baking flatbreads in Danko–Sultan-Khodzaiev, Bruver–Salikhov and BN–50 ovens [17, 18]. The experiments were carried out in production conditions without changing the baking modes. The measuring equipment and measurement points were the same, but all thermometers and thermocouples had compensating leads of sufficient length to allow monitoring of the baking from the beginning to till the end.

In Danko–Sultan-Khodzaiev, Bruver–Salikhov ovens the Obi-non flatbreads weighing 0.2 kg were baked and in the BN–50 oven – the Dambi-non flatbreads weighing 0.5 kg.

We compared the amount of heat that reached the outer surface of the flatbread per 1 kg of dough Q_1 , to the contact surface Q_2 and their sum $Q = Q_1 + Q_2$, as well as the theoretical consumption Q_T , and the mass loss $\Delta m/m$ in percent and imbalance $(Q_T - Q)/Q_T \cdot 100$ (Table 1).

Table 1

Heat and material balances of furnaces

Oven	$\Delta m/m$	Q_1	Q_2	Q	Q_T	$\pm\%$
Bruver–Salikhov oven	6,5	198	128	326	340	+ 4,1
Danko–Sultan-Khodzaiev oven	8,5	174	193	367	394	+ 6,9
BN–50 oven	12,5	296	125	421	470	+ 10,4
Tandoor	4,6	233	72	305	293	– 4,1

To compare the kinetics of heat supply to flatbreads in different ovens, the parametric numbers $\pi_\tau = \tau/\tau_f$ та $\pi_\alpha = q_c/q$, were used, where τ is the current baking time, τ_f is the final baking time, q_c and q are the current and final intensity of heat supply from the hearth.

The results of the calculation of the dependence of π_α from π_τ showed that it is the most stable for the tandoor: in the initial period (up to $\pi_o = 0.5$), π_q ranges from 0.3 to 0.43, and subsequently it is maintained at the level of 0.3 (Fig. 2). For the BN–50 oven, π_q ranges strongly (from 0.1 to 0.5), for the other two, it initially ranges from 0.6 to 0.7 and gradually decreases to 0.3. Figure 2 also shows the change in the total heat inflows $q(\pi_\tau)$ for the



tandoor and the Bruver–Salikhov oven.

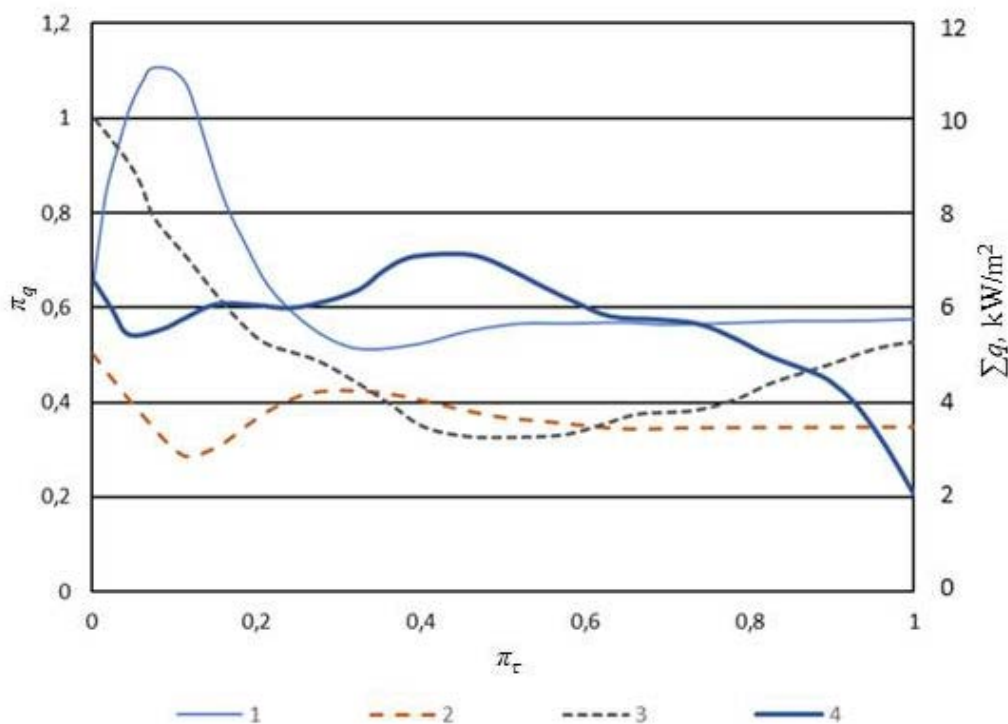


Figure 2. Comparison of the total heat release rate Σq and the share of energy supplied from below π_q , for a tandoor (1, 3) and Bruver–Salikhov oven (2, 4)

From Table 1 and Fig. 2, it can be seen that the supply of heat in the tandoor is uniform, and its consumption for baking is the smallest. The loss of mass in this oven is also the smallest (this is due to the uniform moistening of the flatbreads). The organoleptic indicators of finished products for the tandoor are also the highest [19–21].

Conclusions. During the construction and adjustment of ovens for oriental flatbreads, the kinetics of heat transfer curves 5 and 6 of Figure 1, curves 1 and 3 of Figure 2 should be used. It is necessary to monitor the uniform moistening of the dough pieces.

References

1. Федоров В. Г., Геращенко О. А. Датчик для измерения локальных тепловых потоков. А.с. 159048. *Бюллетень изобретений*. 1963. № 23. С. 58.
2. Knauss H., Roediger T., Gaisbauer U., Kraemer E., Bountin D. A., Smorodsky B. V., Maslov A. A., Scrujijes J., Sailer F. A Novel Sensor for Fast Heat Flux Measurements. AIAA Paper 2006-3637. San Francisco. 2006. 32 p.
3. Knauss H., Roediger T., Bountin D. A., Smorodsky B. V.,



Maslov A. A., Scruelijes J. Novel Sensor for Fast Heat-Flux Measurements. *AIAA Journal of Spacecraft and Rockets*. 2009. Vol. 46(2). P. 255–265.

4. Дорохович А. Н., Дорохович В. В., Теличкун В. И., Ташева С., Вълчев Г. Обоснование режима выпечки мучных кондитерских изделий. *Научни трудове на УХТ «Хранителна наука, техника и технологии»*. 2012. Том 59. С. 785–790.

5. Дудко С., Малиновський В., Оболкіна В. Термообробка борошняних кондитерських виробів. *Продовольча індустрія АПК*. 2017. Вип. 5. С. 22–24.

6. Neill G., Al-Muhtaseb Ala'a H., Magee T. R. A. Optimisation of time/ temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 113(3). P. 422–426.

7. Федоров В. Г. Повышение эффективности процессов и аппаратов пищевых производств на основе методов измерения тепломассометрии : автореф. дис. ... докт. тех. наук. Киев, 1983. 36 с.

8. Алиев С. Размытие фазовых переходов в полупроводниках и высокотемпературных сверхпроводниках. Баку : ЭЛМ, 2007. 298 с.

9. Егоров В. М., Марихин В. А., Мясникова Л. П. Фазовые переходы в молекулярных кристаллах n-алкано-спиртов. *Физика твёрдого тела*. 2008. Т. 50(1). С. 123–129.

10. Егоров В. М., Марихин В. А., Мясникова Л. П., Nakamura N. Особенности фазовых переходов в молекулярных кристаллах диолов. *Физика твердого тела*. 2009. Т. 51(10). С. 2006–2011.

11. Егоров В. М., Марихин В. А., Мясникова Л. П. Фазовые переходы в молекулярных кристаллах дикарбоновых кислот. *Физика твердого тела*. 2013. Т. 55(5). С. 975–980.

12. Федоров В. Г., Скарбовійчук О. М., Кепко О. І., Кравчук П. О. Теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК: довідник. Умань: Редакційно-видавничий відділ Уманського НУС, 2014. 352 с.

13. Fecht H.-J., Wunderlich R., Battezzati L., Etay J., Ricci E., Seetharaman S., Egly I. Thermophysical Properties of Materials. *Europhysics News*. 2008. Vol. 39(5). P. 19–21. DOI: 10.1051/epn:2008501.

14. Кепко В. М., Федоров В. Г., Кепко О. І., Пушка О. С. Використання кореляції товарознавчих і теплофізичних характеристик вершків для їх експертизи. *Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine and Poland: Proceedings International multidisciplinary conference, Wolomin, Republic of Poland, 19–20 October, 2018*. Wolomin: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. P. 102–106.

15. Wang Yunna, Li Yang, Han Jie, Li Yan, Zhang Liebing. Effect of Melting Point on the Physical Properties of Anhydrous Milk Fat. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 274(1). pp. 012072.



16. Li B. Z., Truong T., Bhandari B. Crystallization and melting properties of mixtures of milk fat stearin and omega-3 rich oils. 2017. Vol. 218. P. 199–206.
17. Зубков А. Ф., Теличкун В. И., Михелев А. А., Федоров В. Г. Кинетика теплоподвода при выпечке национальных сортов хлеба. *Хлебопекарская и кондитерская промышленность*. 1976. № 3. С. 19–20.
18. Le-bail A., Dessev Tz., Leray D., Lucas T., Mariani S., Mottollese G., Jury V. Influence of the amount of steaming during baking on the kinetic of heating and on selected quality attributes of bread. *Journal of Food Engineering*. 2011. Vol. 105(2). P. 379–385.
19. Tolstorebrov I., Eikevik T. M., Bantle M. A. DSC determination of phase transitions and liquid fraction in fish oils and mixtures of triacylglycerides. *Food research international*. 2014. T. 58. P. 132–140.
20. Upadhyay N., Goyal A., Kumar A., Lal D. Detection of adulteration by caprine body fat and mixtures of caprine body fat and groundnut oil in bovine and buffalo ghee using differential scanning calorimetry. *International Journal of Dairy Technology*. 2017. Vol. 70(2). P. 297–303.
21. Phinney D. M., Frelka J. C., Heldman D. R. Composition-based prediction of temperature-dependent thermophysical food properties: Reevaluating component groups and prediction models. *Journal of food science*. 2017. T. 82(1). P. 6–15.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

**В. Федоров¹, О. Кепко², В. Кепко³, А. Березовський²,
О. Трус², Е. Прокопенко², С. Журило²**

¹Професор-консультант

²Уманський національний університет садівництва

³Білоцерківський національний аграрний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ТОВАРНИХ ПОКАЗНИКІВ СХІДНИХ СОРТІВ КОРЖИКІВ ПІД ЧАС ВИПІКАННЯ В ТАНДИРІ

Анотація

Національні східні сорти коржиків (лаваш, обі-нон, дамбі-нон, тощо) випікають як в механізованих так і в печах з ручним обслуговуванням для індивідуального або масового використання готової продукції. Серед останнього типу печей найбільш поширюється тандир з електричним або газовим джерелом підведення теплоти.

Для дослідження зовнішнього та внутрішнього тепломасообміну під час випікання коржиків в узбецькому горизонтальному тандирі використовували два типи термоелектричних датчиків – термопари для вимірювання температури та первинні перетворювачі густини теплового потоку, що передається зовні до тіста коржика та в середину виробу, а також електронна вага для визначення убутку маси.



Балансові розрахунки показали, що теплота, яка підводилась (на 1 кг продукції) від «черіння» теплопровідністю становить 72 кДж/кг, а променисто-конвективно – 233 кДж/кг. Розрахунок за рівнянням теоретичної витрати теплоти з врахуванням витрати на убуток маси склав 293 кДж/кг.

Оскільки різниця в сумарній витраті теплоти склала менше 4,1 %, зроблена спроба перевірки розв'язання прямої задачі теплопровідності одномірного тіла (пластини) з відомим змінним тепловим потоком по одній поверхні та, для однозначності, з відомою змінною температурою на другій поверхні.

Теплометричний і термометричний моніторинг випікання коржиків обі-нон дав можливість показати технологічні і товарні переваги тандира перед випіканням у механізованих печах, а також порівняти динаміку зміни температури в центрі тіста коржика з теоретичним розв'язанням задачі теплопровідності в пластині. Проведено порівняння даних із результатами випікання коржиків у печах Данько – Султан-ходжаєва, Брувера – Саліхова та БН–50. Дослідження проводили у виробничих умовах без зміни режимів випікання. Вимірювальна апаратура і точки вимірювання були такими ж, але усі тепловіри і термопари мали компенсаційні провідники достатньої довжини, щоб забезпечити моніторинг випікання від початку до кінця.

Вироблені рекомендації до розподілу джерел енергії в механізованих печах та конструкції їх подиків (подів).

Ключові слова: східні коржики, розподіл тепlopідведення, тепловий баланс, матеріальний баланс, енергоощадні та органолептичні показники.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-33

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.: 096-743-76-21

ПОБУДОВА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ТРАНЗИСТОРНОГО НЕГАТРОНУ АНАЛОГА ЛЯМБДА-ДІОДА НА ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ

Анотація. У статті представлена розрахункова схема транзисторного негatronу, який розроблений на комплементарній парі уніполярних (польових) транзисторів, який є еквівалентом (аналогом) лямбда-діода, що використовується в якості датчика, проведено дослідження для отримання рівняння вольт-амперної характеристики залежності струму стоку від напруги на негatronі в залежності від параметрів опорів розрахункової схеми. Лямбда-діод - це напівпровідниковий прилад, який складається з пари уніполярних транзисторів, виконаних на одному кристалі, з'єднаних в певну схему. Лямбда-діод має функцію перемикачання, що забезпечує його широке використання.

Була побудована повна розрахункова схема негatronа еквівалента лямбда-діода, проаналізовано значення опорів для типових кремнієвих уніполярних транзисторів, в результаті канали та затвори уніполярних транзисторів представлені диференціальними опорами на спрощеній еквівалентній аналоговій схемі лямбда-діода, де між електродні ємності не враховуються через їх малий розмір, що при подальшому дослідженні дозволили отримати рівняння вольт-амперної характеристики аналога лямбда-діода. Практичний інтерес має використання негatronа аналога лямбда-діода в якості вимірювального перетворювача будь-якої фізичної величини, для чого в роботі аналог лямбда-діода був застосований у мостовій схемі вимірювача температури: у одній з діагоналей мостового вимірювача використовуються нелінійні елементи, опір яких залежить від температури.

Рівняння вольт-амперної характеристики еквівалента лямбда-діода дозволяє визначати параметри мостового вимірювача негatronу,



і, відповідно, дає змогу застосовувати його в якості датчика. Область застосування еквівалента лямбда-діода велика: як в якості контролю неелектричних величин (температури, вологості, інтенсивності освітлення), так і електричних (відхилення напруги в електричній мережі, несиметрії напруги тощо). *Ключові слова:* комплементарна пара, уніполярні транзистори, первинний перетворювач, аналог лямбда-діода.

Постановка проблеми. Існує народно - господарча проблема: підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів в АПК, яких у виробництві переважна більшість. Головною причиною існуючої проблеми є експлуатаційні аварійні режими роботи асинхронних двигунів в сільськогосподарському виробництві, тому розробка і удосконалення пристроїв діагностування режиму роботи асинхронних двигунів є одним з шляхів рішення проблеми їх експлуатаційної надійності.

Розробку сучасних приладів діагностування та захисту електрообладнання проводять із використанням новітньої елементної бази, що дозволяє значно спростити схемотехніку порівняно із застосуванням класичних рішень. Завдяки цьому можливе розширення функціональних властивостей таких пристроїв.

Одним з таких перспективних напівпровідникових елементів є негatron – електронний напівпровідниковий пристрій, який в певному режимі роботи має від’ємне значення основного диференційного негативного активного опору, ємності або індуктивності [1].

Науковий напрям в області електроніки, пов'язаний з теорією і практикою створення і застосування негatronів отримав назву «негатроніка» – електронних пристроїв, що мають у визначеному режимі роботи негативний диференційний опір, а електронні пристрої на напівпровідних кристалах мають значну кількість схемотехнічних рішень для широкого класу як аналогових так і цифрових електронних пристроїв різних функціональних призначень.

В області низьких частот більше розповсюдження мають різні модифікації негatronів на базі структури з декількома $p-n$ переходами, лямбда-діоди. Лямбда-діод, що виконаний на одному кристалі, це електронний пристрій, з парою уніполярних транзисторів з керованими $p-n$ переходами, у яких об'єднані стоки або витоки. Цей негatron лямбда-діод має чотири різновиди, що виготовляється промисловістю, та має характеристику перемикача.

Негатрон лямбда-діод, що виконаний на одному кристалі, є двохполюсником, вольт-амперна характеристика має ділянку з позитивним диференційним опором, яка властива звичайному діоду, та ділянку з негативним диференційним опором, як у тунельного

діоду. При збільшенні прикладеної напруги позитивної полярності до лямбда-діода (анод позитивний) сила струму через негatron лямбда-діод спочатку зростає і досягає максимального значення, але якщо продовжувати збільшувати напругу і далі, то це викличе зменшення струму. В наслідок подальшого збільшення напруги струм майже зникає (дорівнює наноамперам), тобто лямбда-діод запирається. Якщо напруга на негatronі буде рости і в подальшому, то він буде перебувати у зачиненому стані аж до напруги пробую, при якій один з затворів пробивається. Перевагою негatronу лямбда-діода, що випускається радіопромисловістю, є висока технологічність та простота виготовлення, порівняно зі звичайними приладами з негативним опором, що дає можливість застосовувати його з іншими напівпровідниковими пристроями; мізерно мале електроспоживання в закритому стані; малі втрати енергії; висока температурна стабільність; значна і стабільна амплітуда вихідного сигналу [2]. Але у негatronа лямбда-діода, що виробляється промисловістю, неможливо регулювати вольт-амперну характеристику (ВАХ), це є його головним недоліком. [3].

Аналіз останніх досліджень. Технологія виробництва напівпровідникових пристроїв сьогодні досягла високої досконалості, однак процес їх виготовлення достатньо трудомісткий. З цієї точки зору більш цікавим є застосування аналогів негatronів на базі різних схемотехнічних комбінацій активних пристроїв, наприклад, аналогів лямбда-діоду на базі уніполярних транзисторів.

Розроблений еквівалент (аналог) лямбда-діода (рис.1), на відміну від промислового зразка лямбда-діода, містить два уніполярних транзистори, які є комплементарною, ретельно підбраною парою уніполярних транзисторів з керуючими *p-n* переходами. Комплементарний від англійської *complementation* доповнення.

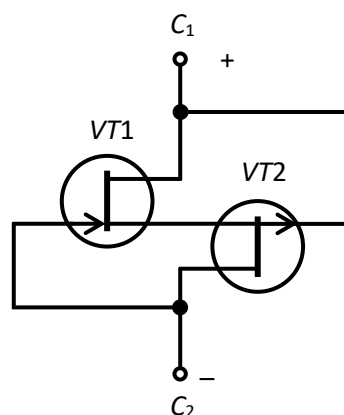


Рисунок 1. Принципова схема негatronу аналога лямбда-діода



Транзистори, що є комплементарною парою, мають схожі параметри (напруги стоку, затвору, струми витоку затворів, крутизна ВАХ, вхідна, прохідна ємності тощо), але мають різні типи провідностей: один має канал p -типу, а інший – канал n -типу. У транзисторів можуть бути об'єднані стоки або витоки [1].

Негатрон аналога лямбда-діода, виконаний на двох уніполярних транзисторах: один з уніполярних транзисторів має канал p -типу (КП303Г, КП303Б, КП303Е), а другий – канал n -типу (КП103Л, КП103М). Таким чином, для побудови розрахункової схеми прийнятий негатрон аналог лямбда-діода, виконаний на комплементарній парі КП303Г-КП103Л з об'єднаними витоками [4].

Формулювання цілей статті. Побудувати розрахункову схему негатрона аналога лямбда-діода з метою визначити можливість застосування його в якості вимірювального перетворювача і визначення його параметрів.

Результати досліджень. Для обґрунтування використання аналога лямбда-діода в якості вимірювального перетворювача і визначення його параметрів, розглянемо повну розрахункову схему аналога лямбда-діода, яка приведена на рис. 2. До речі, розрахункова схема лямбда-діода показує фізичні явища та фізичну процеси, які відбуваються у ньому при проходженні по лямбда-діоду електричного струму.

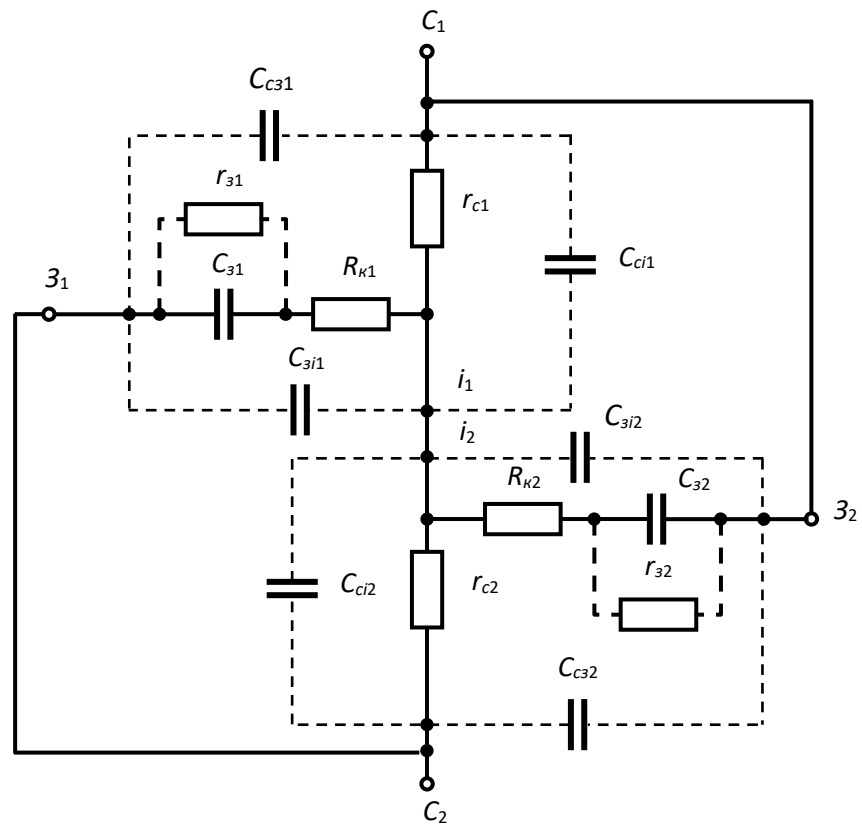


Рисунок 2. Повна розрахункова схема негatronу аналогу лямбда-діода



На розрахунковій схемі канал кожного уніполярного транзистора і $p-n$ перехід подані у вигляді ділянок послідовно з'єднаних активних опорів і ємностей ($r-c$), що мають зосереджені параметрами. Канали уніполярних резисторів мають диференціальні опори r_{c1} і r_{c2} , затвори мають опори r_{z1} і r_{z2} і між-електродні ємності сток-виток C_{ci1} і C_{ci2} , величина яких залежить від геометрії (розмірів) і матеріалу уніполярних транзисторів. Затвори аналога лямбда-діода представлені на схемі опорами r_{z1} та r_z [2, 5, 6].

Заряд ємностей затворів проходить через опори каналів і залежить від віддаленості ділянки від витоків, припустимо, що ємності затворів отримують заряд через усереднені опори каналів R_{k1} і R_{k2} , що і визначить усталену часу τ_z аналога лямбда-діода.

Приймемо, величини параметрів кремнієвих уніполярних транзисторів [2] при напрузі $U_{ci} = 10$ В і $U_{zi} = 0$ наступними: $C_z = 3 \dots 10 \cdot 10^{-9}$ Ф; $C_{zi} = 0,5 \cdot 10^{-9}$ Ф; $C_{cz} = 1 \cdot 10^{-9}$; $C_{ci} = 0,3 \dots 1 \cdot 10^{-9}$ Ф; $r_z = 10^{10}$ Ом; $r_c = 0,1 \dots 1 \cdot 10^6$ Ом; $R_{k1} \approx 200$ Ом; $R_{k2} = 75 \dots 200$ Ом [1, 2].

Оскільки значення ємностей C_z , C_{zi} , C_{cz} , C_{ci} дуже малі, то ними можна зневажити, а отже еквівалентна розрахункова схема еквівалента лямбда-діода приймає вигляд, зображений на рис. 3.

Згідно [7] затвори транзисторів мають доволі значні опори – $10^9 \dots 10^{10}$ Ом, тому на диференціальні опори каналів r_{c1} і r_{c2} еквівалента лямбда-діода робить вплив напруга на їх затворах, а не сили струмів на затворах уніполярних транзисторів (бо вони дуже замалі).

Рівняння стокової вольт-амперної характеристики лямбда-діода, згідно розрахункової схеми

$$I = \frac{1}{R_{ko1}} \frac{U_{c1}(U_{zo1} - U_{z1} - 1/2U_{c1})}{U_{zo1}} = \frac{1}{R_{ko2}} \frac{U_{c2}(U_{zo2} - U_{z2} - 1/2U_{c2})}{U_{zo2}}, \quad (1)$$

де R_{ko1} , R_{ko2} – диференціальні опори каналів уніполярних транзисторів;

U_{c1} , U_{c2} – падіння напруги між стоком і витком уніполярних транзисторів;

U_{zo1} , U_{zo2} – напруга відсічки уніполярних транзисторів;

U_{z1} , U_{z2} – напруга між затвором і витком уніполярних транзисторів.

Виходячи з розрахункової схеми: падіння напруги між затвором і витком транзистора $VT1$ і падіння напруги між стоком і витком транзистора $VT2$ рівні за величиною $U_{z1} = U_{c2}$, а падіння напруги між затвором і витком транзистора $VT2$ і падінню напруги між стоком і витком транзистора $VT1$ теж рівні між собою $U_{z2} = U_{c1}$, то загальна напруга на еквіваленті аналогу лямбда-діода буде дорівнювати

$$U_\lambda = U_{c1} + U_{c2}. \quad (2)$$

Після підстановки (2) у (1) одержимо рівняння

$$I = \frac{1}{R_{ко2} U_{зо2}} \cdot U_{c2} \cdot U_{зо2} - \frac{1}{R_{ко2} U_{зо2}} \cdot U_{c2} \cdot U_{c1} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R_{ко2} U_{зо2}} \cdot U_{c2}. \quad (3)$$

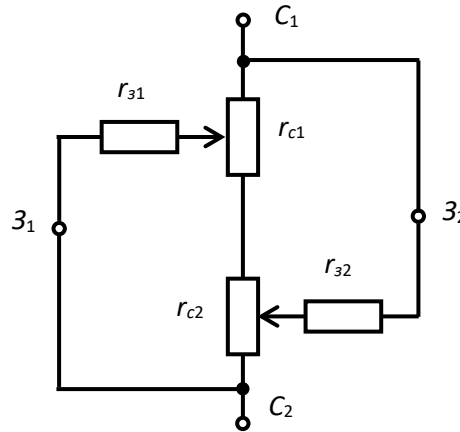


Рисунок 3. Спрощена розрахункова схема аналогу лямбда-діода

За умови компліментарності уніполярних транзисторів в еквіваленті лямбда-діода зробимо наступні припущення $I_{c1} = I_{c2}$, $U_{c1} = U_{c2}$, $U_{зо1} = U_{зо2}$, $R_{ко1} = R_{ко2}$, що дозволить спростити рівняння вольт-амперної характеристики еквівалента лямбда-діода

$$I = \frac{1}{2R_{ко}} \cdot U_{\lambda} - \frac{3}{8} \cdot \frac{1}{R_{ко} U_{зо}} \cdot U_{\lambda}^2. \quad (4)$$

Щоб негатрон аналога лямбда-діода, виконував функцію перетворювача температури, використаємо мостову схему його з'єднання (рис. 4) [8]. В цьому випадку опори терморезисторів R_1 і R_3 із збільшенням температури будуть змінюватися, в наслідок цього будуть змінюватися потенціали затворів уніполярних транзисторів, опори каналів, і, змінюватиметься сила струму витoku аналога лямбда-діода.

На рисунку 5 наведена розрахункова схема аналога лямбда-діода, що використаний в якості первинного перетворювача температури.

На схемі резистори R_1 і R_3 – терморезистори з негативним (термістори) або позитивним (позистори) температурним коефіцієнтом опору, опір цих нелінійних елементів залежить від значень температури середовища [9, 10].

Рівняння напруги на затворах лямбда-діода в залежності від величин опорів терморезисторів R_1, R_3 і резисторів R_2, R_4 . має вигляд

$$U_3 = \frac{U_\lambda}{2} - U_\lambda \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_\lambda}{2} - U_\lambda \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}. \quad (5)$$

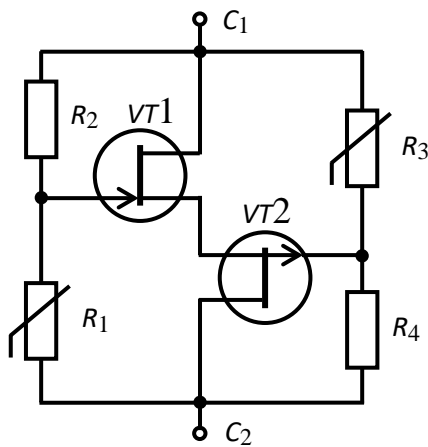


Рисунок 4. Схема аналогу лямбда-діода в якості перетворювача температури

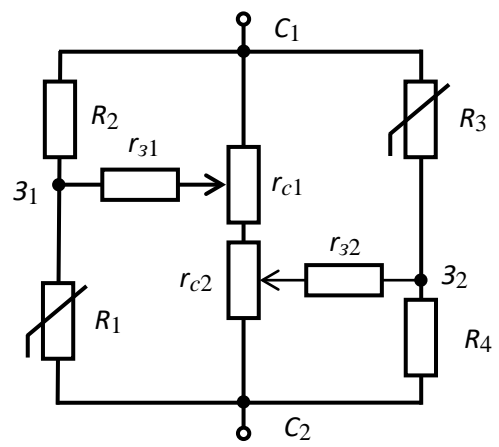


Рисунок 5. Схема заміщення аналогу лямбда-діода в якості перетворювача температури

Якщо припустити, що терморезистори R_1 і R_3 одного типу (або термістори, або позистори) і знаходяться в однакових температурних умовах, а опори резисторів R_2 і R_4 рівні між собою, то це спростить розрахунок значень параметрів аналога лямбда-діода і рівняння вольтамперної характеристики аналога лямбда-діода в якості вимірювального перетворювача температури

$$I_C = \frac{1}{2R_{к0}} \cdot U_\lambda - \frac{U_\lambda^2}{2R_{к0} \cdot U_{30}} \left(\frac{3}{4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right). \quad (6)$$

Використавши технічні дані уніполярних транзисторів аналогу лямбда-діода на компліментарній парі КП303Г-КП103Л, має наступні значення параметрів: постійна часу затвору $\tau_3 = 0,5 \dots 2 \cdot 10^{-9}$ секунди, крутизна ВАХ $S = 0,3 \dots 3 \cdot 10^{-3}$ А/В, середня ємність затворів $C_3 = 3 \dots 10 \cdot 10^{-12}$ Ф, середнє значення опорів каналів аналога лямбда-діода $R_{к\lambda} = 0,2 \dots 2 \cdot 10^6$ Ом [10].

Використовуючи розрахункову схему можна розрахувати силу



струму стоку, напругу, при який відбудеться запирання лямбда-діода, тобто ширину ВАХ, а також здійснити вибір параметрів резисторів для використання аналога лямбда-діода в якості перетворювача температури.

Висновки. З аналізу рівнянь вольт-амперної характеристики негатрона аналога лямбда-діода можна зробити висновок, що ширину ВАХ аналога лямбда-діода можна регулювати за рахунок використання різних за величиною резисторів R_1 – R_4 , тобто здійснювати контроль температури розосереджених об'єктів.

Список використаних джерел

1. Філінюк М. А. Основи негатроніки. Т.1. Теоретичні і фізичні основи негатроніки. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 456 с.
2. Філінюк М. А. Основи негатроніки. Т.2. Прикладні аспекти негатроніки. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 306 с.
3. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шоттки : [монографія] / Філінюк М.А., Куземко О.М., Ліщинська Л.Б. Вінниця : ВНТУ, 2009. 274 с.
4. Курашкін С. Ф., Попова І. О., Чураков А. Я. Експериментальне дослідження аналогу лямбда-діода на біполярних транзисторах. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь: 2007. Вип. 45. С. 40–44.
5. Погосов В. В., Корніч Г. В., Васютін Е. В. та ін. Основи нанофізики і нанотехнологій: Навчальний посібник. Запоріжжя: НТУ, 2008. 632 с.
6. Vendelin G. D., Pavidio A. M., Rohde U. L. Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques. *Wiley Interscience*. 2005. pp. 1057.
7. Філінюк М. А., Войцеховська О. В. Конструювання та технологія мікроелектронної апаратури. Частина 1. Конструювання елементів мікроелектронної апаратури : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2011. 189 с.
8. Hove J., Manusov V. Technical diagnostics of electric equipment with the use of fuzzy logic models. *Applied Mechanics and Materials: Energy Systems, Materials and Designing in Mechanical Engineering*. 2015. Vol. 792. P. 324–329.
9. Касимов Ф. Д. Перспективы развития и применения микроэлектронной негатроніки. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2008. №5. С. 5–8.
10. Попова І. О., Курашкін С. Ф., Попрядухін В. С. Експериментальне дослідження вольт-амперних характеристик аналога лямбда-діода на уніполярних транзисторах. *Енергетика і*



автоматика. 2018. №5(39). С. 59–67.

Стаття надійшла до редакції 27.01.2023 р.

I. Popova, S. Chausov

Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

CONSTRUCTION OF THE CALCULATION CHART OF THE TRANSISTOR NEGATRON ANALOGUE OF A LAMBDA-DIODE ON FIELD TRANSISTORS

Summary

The work is devoted to the development of a transistor negatron replacement circuit - a lambda diode analog on complementary field-effect transistors as a primary converter and its research in order to obtain an equation for the dependence of the drain current on the voltage on the clamps of a lambda diode analog depending on the parameters of the replacement circuit. A lambda diode is a semiconductor device that consists of a pair of field-effect transistors connected in a certain circuit and made on one crystal. The lambda diode has a switching function, which ensures its wide use.

A full equivalent negatron analog lambda diode replacement circuit was built, its parameters were analyzed in view of the typical parameters of the applied silicon field-effect transistors, which made it possible to simplify the circuit in which the channels and gates of the field-effect transistors are represented by differential resistances on the simplified equivalent analog lambda-diode circuit. and the capacitors between the electrodes are not taken into account due to their small size, which during further research made it possible to obtain the equation of the current-voltage characteristic of the analog of the lambda diode. The use of a negatron analog of a lambda diode as a measuring converter of any physical quantity is of practical interest, for which the analog of a lambda diode was used in the bridge circuit of a temperature meter: for which nonlinear elements whose resistance depends on temperature are used in one of the diagonals of the bridge meter.

The equation of the current-voltage characteristic was obtained taking into account the parameters of the bridge meter, which makes it possible to assert the possibility of using a lambda-diode analogue as a measuring converter. The field of application of the lambda-diode analogue is wide. The authors received patents that use an analogue of the lambda diode: devices for temperature control, voltage deviation in the electrical network and voltage asymmetry.

Key words: complementary pair, polytransistors, first converting device, negatron, analogue of lambda-diode



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-34

УДК 681.5:66.047.7

О. В. Радчук, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-8228-2499

М. Ю. Савченко-Перерва, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-8498-3272

Сумський національний аграрний університет

e-mail: marina.saw4encko2011@gmail.com, тел.: 099-383-43-98

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АПАРАТАМИ ДЛЯ ЕКСТРАГУВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ СУБКРИТИЧНОЮ РІДИНОЮ

Анотація. В статті розглянуто два типи обладнання для проведення технологічного процесу екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною - для статичних та динамічних систем екстрагування. Для автоматизованого керування параметрами запропоновано датчик тиску KELI P3400 та реле тиску MBC5000, термopара К-типу і нагрівальні елементи (ТЕНи). Загальне керування регулятором тиску та нагрівальними ТЕНами проводиться реле ОВЕН серії ПР1хх, яке програмується в середовищі OWEN Logic. Використання запропонованої автоматизованої системи керування апаратами для екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною дозволяє направлено керувати технологічним процесом із встановленням визначених параметрів тиску і температури і повторювати даний технологічний процес визначену кількість разів.

Ключові слова: апарат для екстрагування, субкритична рідина, тиск, температура, рослинна сировина, датчик, реле.

Постановка проблеми. В сьогоdnішніх умовах, коли провідні, економічно розвинені країни випускають нове енергозберігаюче обладнання особливо гостро стає проблема забезпечення вітчизняних підприємств модернізованим, удосконаленим та енергоефективним устаткуванням, яке б по якості виробництва продукції могло б конкурувати з світовими виробниками. На сучасному етапі, низка технологічних перетворень, з яких складається процес виготовлення екстрактів супроводжується значними витратами продукту та втратою летких ароматичних та смакових речовин, яка загалом може сягати 4/5 від початкового вмісту. Втрачається якість продукту [6,12]. Особливість процесу екстрагування рослинної сировини полягає в тому, що фізичні властивості сировини значно змінюються в процесі екстрагування, і це суттєво впливає на всі стадії технологічного процесу. Технологія переробки рослинної сировини потребує



максимального збереження біоактивних компонентів, що може забезпечити проведення екстрагування при невисоких температурах. А також використання найдешевшого та екологічного екстрагенту, розробка більш досконалого обладнання або альтернативних технологій виробництва екстракту [7], а також застосування автоматизованої системи керування апаратами для екстрагування рослинної сировини дозволять вивести процес отримання екстрактів належної якості на відповідний рівень. При розробці конкретних технологій і апаратів слід враховувати, застосування якого саме механізму забезпечує найбільшу продуктивність і ефективність, який спосіб енергетичного впливу дозволяє досягати максимально можливих ККД, а також який спосіб проведення технологічної операції найбільшою мірою знижує собівартість продукції. Конкурентний вплив цих факторів визначає вибір енергетичного впливу.

Аналіз останніх досліджень. В проаналізованих наукових роботах наведені основні положення щодо вирішення проблеми удосконалення технологій екстрагування [1-3]. Розроблено додаткове обладнання, що дозволяє вловлювати втрачені ароматичні компоненти [4,5]. Окрім того, розвиваються інноваційні методики інтенсифікації процесів екстрагування з залученням вібраційного впливу на сировину [6], ефектів кавітації, вакууму, дискретно-імпульсного введення енергії та хімічні методи інтенсифікації, адресної доставки енергії до наномасштабних елементів харчової сировини [7-10], тощо.

«Зеленим» методом екстрагування є використання води з високою температурою та тиском. Субкритична водна екстракція (SWE) — це технічний процес, у якому вода як екстрагент використовується при температурі від 100°C до 374°C з досить високим тиском (близько 10-60 бар), щоб підтримувати воду в рідкому стані. Це екологічно чиста, легко доступна, економічно ефективна, не токсична технологія, яка забезпечує набагато вищі результати екстракції твердих зразків [11,12]. Принцип цієї методики заснований на мінливості діелектричних властивостей води. За кімнатної температури вода дуже полярна з діелектричною проникністю близько 80. Оскільки вода нагрівається під тиском, щоб зберегти свій рідкий стан, діелектрична проникність зменшується так, що при 250°C діелектрична проникність становить близько 27 [13].

Основний процес є відносно простим із резервуаром для води, з'єднаним з насосом високого тиску, який вводить розчинник у систему, піч, у якій розміщено екстракційну комірку з обмежувачем або клапаном для підтримки тиску. Екстракти збираються у флакон на кінці екстракційної системи, який можна швидко охолодити для стабілізації видаленої біоактивної речовини [14].

Екстракція субкритичною водою виявилася дуже ефективним



альтернативним методом концентрації біологічно активних речовин, таких як антиоксиданти, лігнани та антокваніни, з природних матеріалів [15-16].

Wang, Y. et al. (2019) використовували субкритичну воду для вилучення лігнанів із цільного насіння льону. У той час як максимальна кількість лігнанів та інших білкових біологічно активних речовин була екстрагована при 160 °С і 5,2 МПа, найбільш концентровані екстракти лігнанів і фенольних сполук (на основі сухої маси) були отримані при нижчій температурі 140 °С і 5,2 МПа. Іншими факторами, що впливають на швидкість вилучення, були вищі швидкості потоку та глибина шару [17].

На швидкість та якість процесу екстрагування також впливає механізм вилучення БАВ – статичне та динамічне екстрагування [18].

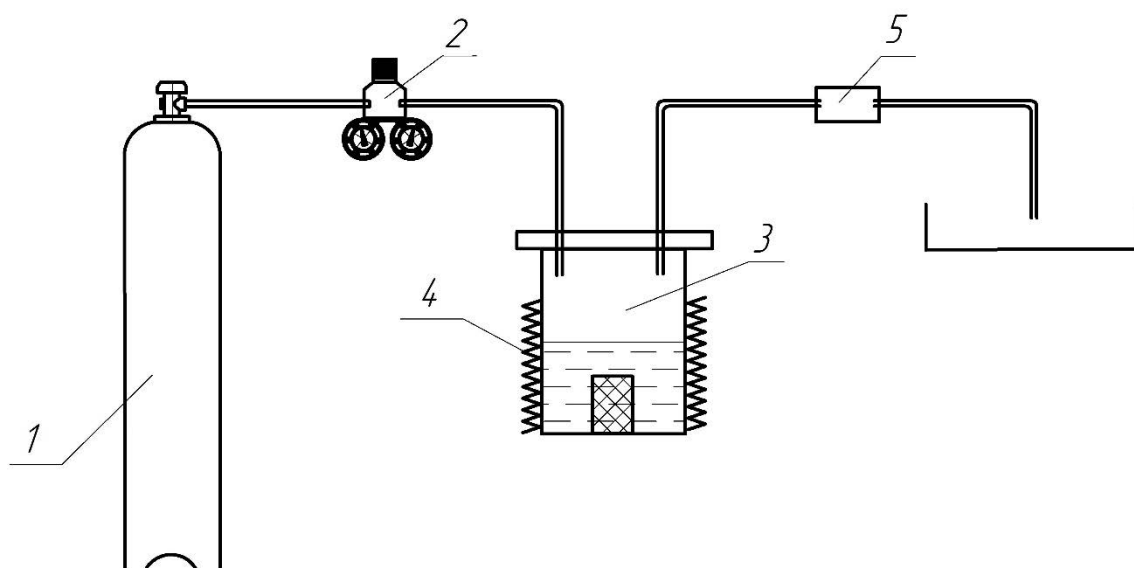
Формулювання цілей статті. Визначити основні параметри технологічного процесу екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною, їх кількісні показники та вибір і застосування засобів автоматизованого керування цими параметрами для забезпечення керованості і повторюваності процесу.

Основна частина. Автоматизована система керування апаратами для екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною може різнитися в залежності від типу устаткування.

Існує два типи обладнання для проведення процесу екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною. Перший тип - це обладнання для статичних систем екстрагування. Другий тип – системи динамічного екстрагування. Такі системи ще називають «системами безперервного потоку». Розглянемо схеми цих процесів, апарати і параметри, які необхідно забезпечити для керованості процесу отримання екстракту. Саме дотримання цих складових дозволить проводити направлений, керований технологічний процес екстрагування і отримувати необхідні екстракти з рослинної сировини.

На рисунку 1 представлена схема установки для проведення статичної екстракції з рослинної сировини субкритичною рідиною.

Установка для проведення статичної екстракції складається із ємності 1 в якій міститься рідина для екстрагування під тиском. Через редукційний клапан 2 рідина подається по трубопроводу у реактор 3, де відбувається сам процес екстракції. Реактор 3 має нагрівальні елементи 4 для нагрівання рідини і рослинної сировини, яка підлягає екстрагуванню. Реактор обладнаний запобіжним клапаном 5, який контролює максимальний тиск і запобігає його перевищення. В залежності від додаткових можливостей, реактор може бути обладнаний системою перемішування, наприклад, магнітною мішалкою.



1 – ємність для субкритичної рідини під тиском; 2 – редукційний клапан; 3 – реактор; 4 – нагрівальні елементи; 5 – запобіжний клапан.

Рисунок 1. Схема установки для проведення статичної екстракції з рослинної сировини субкритичною рідиною

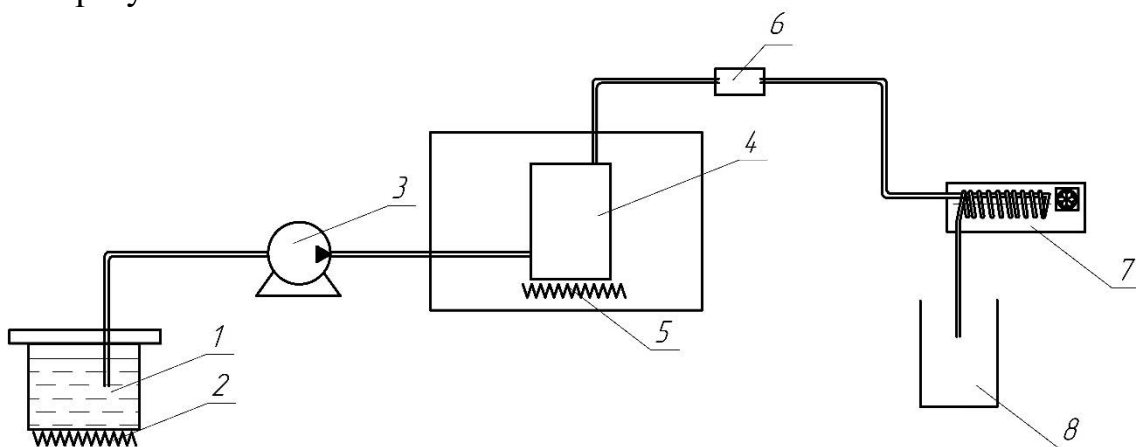
Також для інтенсифікації процесу екстрагування, можуть бути використані і інші додаткові пристрої, наприклад, ультразвукові хвилі тощо. Основними параметрами при використанні такої статичної установки є тиск P , температура T рідини, яка використовується для екстрагування і час t , протікання самого процесу. Саме автоматичне регулювання, підтримання необхідного тиску і температури дозволить керувати процесом екстрагування. Для підтримання необхідного тиску в системі є необхідність його контролювати датчиком тиску. З цією метою між редукційним клапаном 2 і реактором 3 необхідно передбачити такий датчик. В якості датчика тиску необхідно використовувати прилад, який перетворює величину тиску в електричний струм. Існує достатньо велика кількість таких перетворювачів, для прикладу, можна використати датчик тиску KELI P3400. Такий датчик дозволяє перетворювати тиск від 0 до 400 бар в електричний струм від 4 до 20 мА або в напругу від 0 до 10 В. Для регулювання тиску використовують реле тиску. Наприклад, можна використовувати автоматичне реле тиску MBC5000 (Danfoss, Польща). Такі реле тиску можуть керувати тиском до 400 бар. Реле тиску в схемі ставиться на місці редукційного клапану 2, згідно рис.1. Працює реле тиску від напруги 250 В і струму 0,5А. Корпус виготовляють із сплаву AlMgSi. Датчик тиску KELI P3400 і реле тиску MBC5000 розраховані для роботи в апаратах із субкритичною рідиною – водою. Для води, як відомо, критична температура може досягати до 374°C, при цьому, щоб

вода була в рідкому агрегатному стані, необхідно підтримувати тиск до 220 бар. Якщо в системі екстрагування використовується інша рідина, наприклад N_2 , CO_2 , то відповідно критична температура і тиск будуть зменшені.

Другий параметр, який необхідно регулювати – це температура T . Вимірювання температури можливе за допомогою датчиків – термопара К-типу. Такі термопари можуть вимірювати температуру в діапазоні до $1000^{\circ}C$ і вище із роздільною здатністю $0,1^{\circ}C$ і похибкою $\pm 0,75^{\circ}C$. Регулювання проводять шляхом увімкнення, для збільшення температури, і відключення, для зменшення температури, нагрівальних електричних елементів 4 (ТЕНів), згідно рис.1.

Загальне керування регулятором тиску та нагрівальними ТЕНами можуть виконувати комунікаційні прилади, які відносяться до групи реле, що програмуються. Наприклад, до таких реле можна віднести прилади ОВЕН серії ПР1хх, які програмуються в середовищі OWEN Logic. Такі прилади під'єднуються до комп'ютера через USB порти та проводиться програмування на керування відповідними технічними параметрами (температура, тиск). До приладів ОВЕН під'єднуються датчики і безпосередньо об'єкти регулювання (електричні ТЕНи, реле тиску). Під час проведення процесу екстрагування, прилад серії ПР1хх виконує автоматичне регулювання тиску і температури, а також часу виконання всього процесу екстрагування.

На рисунку 2 представлена схема установки для динамічного екстрагування.



1 – ємність з рідиною для екстрагування; 2,5 – електричні ТЕНи; 3 – насос високого тиску; 4 – реактор; 6 – дросель; 7 – охолоджувач; 8 – ємність для збору екстракту

Рисунок 2. Схема установки для проведення динамічного екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною

Установка для проведення динамічного екстрагування



складається із ємності з рідиною для екстрагування 1, яка попередньо підігрівається за допомогою електричних ТЕНів 2. Далі рідина для екстрагування насосом високого тиску 3 подається до реактора 4, в якому розміщено рослинну сировину для екстракції. Реактор нагрівають до температури екстрагування T . Насос 3 забезпечує тиск P для протікання процесу екстрагування. Тиск P регулюється дроселем 6. Потік рідини в субкритичному стані проходить через рослинну сировину, розчиняє продукти екстрагування, проходить через охолоджувач 7 і збирається у ємності 8. Процес динамічного екстрагування проходить за певний період часу t , екстракт зібраний в ємності 8 піддають додатковій обробці для відділення його від рідини. Основними параметрами, які впливають на процес екстрагування є тиск P , температура T і час протікання самого процесу t . Ці параметри аналогічні, як і для систем із статичною схемою екстрагування. Реактор, для динамічної схеми екстрагування, має систему нагріву і систему забезпечення відповідного тиску, які регулюються відповідно автоматичним обладнанням, яке наведено для схеми статичного екстрагування.

Висновки. У роботі вперше запропоновано підхід щодо складання схем установок динамічного і статичного екстрагування рослинної сировини субкритичною рідиною, які мають схожі системи автоматизованого керування технологічним процесом. Такі установки забезпечуються реле, що програмується - приладами автоматизованого керування. Як приклад, використання реле - ОВЕН серії ПР1хх. Основними елементами для визначення температури є термопара К-типу, які забезпечують вимірювання температури до 1000°C і вище із роздільною здатністю $0,1^{\circ}\text{C}$ і похибкою $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$. Для визначення тиску використовують датчики тиску, які перетворюють величину тиску в електричний струм. Як приклад, можна використовувати датчик тиску KELI P3400, який може вимірювати тиск до 400 бар. Регулювання тиску і температури проводиться реле, що програмується за допомогою реле тиску і електричних ТЕНів. Як приклад, можна використовувати реле тиску MBC5000 (Danfoss, Польща), яке може регулювати тиск до 400 бар. Використання автоматизованої системи керування процесу екстрагування з рослинної сировини в апаратах з субкритичною рідиною дозволить проводити контроль над процесом, можливість повторювати процес із заданими параметрами, що в кінцевому підсумку підвищить якість самого процесу екстрагування та отримання гарантованого результату.

Список використаних джерел

1. Ballesterosa L. F., Cerqueira M. A., Teixeira J. A., Mussatto S. I. Characterization of polysaccharides extracted from spent coffee grounds by



alkali pretreatment: *Carbohydrate Polymers*, 2015. Vol. 127. Pp. 347–354.

2. Потапов В. О., Мартинець І. С. Експериментальне визначення масообмінних характеристик харчової сировини. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі.*: зб.наук. праць. X., 2009. Вип. 2 (10). С.453–458.

3. Andradea K. S., Goncalvez R. T., Maraschinb M., Ribeiro-do-Vallec R. M., Martínez J., Ferreiraa S. R. S. Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: *Antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition. Talanta*, 2012. Vol. 88. Pp. 544–552.

4. Chan C.-Hung, Lima J.-J., Yusoff R., Ngho G.-C. A generalized energybased kinetic model for microwave-assisted extraction of bioactive compounds from plants: *Water Environment Research*, 2015. Vol. 88, No. 10. Pp. 1192–1229.

5. Bhuyan D. J., Vuong Q. V., Chalmers A. C., van Altena I. A., Bowyer M.C., Scarlett C.J. Microwave-assisted extraction of Eucalyptus robusta leaf for the optimal yield of total phenolic compounds: *Industrial Crops and Products*, 2015. Vol. 69. Pp. 1-10.

6. Liu F., Hou R.-H., Liao S.-T., Zou Y.-X., Xiao G.-S. Optimisation of Ultrasonic-Microwave-Assisted Extraction Conditions for Polysaccharides from Mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb) Leaves and Evaluation of Antioxidant Activities in vitro: *Med chem*, 2015. Vol. 5. No 2. Pp. 090–095.

7. Чайка О. І. Експериментальні дослідження екстрагування з рослинної сировини методом дискретно-імпульсного введення енергії. *Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України*. Одеса, 2012. Вип. 41, том 1. С. 48–51.

8. Іваницький Г. К. Дослідження впливу кавітаційного механізму при пульсаційному екстрагуванні рослинної сировини. *Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України*. Одеса, 2014. Вип. 45, том 2. С. 112–115.

9. Зав'ялов В. Л., Малезик І. Ф. Дослідження зовнішнього масообміну в умовах віброекстрагування із рослинної сировини. *Наукові праці ОНАХТ*, 2012. Вип. 41, том 1. С. 95–98.

10. Зав'ялов В. Л. Аналітичне дослідження масоперенесення при безперервному віброекстрагуванні із рослинної сировини. *Наукові праці НУХТ*, 2013. Вип. 53. С. 132–139.

11. Ko MJ., Nam NH., Chung, MS. Subcritical water extraction of bioactive compounds from *Orostachys japonicus* A. Berger (Crassulaceae): *Sci Rep* 10, 2020. P.10890. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67508-2>

12. Сукманов В. О. Дослідження процесу екстрагування виннокислих сполук із виноградних вичавок субкритичною водою. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 2017. Том 23, Вип. 5(2). С. 63–74.



[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_5\(2\)](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_5(2)) 10.

13. Ko M. J., Kwon H. L., Chung M. S. Pilot-scale subcritical water extraction of flavonoids from satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Markovich) peel: *Innov. Food Sci. Emerg.*, 2016. Vol. 38. Pp.175–181.

14. Ko, M. J., Lee, J. H., Nam, H. H. & Chung, M. S. Subcritical water extraction of phytochemicals from *Phlomis umbrosa* Turcz.: *Innov. Food Sci. Emerg.*, 2017. Vol. 42. Pp.1–7.

15. Wang, Y. et al. Biorefinery process for production of bioactive compounds and bio-oil from *Camellia oleifera* shell: *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 2019. Vol.12. Pp. 190–194.

16. Wang, D. et al. Anticancer activity and mechanism of total saponins from the residual seed cake of *Camellia oleifera* Abel. in hepatoma-22 tumor-bearing mice: *Food Funct.*, 2019. Vol. 10. Pp. 2480–2490.

17. Cheigh, C. I., Yoo, S. Y., Ko, M. J., Chang, P. S. & Chung, M. S. Extraction characteristics of subcritical water depending on the number of hydroxyl group in flavonols: *Food Chem.*, 2015. Vol. 168. Pp.21–26.

18. Cvjetko Bubalo, M., Vidović, S., Radojčić Redovniković, I., Jokić, S. “New perspective in extraction of plant biologically active compounds by green solvents”: *Food and Bioproducts Processing*, 2018. Vol.109. Pp. 52-73. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.03.001>

Стаття надійшла до редакції 14.01.2023 р.

O. Radchuk, M. Savchenko-Pererva
Sumy National Agrarian University

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR PLANT RAW MATERIAL EXTRACTION DEVICES SUBCRITICAL LIQUID

Summary

The article formulates the use of an automated control system for devices for extracting plant raw materials with subcritical water, which includes an extractor. The article discusses two types of equipment for the technological process of extracting plant raw materials with a subcritical liquid. The first type is equipment for static extraction systems, the second type is dynamic extraction systems. A feature of the process of extracting plant raw materials is that the physical properties of raw materials change significantly during the extraction process, which significantly affects all stages of the technological process. For each type of equipment, the main parameters of the technological process are determined - the pressure and temperature of the subcritical fluid. To determine the pressure, pressure sensors are used, which convert the pressure value into an electric current. When using water as a subcritical fluid, the maximum nominal pressure is 220 bar and the temperature can be 374 °C. For automated control of these parameters, the KELI P3400 pressure sensor and MBC5000 pressure switch, K-type thermocouple and heating elements (heaters) that provide temperature measurement up to 1000°C and above with a resolution of 0.1°C are proposed. and with an error of ±0.75°C. The general control of the pressure regulator and heaters is carried out by the



OWEN PR1xx series relay, programmed in the OWEN Logic environment. The application of the proposed automated control system for devices for extracting vegetable raw materials with a subcritical liquid allows you to control the process by setting certain parameters of pressure and temperature and repeating this process a certain number of times, which will ultimately increase the quality of the extraction process and lead to a guaranteed result.

Key words: apparatus for extraction, subcritical fluid, pressure, temperature, plant material, sensor, relay.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-36

УДК 620.92

С. В. Галько¹, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7991-0311

І. М. Трунова², к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7510-4291

О. О. Мірошник², д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6144-7573

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного²Державний біотехнологічний університет, м. Харків

e-mail: galkosv@gmail.com, тел.: 067-421-75-08

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОМОГОСПОДАРСТВ НА ОСНОВІ МАЛОПОТУЖНОГО ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Анотація. В статті розроблена функціональна схема системи енергозабезпечення домогосподарств на основі вітроелектричної установки малої потужності з електричним генератором зі збудженням від постійних неодимових магнітів та здвоєним ротором спрощеної конструкції, що забезпечує заданий рівень напруги у споживача при нестационарних стохастичних динамічних режимах, які характеризуються випадковою швидкістю вітру і величиною навантаження. Наведено принцип дії вітроелектрогенератора зі здвоєним ротором спрощеної конструкції та запропоновано методику визначення його розрахункової потужності при будь якій швидкості вітру і струмі навантаження. Виконане математичне моделювання режимів роботи і отримана адекватна математична модель, що описує стаціонарні та перехідні процеси у запропонованій системі.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, енергія вітру, вітроенергетика, перетворення енергії, вітроелектрогенератор, акумулятор, контроль напруги.

Постановка проблеми. Енергія вітру є одним з найпотужніших відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), що стрімко розвивається, в продовж останнього десятиріччя, забезпечуючи близько 3% світового споживання електроенергії [1-3].

Специфіка малих домогосподарств обумовлена відносно невеликим споживанням електроенергії і вимагає широкомасштабного розвитку малої вітроенергетики, техніка для якої, виходячи з технічних умов, обмежується потужністю у 10 кВт. [4] Маркетингові дослідження ринку вітроенергетичного обладнання свідчать про те, що невеликі



споживачі мають намір використовувати вітроустановки для забезпечення своїх потреб (наприклад, в якості джерел живлення виробничого і побутового обладнання, освітлення, зарядки автотракторних акумуляторів та інш.) [5].

Вітроелектрична установка (ВЕУ) перетворює кінетичну енергію вітру в електричну. Автономні ВЕУ виробляють електроенергію для побутових і промислових потреб і в сучасних умовах являють альтернативу традиційному електропостачанню.

Дослідження в галузі малої вітроенергетики показують, що світовий ринок цієї галузі знаходиться на початковому етапі і, відповідно дослідженням Всесвітньої вітроенергетичної асоціації, приріст світового сектору малої вітроенергетики з 2015 року складає 125 МВт у рік. ВВЕА прогнозує, що до 2030 р. загальна встановлена потужність малих ВЕУ у світі досягне 5 ГВт, а ринок нових невеликих ВЕУ - близько 1 ГВт [6].

Виробники обладнання для малої вітроенергетики зосереджені у п'яти країнах (Канада, Китай, Німеччина, Англія та США) і займають більше 50% світового ринку. В більшості розвинених країн заплановано у першій половині ХХІ ст. довести частку ВДЕ в загальному енергобалансі до 20...50% [4].

Досягнення ж України у впровадженні ВДЕ важко назвати суттєвими, тому передбачається збільшення частки ВДЕ у загальному балансі встановлених потужностей до 20%. Окрім розвитку комерційної відновлюваної енергетики, в Україні є необхідність розвивати некомерційну ("сільську", "фермерську", "для двору"). Такі самостійні невеликі системи служать децентралізації енергопостачання, дозволяють диверсифікувати джерела енергії, зробити більш енергонезалежною Україну, і фермерів зокрема [7-10].

Вирішення цієї проблеми неможливо без рішення науково-технічної задачі, яка полягає в розробці, дослідженні, обґрунтуванні параметрів та режимів функціонування вітроелектромеханічних систем для перетворення енергії вітру в інші види енергії. Одним з етапів вирішення цієї задачі є розробка, експериментальні дослідження і побудова математичних моделей одного з головних конструктивних елементів будь якої ВЕУ – електричного генератора, що підвищить надійність і загальний ККД ВЕУ.

Аналіз останніх досліджень. Головним елементом ВЕУ є вітроколесо (ВК), що характеризується коефіцієнтом швидкохідності. Можливості підвищення частоти обертання ВК обмежують аеродинамічні фактори. Використання для цієї мети редукторів і інших механічних пристроїв недоцільно з точки зору появи додаткових втрат енергії і погіршення масогабаритних показників. В малопотужних установках найбільш поширені багатополюсні генератори на постійних



магнітах [11,12]. Перспективними для цієї мети є генератори на постійних магнітах, які прості за конструкцією, надійні, не потребують додаткового живлення обмотки збудження [12,13].

Основною особливістю ВЕУ є необхідність роботи в умовах змінної швидкості вітру, окремі пориви якого можуть істотно перевищувати його середню швидкість, а в інші моменти часу швидкість може значно знижуватися. Ця обставина змушує використовувати в ВЕУ складні механічні або гідравлічні пристрої регулювання швидкості, а відповідно - вихідної напруги генератора, що істотно ускладнює і здорожує всю конструкцію і неприйнятно для автономної ВЕУ невеликої потужності [14-16]. Краще використовувати установки з проміжною ланкою постійного струму і буферним накопичувачем енергії з подальшим перетворенням її в напругу і струм промислової частоти [17-19]. В [20] рекомендується на підставі зіставлених характеристик потужностей генератора і вітроколеса виконувати регулювання потужності установки по колу збудження генератора, що неприйнятно для розроблених й запатентованих безредукторних вітроелектрогенераторів (ВЕГ) на постійних магнітах [12,13].

Серед різних типів накопичувачів енергії найбільш привабливим засобом для буферного накопичувача енергії в ВЕУ малої потужності є акумулятори [21,22], які при достатній швидкості вітру підзаряджаються, а при падінні швидкості вітру і дефіциті потужності віддають енергію навантаженню. Для оперативного регулювання потужності від генератора до навантаження доцільно застосовувати резистивне баластне навантаження, яке сприймає надлишки потужності при великих швидкостях вітру [23,29].

В сучасній літературі достатньо розроблені типові схеми ВЕУ великої і середньої потужності, а також режими роботи генератора з електромагнітним збудженням чи збудженням від постійних магнітів [4]. У меншій мірі досліджені нестационарні динамічні режими ВЕУ малої потужності, що характеризуються випадковою швидкістю вітру і випадковою величиною опору навантаження за умови стабілізації напруги за миттєвим значенням швидкості вітру і вихідної напруги генератора.

Формування цілей статті. Розробка функціональної схеми системи енергозабезпечення на основі ВЕУ малої потужності з електрогенератором на постійних магнітах та моделювання режиму її роботи в умовах випадкової швидкості вітру і випадкового характеру зміни опору навантаження.

Основна частина. Функціональна схема пропонованої системи енергозабезпечення з ВЕУ малої потужності на електрогенераторі з постійними неодимовими магнітами зображена на рисунку 1. Схеми

працює в такий спосіб. Фазна напруга з генератора G подається на мостовий некерований випрямляч VD і через демпфуючий фільтр F поступає на збірну шину $Ш$. Сюди ж підключається резистивне баластне навантаження $БН$ і акумуляторна батарея $АБ$ через контролер $К$ «заряду-розряду» батареї. Зі збірної шини $Ш$ напруга надходить на інвертор I , з виходу якого на навантаженні $Н$ знімається напруга 220 В промислової частоти.

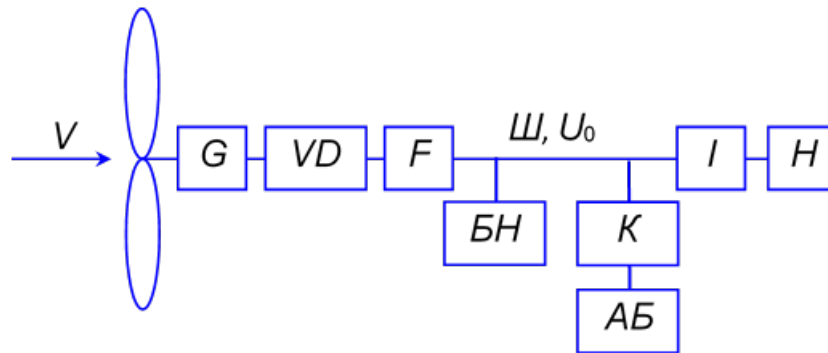


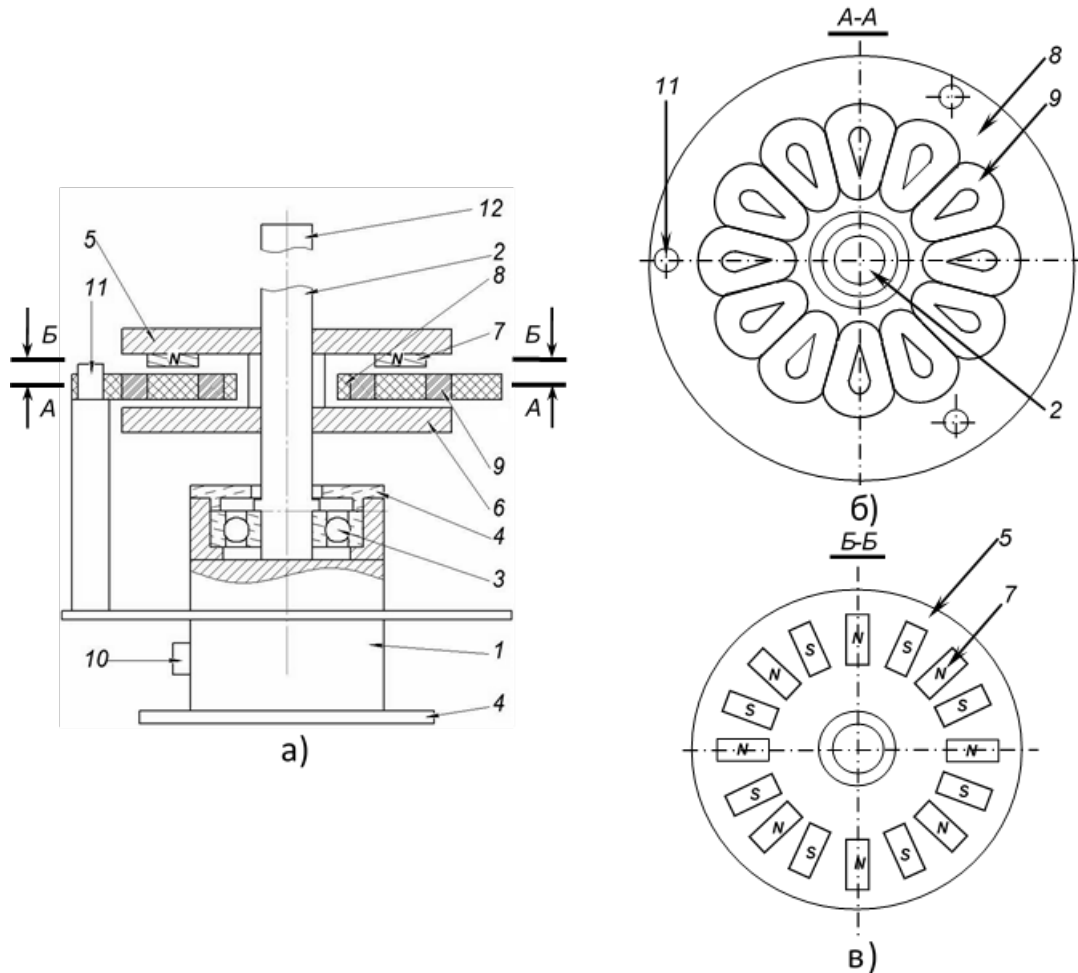
Рисунок 1. Функціональна схема системи енергозабезпечення на основі ВЕУ

При надлишку потужності генератора, що виражається у збільшенні напруги, внаслідок збільшення швидкості вітру, провідність баластного навантаження $БН$ збільшується, що приводить до відбору зайвої потужності. Крім того, в цих умовах є можливість підзарядки акумуляторної батареї $АБ$; її контролер $К$ забезпечує обмеження зарядного струму і повне його припинення при максимальному заряді. Внаслідок цього напруга на збірній шині $Ш$ зростає не суттєво. Аналогічна робота відбувається і при зниженні потужності, споживаної навантаженням $Н$. При повній втраті потужності навантаження $Н$ і повністю зарядженій батареї $АБ$ вітроколесо відводиться від вітру або гальмується, наприклад, системами, що наведені у [24]. Таким чином, у пропонованій системі не передбачається механічного регулювання швидкості вітроколеса; це відбувається шляхом регулювання навантаження генератора G .

Дефіцит потужності виникає при короткочасному зниженні швидкості вітру або накиді навантаження $Н$ на інвертор I . При дефіциті потужності на збірній шині $Ш$ провідність $БН$ знижується до нуля, а акумуляторна батарея $АБ$, що розряджається, підтримує напругу на незмінному рівні. Контролер $К$ обмежує розрядний струм акумуляторної батареї $АБ$ і припиняє його при максимально допустимому її розряді. Зміна провідності баластного навантаження $БН$ забезпечується підключенням до збірної шини $Ш$ низькоомних резисторів через пристрій широтно-імпульсної модуляції з частотою 4-6 кГц.

На основі виконаного аналізу існуючих ВЕГ малої потужності для

ВЕУ домогосподарств, розроблено і запатентовано малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції [25], будова якого наведена на рисунку 2.



а) будова ВЕГ; б) статор; в) 16-ти полюсний ротор з неодимовими магнітами

Рисунок 2. Малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції, пат. 116122

Малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції складається з корпусу 1, валу 2, встановленого на підшипниках 3, що закриті з обох сторін кришками 4. На валу 2 розташований дводисковий ротор 5, 6. Диск 6 виконаний сталевим. На диску 5 рівномірно по колу закріплені 16 неодимових магнітів 7 з чергуванням полюсів, закріплені рівномірно по колу на периферії диска, що утворюють багатополісний дисковий ротор (рис. 1, в). Між роторними дисками 5 і 6 з зазором розташований нерухомий пластмасовий (бакелітовий) статор 8 з плоскими якірними котушками 9 трапецієвидної форми без осердя (рис. 1, б). Якірні котушки 9 з'єднані згідно послідовно. Статор 8 розташований перпендикулярно осі вихідного валу 2, і залитий разом



з котушками компаундом. Кінці обмоток 9 виведені на клемну коробку 10. Шпильками 11 пластмасовий статор 8 жорстко закріплений в корпусі 1. Вал 2 ВЕГ з'єднаний з вихідним валом 12 вітроколеса (не показано).

1. *Принцип дії ВЕГ.* Вихідний вал 12 вітроколеса, що приводиться у рух вітром, передає обертовий момент через кінематичний зв'язок валу 2, який, у свою чергу, обертає закріплені на ньому роторний диск 5 з неодимовими магнітами 7 і диск 6. Так як магніти 7 розташовані рівномірно на периферії роторного диску 5, то вони створюють потужний магнітний потік $\Phi_{зб}$, який пронизує плоскі якірні котушки 9 і замикається через сталі роторні диски 5 і 6. При обертанні дисків 5 і 6 магнітний потік $\Phi_{зб}$ постійних магнітів по черзі пронизує якірні котушки 9 і індукуює в них змінну ЕРС e_k . Для збільшення вихідної ЕРС якорю e_a котушки 9 з'єднані згідно послідовно в обмотки, кінці яких виведені на клемну коробку 10.

Переваги розробленого ВЕГ такі: не потребує мультиплікатора, так як багатополосне виконання ротора забезпечує збільшення частоти генерованої ЕРС; рівномірне закріплення по колу на периферії першого роторного диску неодимових постійних магнітів забезпечує надійне збудження магнітного поля і стабільність частоти генерованої ЕРС в якірних обмотках; виконання другого диска ротора у вигляді сталі пластины забезпечує спрощення конструкції, зменшення кількості магнітів, габаритів і вартості конструкції; виконання статорного диску пластмасовим, усуває втрати на нагрів диску, зменшує момент зрушення, що розширює діапазон робочої швидкості вітру; розташування обмоток на нерухомому статорі дозволяє уникнути рухомих контактів, а отже підвищити ККД і надійність генератора; виконання статорних котушок без осердя і сталюго магнітопроводу забезпечує зменшення моменту зрушення генератора, а отже його запуск при незначній швидкості вітру; виготовлення статорних котушок плоскими трапецеїдальної форми покращує компактність статора, збільшує коефіцієнт використання об'єму статора, а отже сприяє зменшенню габариту і маси генератора; з'єднання статорних котушок згідно послідовно забезпечує збільшення ЕРС в обмотках генератора; використання потужних неодимових магнітів сприяє зменшенню габариту і маси генератора.

Цей генератор може бути однофазним (всі обмотки з'єднані послідовно) або трифазним (три групи обмоток). Останній варіант кращий, оскільки в такому разі буде більш висока частота струму при однаковій частоті обертання ротора.

2. *Розрахунок ВЕГ.* Для розрахунку ВЕГ, який являє собою синхронний генератор (СГ) з постійними магнітами з урахуванням втрат у магнітопроводі існують методики, недоліками яких є:



складність розрахунків, генератор з статорним магнітопроводом буде мати значне залипання ротора, а виконання пазів під кутом, для зменшення залипання, збільшує втрати в самому генераторі; виконання обмоток з укороченим кроком, призводить до збільшення масогабаритних розмірів генератора. Отже, приведені недоліки методик розрахунку СГ з постійними магнітами не прийнятні для розрахунку ВЕГ, у яких відсутній магнітопровід на статорі. Тому для розробленого ВЕГ на неодимових магнітах пропонується інша методика розрахунку.

Для розрахунку розробленого ВЕГ необхідно знати середнє значення обертів при середньорічній швидкості вітру в даному регіоні. При виборі кількості магнітів треба орієнтуватися на середнє значення частоти обертання і на фінансові можливості, магніти з достатнім магнітним потоком недешеві. Потужність вітроколеса визначаємо за рівнянням [26]:

$$P_{\text{ск}} = C_p \pi D^2 \rho \frac{V_0^3}{8}, \quad (1)$$

де C_p – коефіцієнт потужності вітроколеса;

ρ – щільність повітря, кг/м^3 , ($\rho \approx 1,2 \text{ кг/м}^3$);

V_0 – швидкість вітру, м/с ;

D – діаметр вітроколеса, м .

У швидкохідних добре спроектованих ВЕУ C_p досягає 0,4 [27].

Діаметр вітроколеса рахуємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{8P}{C_p \pi \rho V_0^3}}. \quad (2)$$

Оптимальна швидкохідність вітроколеса дорівнює:

$$Z_0 \approx 4\pi/n, \quad (3)$$

де n – кількість лопатей.

Для дволопатевого вітроколеса $Z_0 = 4\pi/2 \approx 6$; для 4-х лопатевого - $Z_0 = 4\pi/4 \approx 3$; для 3-х лопатевого - $Z_0 = 4\pi/3 \approx 4$ [28].

Найбільш економічні ВЕУ мають по 2 лопаті, але з метою зниження динамічних навантажень рекомендується виготовляти швидкохідні ВЕУ з 3 лопатями.

Частоту обертання вітроколеса дорівнює:

$$n = \frac{60V_0 Z_0}{\pi D}. \quad (4)$$

Фазну напругу холостого ходу СГ розраховуємо за виразом:



$$U_{\phi.x.x.} = 2n \cdot m \cdot N \cdot W_k \cdot B \cdot S, \quad (5)$$

де n – частота обертання ротора з магнітами, c^{-1} ;

m – число магнітних полюсів;

N – кількість котушок у фазі, а для однофазного - число котушок у статорі;

W_k – кількість витків в одній котушці статора;

B – магнітна індукція в зазорі, Тл;

S – площа поверхні одного магніту, m^2 .

З (5) знаходимо потрібну кількість витків котушки:

$$W_k = \frac{U_{\phi.x.x.}}{2n \cdot m \cdot N \cdot B \cdot S}. \quad (6)$$

Значення магнітної індукції в зазорі визначаємо з залежності, яка приведена у [27]. Співвідношення кількості полюсів магнітів до якірних котушок повинно бути 4:3 [27]. В нашому випадку кількість полюсів розміром 40x20x10 мм на неодимових магнітах становить $m = 16$, а кількість якірних котушок - 12, по 4 на кожен фазу обмотку, $N = 4$. При повітряному зазорі $\delta = 1$ мм, магнітна індукція B для магніту N35 дорівнює 0,5 Тл [30].

Використовуючи запропоновану методику розрахунку ВЕГ можна визначити розрахункову потужність при будь якій швидкості вітру і струмі навантаження. Нами виконані розрахунки ВЕГ при номінальному струмі навантаження $I_n = 25$ А, які наведені у таблиці 1. На рисунках 3 і 4 зображені розрахункові характеристики для 16-ти полюсного ВЕГ.

Таблиця 1

Розрахункова потужність ВЕГ при швидкості вітру 12 м/с і струмі навантаження 25 А

Кількість магнітних полюсів, m	4	8	12	16	20
Потужність ВЕГ, Вт	220	440	660	880	1100

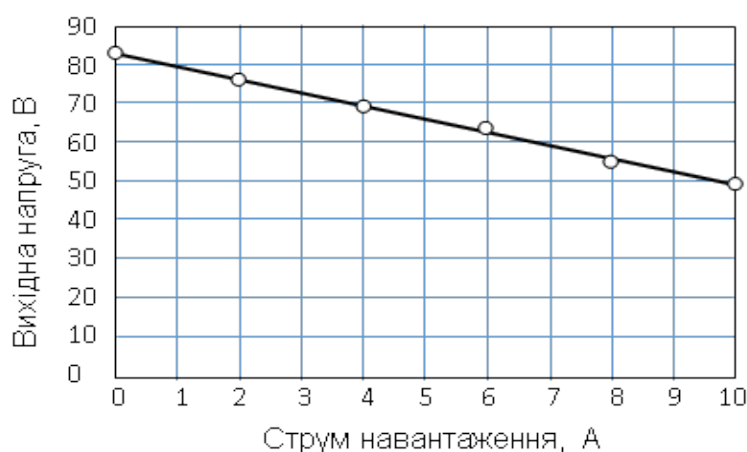


Рисунок 3. Зовнішня характеристика ВЕГ

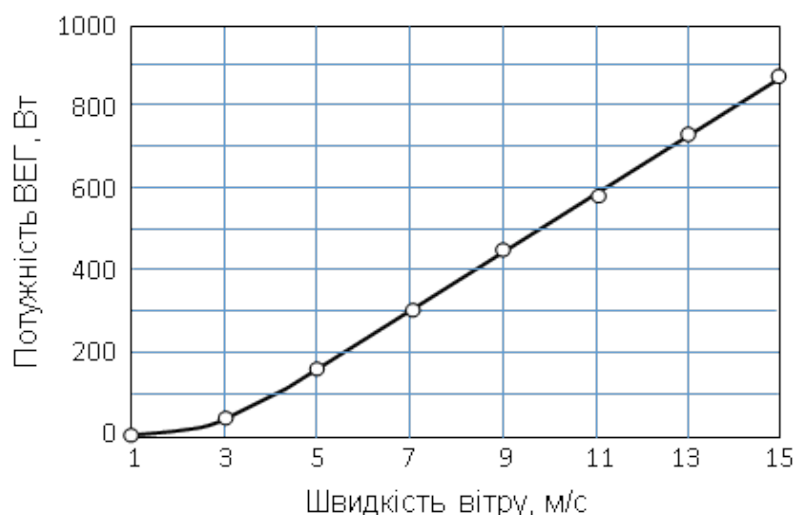


Рисунок 4. Залежність потужності ВЕГ від швидкості вітру при струмі навантаження 25 А

Результати та обговорення. Математичний опис режимів роботи генератора з постійними магнітами за умови синусоїдальної кривої вихідної напруги і ненасиченого магнітного кола виконується в ортогональних d, q - координатах з випереджаючим обертанням поздовжньої осі. У подібних генераторах немає спеціальних демпфуючих обмоток на роторі. За результатами дослідження [12], демпфуючі струми порівняно мало впливають на режим такого генератора, тому далі в математичній моделі вони не враховуються. Крім того, зміна магнітного потоку внаслідок часткового розмагнічування істотно проявляється лише при струмах, близьких до короткого замикання. Тому далі вважаємо, що магнітний потік магнітів залишається постійним. Відзначимо, що подібне допущення прийнято розробниками моделі машини з постійними магнітами в пакеті імітаційного моделювання MATLAB Simulink.



Таким чином, рівняння по поздовжній і поперечній складовій струмів і напруг генератора мають вигляд [16]:

$$\begin{cases} 1,5ri_d + 1,5L_d \frac{di_d}{dt} + 1,5L_q i_q \Omega p + u_d = 0; \\ 1,5ri_q + 1,5L_q \frac{di_q}{dt} - 1,5L_d i_d \Omega p - 1,5\Psi \Omega p + u_q = 0, \end{cases} \quad (7)$$

де i_d, u_d, i_q, u_q – поздовжні і поперечні складові фазних напруг і струмів на виході генератора;

L_d, L_q – індуктивності фазної обмотки статора генератора уздовж відповідних осей;

p – число пар полюсів;

r – активний опір фази обмотки статора;

Ψ – потокозчеплення магнітів вздовж поздовжньої осі генератора.

Нехтуючи електричною інерційністю обмоток генератора в порівнянні з його механічною інерційністю і вважаючи узагальнений опір навантаження R_n переважно резистивним, отримуємо останнє рівняння у вигляді

$$\begin{cases} 1,5ri_d + 1,5L_q i_q \Omega p + \frac{1}{\sqrt{3}} R_n i_d = 0; \\ 1,5ri_q - 1,5L_d i_d \Omega p - 1,5\Psi \Omega p + \frac{1}{\sqrt{3}} R_n i_q = 0, \end{cases} \quad (8)$$

звідки

$$i_q = \frac{1,5\Psi \Omega p \left(1,5r + \frac{1}{\sqrt{3}} R_n\right)}{L_d L_q (1,5\Omega p)^2 + \left(1,5r + \frac{1}{\sqrt{3}} R_n\right)^2} = \frac{1,5\Psi \Omega p L_d L_q}{1,5r + \frac{1}{\sqrt{3}} R_n}. \quad (9)$$

Рівняння динаміки механічної частини ВЕУ має вигляд рівняння рівноваги моментів

$$\begin{aligned} J \frac{d\Omega}{dt} + k_{mp} \Omega + M_{ген} &= M_{вк}; \\ M_{ген} &= 1,5 p i_q [1,5\Psi + (L_d - L_q) i_d], \end{aligned} \quad (10)$$

де J – момент інерції обертових мас;

k_{mp} – коефіцієнт тертя;

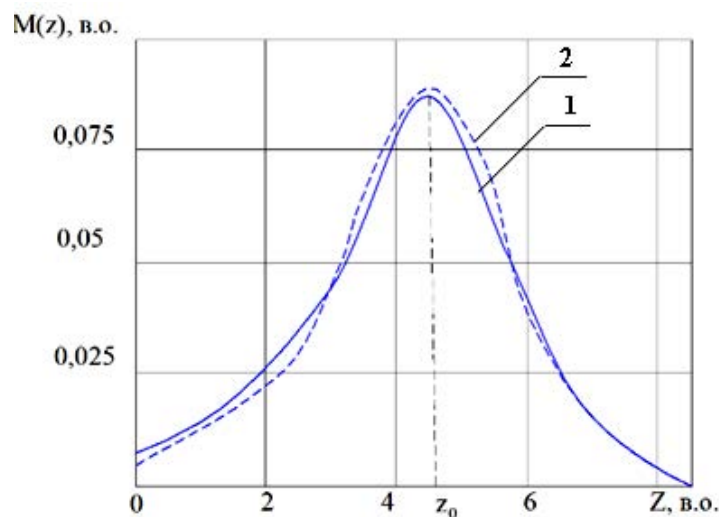
$M_{ген}$ – електромагнітний момент генератора;

$M_{вк}$ – обертовий момент вітроколеса, що залежить від швидкості його обертання і швидкості вітру [29]:

$$M_{вк} = M(z) \frac{D^3 \rho \pi V^3}{16}, \quad (11)$$

де $M(z)$ – відносний момент вітроколеса, що залежить від швидкохідності z .

Типовий графік відносного моменту для трилопатевого вітроколеса, зображений на рисунку 5 суцільною лінією 1 [26].



1 – типовий; 2 – апроксимований за (12)

Рисунок 5. Залежності відносного моменту $M(z)$ від швидкохідності z .

Для цілей моделювання цей момент апроксимується нелінійною залежністю

$$M(z) = k_1 e^{-k_2(z-z_0)^2} + k_3 e^{-k_4 z} + k_5 \sin z - k_6 z^5, \quad (12)$$

де $k_1 \dots k_6$ - коефіцієнти апроксимації.

На рисунку 5 апроксимована залежність (12) показана штриховою лінією 2 при значеннях параметрів:

$$k_1 = 0,09; k_2 = 0,35; k_3 = 0,006; k_4 = 0,03; k_5 = 0,009; k_6 = 3 \cdot 10^{-7}.$$

Як впливає з рисунку 5, апроксимація достатньою мірою відображає вихідну криву, особливо з урахуванням того, що сама вихідна крива $M(z)$ зазвичай представляється у вельми усередненому

вигляді [26].

Графік залежності опору баластного резистивного навантаження $r_{\delta n}$ від напруги U на збірній шині III зображений на рисунку 6, на якому позначено задану напругу $U_0 = 56$ В. При напрузі більшій U_0 , опір $r_{\delta n}$ зменшується, і баластове навантаження приймає надлишок потужності, що стабілізує напругу на збірній шині III. При дефіциті потужності, коли напруга зменшується, опір баластного навантаження $r_{\delta n}$ збільшується. Приведена на рисунку 6 залежність $r_{\delta n} = f(u)$ при $u > U_0$ апроксимується виразом

$$r_{\delta n} = \frac{2}{u - U_0 + 0,002}, \quad (13)$$

де u – поточне значення напруги на збірній шині.

Можлива також частково-лінійна апроксимація виразу (13). При реалізації системи закон високочастотної широтно-імпульсної модуляції конструюється таким чином, щоб забезпечити середнє значення опору $r_{\delta n}$ відповідно до кривої (13).

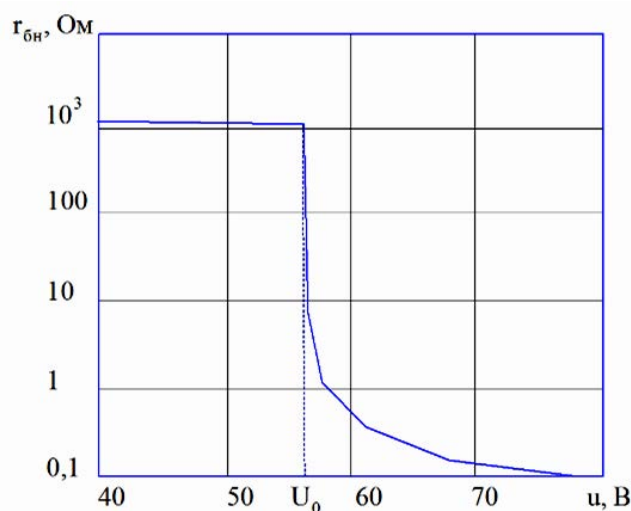


Рисунок 6. Опір баластного навантаження $r_{\delta n}$

Ідеалізована вольт-амперна характеристика (ВАХ) акумуляторної батареї $I = f(u)$ зображена на рисунку 7 штриховою лінією. Майже вертикальна ділянка цієї кривої при $I > 0$ відповідає режиму зарядки, а при $I < 0$ - режиму розрядки. Горизонтальні ділянки є неробочими і неприпустимі; контролер акумуляторної батареї виключає вихід на ці ділянки, обмежуючи струми заряду і розряду майже вертикальною частиною характеристики.

Провідність батареї $g_{a\delta} = f(u)$ (на рисунку 7 - суцільна лінія), відповідна даній ВАХ, апроксимується виразом



$$\begin{cases} g_{a\bar{b}}(u) = \frac{b_1}{u} - \frac{b_2}{U_0} e^{-b_2(u-U_0)}; u > U_0; \\ g_{a\bar{b}}(u) = \frac{b_1}{u} - \frac{b_1}{U_0} e^{b_2(u-U_0)}; u < U_0, \end{cases} \quad (14)$$

де b_1, b_2 – коефіцієнти апроксимації.

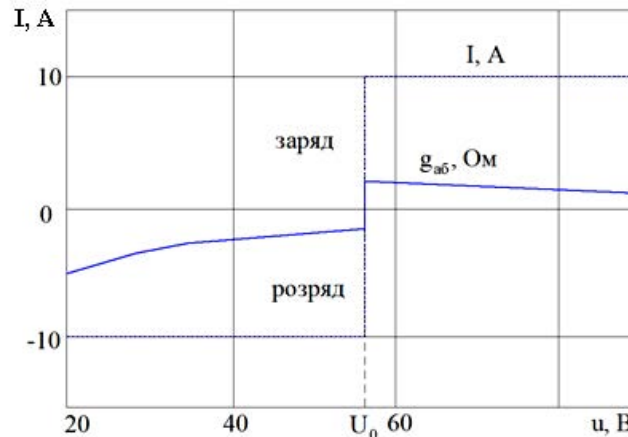


Рисунок 7. Вольт-амперна характеристика акумуляторної батареї

Перші доданки в цих виразах відображають горизонтальні ділянки ВАХ, а експонентні – забезпечують плавний перехід між цими ділянками по майже вертикальній лінії, що відповідає режимам “заряду-розряду” батареї. Коефіцієнт $b_1 = 20$ визначає граничний струм батареї; коефіцієнт $b_2 = 10$ визначає ступінь згладжування кутів характеристики і рівень нахилу від вертикалі робочої ділянки “заряду-розряду” батареї (підбирається дослідним шляхом). Таким чином, узагальнений опір навантаження визначається рівнянням:

$$R_n = R_n(t, u) = \left(\frac{1}{r_n(t)} + \frac{1}{r_{\bar{b}n}(u)} + g_{a\bar{b}}(u) \right)^{-1}, \quad (15)$$

де r_n – опір корисного навантаження (вхідний опір інвертора).

Спрощений математичний опис вузла “випрямляч – фільтр” має вигляд:

$$T_F \frac{du}{dt} + u = R_n I_n, \quad (16)$$

де T_F – постійна часу фільтра;

$I_n = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}$ - струм навантаження.

Заряд q акумуляторної батареї залежить від її струму і описується рівнянням:



$$T_{a\bar{b}} \frac{du}{dt} = u g_{a\bar{b}}(u), \quad (17)$$

де $T_{a\bar{b}}$ – постійна часу, що характеризує ємність батареї, а отже, швидкість її заряду і розряду.

Права частина рівняння (15) - струм батареї, обмежуваний зверху і знизу при розряді і заряді, і рівний нулю: коли батарея розряджена $u < U_0$; а коли батарея повністю заряджена, і $u > U_0$.

Таким чином, рівняння (7) - (15) описують механічну динаміку ВЕУ; рівняння (16) разом з (7), (13) - (15) описує напругу u на збірній шині; рівняння (17) разом з (14) характеризує поточний заряд батареї.

На рисунку 8 представлені графіки стаціонарного режиму ВЕУ на інтервалі тривалістю 70 с при випадковій швидкості вітру $V(t)$, величина якого змінювалася від 8,4 до 13,5 м/с, і випадковому характері зміни змінного опору навантаження $r_n(t)$ від 1,0 до 2,2 Ом, що відповідає коливанню потужності навантаження P_n від 1,8 до 3,0 кВт. Розрахунок виконаний за вище описаною математичною моделлю, для ВЕУ з генератором на постійних неодимових магнітах, конструкція якого запатентована авторами роботи [25], з номінальною потужністю $P_{ген.н} = 4$ кВт, з наступними чисельними значеннями параметрів: індуктивність і опір фази генератора $L_d = 0,0032$ Гн, $L_q = 0,0027$ Гн, $r = 0,3$ Ом; число пар полюсів $p = 16$; магнітне потокозчеплення постійних магнітів на полюс $\Psi = 0,165$ Вб; коефіцієнт тертя $k_{mp} = 0,01$; діаметр вітроколеса $D = 4,6$ м; момент інерції обертових мас $J = 11,1$ кг·м²; постійні часу: $T_{VD} = 1,1$ с, $T_{a\bar{b}} = 20$ с.

На рисунку 8,а зображено залежність основних параметрів режиму від часу, а на рисунку 8,б - потужності. Для наочності графік швидкості вітру показаний збільшеним в 5 разів, а графік опору навантаження $r_n(t)$ - збільшеним в 10 разів. Графіки показують, що ВЕУ в цілому успішно справляється із завданням підтримки напруги u на збірній шині на рівні 56 В. Невеликі відхилення напруги помітні лише при значних перепадах опору навантаження і швидкості вітру. Так, провал напруги на збірній шині стався в інтервалі від 12,3 с до 14 с внаслідок несприятливого впливу зниження швидкості вітру і опору навантаження, що призвело до швидкого розряду акумуляторної батареї.

Графіки показують, що зміна швидкості вітру супроводжується кидками моменту вітроколеса, які пояснюються інерційністю обертових мас ВЕУ і вимагають підвищеної уваги до проектування її механічної частини. В інтервалах сталості швидкості вітру момент вітроколеса незначно перевищує момент генератора через наявність моменту тертя. Швидкість генератора відстежує зміну швидкості вітру з запізненням, пояснюється моментом інерції обертових мас, і мало

залежить від поставлених значень опору навантаження. Струм генератора відчуває значні коливання, що пояснюється як зміною опорів $r_n(t)$ і $r_{bn}(t)$, так і струмом акумуляторної батареї i_{ab} (на рисунку 8,а зарядний струм прийнятий позитивним, а розрядний - негативним). Заряд батареї в цілому підтримується на достатньому рівні, крім зазначеного випадку провалу напруги на навантаженні, і в інтервалі від 14 с до 23 с через низький опір навантаження.

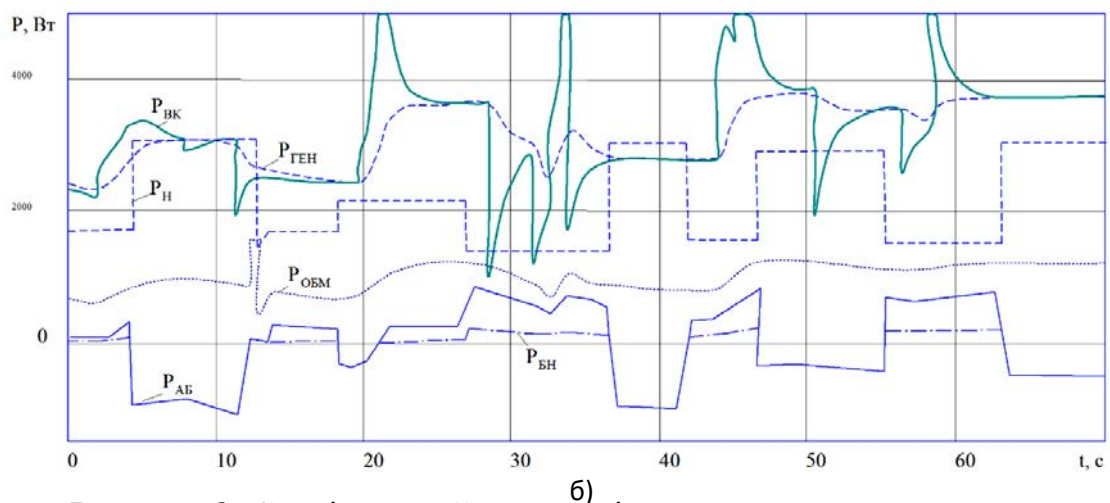
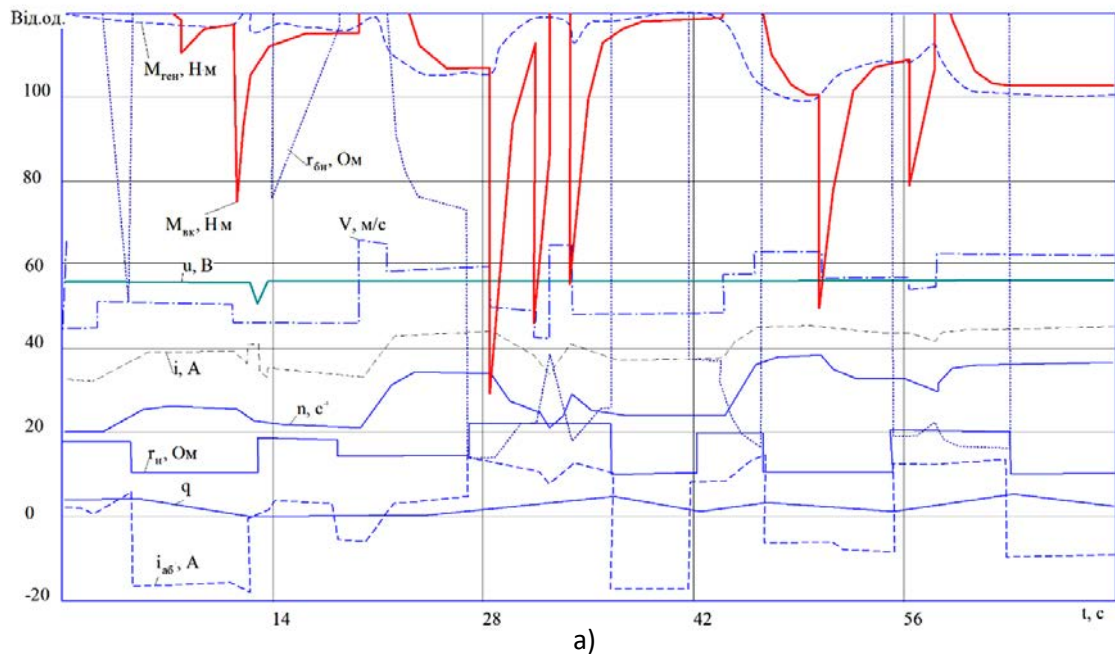


Рисунок 8. Стаціонарний режим вітроенергетичної установки

Потужність вітроколеса $P_{BK} = \Omega \cdot M_{BK}$ (рис. 8,б) має різкі коливання відповідно до зміни швидкості вітру. Потужність генератора складається з потужності навантаження, потужності баластного опору, потужності акумуляторної батареї і потужності нагріву обмоток генератора. В силу інерційності системи потужність генератора $P_{ген} =$



$\Omega \cdot M_{ген}$ змінюється плавно і коливається в межах від 2,5 кВт до 3,7 кВт. Так як напруга на збірній шині практично незмінна, графік потужності навантаження $P_n = u^2/r_n(t)$ практично точно повторює графік зміни опору навантаження $r_n(t)$. Потужність акумуляторної батареї $P_{аб} = u^2 \cdot q_{аб}$ під час заряду має позитивний знак, а під час розряду – негативна, і підживлює навантаження при дефіциті потужності генератора. На граничний розрядний струм 20 А батарея виходить тільки в момент $t = 13$ с. У цей час потужність її становить 1,3 кВт. На рис. 5,б зображені також графіки потужності баластного навантаження $P_{бн} = u^2/r_{бн}(t)$ і втрат в обмотках генератора $P_{обм} = r \cdot u^2/r_n$.

Висновки.

1. Запропонована функціональна схема системи енергозабезпечення на основі ВЕУ малої потужності з генератором на постійних магнітах забезпечує заданий рівень напруги на збірній шині, а значить і на затискачах навантаження, при значних коливаннях швидкості вітру від 8,4 до 13,5 м/с (на 62%) і випадковому характері зміни змінного опору навантаження від 1,0 до 2,2 Ом (у 2,2 рази), що відповідає коливанню потужності навантаження від 1,8 до 3,0 кВт.

2. Отримані математичні моделі адекватно описують стаціонарні та перехідні режими ВЕУ.

3. Використання безредукторних ВЕГ значно покращує масогабаритні показники системи і приводить до її здешевлення.

4. Застосування буферної акумуляторної батареї достатньої ємності, постійно приєднаної до навантаження, забезпечує більш стабільну напругу ВЕУ в умовах випадкових коливань швидкості вітру і потужності навантаження.

Список використаних джерел

1. Yang Z., Chai Y. A survey of fault diagnosis for onshore grid-connected converter in wind energy conversion systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. Vol. 66. P. 345–359.

2. Gan L. K., Echenique Subiabre E. J. P. A realistic laboratory development of an isolated wind-battery system. *Renewable Energy*, 2019. P. 645-656.

3. Merizalde Y., Hernández-Callejo L., Duque-Perez O., Alonso-Gómez V. Maintenance models applied to wind turbines. A comprehensive overview. *Energies*, 2019. Vol. 12, No 2. P. 15-21. Article number 225.

4. Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств : монографія. Мелітополь: Люкс, 2019. 215 с.

5. Kabir E., Kumar P., Kumar S., Adelodun A. A., Ki-Hyun Kim. Solar energy: Potential and future prospect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82, No 1. P. 894-900.



<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>.

6. World Wind Energy Report 2012_final. URL: <http://www.wwindea.org/wwea-half-year-report-worldwind> (дата звернення: 26.02.2023).

7. Ciriminna R., Meneguzzo F., Pecoraino M., Pagliaro M. Rethinking solar energy education on the dawn of the solar economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 63. P. 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.008>.

8. Sansaniwal S., Sharma V., Mathur J. Energy and energy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82, No 1. P. 1576–1600. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.003>.

9. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 19, Т. 3. С. 130–141.

10. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 10 квіт. 2020 р. м. Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83–90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.*

11. Fu Y., Hu W., Xu F. Clean Heating Scheduling Optimization with Wind Power in Northern China. *Journal of Energy Engineering*. 2017. Vol. 143, No. 6. P. 28–35. Article number 04017056.

12. Безредукторний малопотужний вітроелектрогенератор: пат. 104467 Україна: МПК F03D 7/06 (2006.01), F03D1/06. №201400015; заявл. 30.12.2014; опубл. 10.02.2016, Бюл. №3. 4 с.

13. Електричний генератор плоскої конструкції: пат. 116576 Україна: МПК H02K21/00, H02K16/00. №201612745; заявл. 25.10.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. №10. 4 с.

14. Будько В. І. Розроблення математичної моделі роботи автономної зарядної станції електромобілів від вітроелектричних установок. *Відновлювана енергетика*. 2017. № 3. С. 6–13.

15. Islam M., Choi S., Elbuluk M. E., Bonthu S. S. R., Arafat A., Baek J. Design of external rotor ferrite-assisted synchronous reluctance motor for high power density. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No 7, P. 3102. <https://doi.org/10.3390/app11073102>.

16. Жарков В. Я., Жоров В. І., Жоров С. В. Аналіз роботи вітроелектричного зарядного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2012. Вип. 2, Т. 1.

17. Boubzizi S., Abid H., Elhajjaji, A., Chaabane, M. Comparative study of three types of controllers for DFIG in wind energy conversion system. *Protection and Control of Modern Power Systems*. 2018. Vol. 3, No



1. P. 57–68.

18. Siniscalchi-Minna S., Bianchi F.D., De-Prada-Gil M. A wind farm control strategy for power reserve maximization. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 131. P. 37–44.

19. Peng G., Wei J., Shi Y., Shao Z., Jian L. A novel transverse flux permanent magnet disk wind power generator with H-shaped stator cores. *Energies*. 2018. Vol. 11, Issue 4. P. 58–69. Article number 810.

20. Жарков В. Я. Сучасні проблеми розвитку присадибної вітроенергетики. *Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів: матеріали І всеукр. наук.-техн. конф., м. Донецьк, 18-19 жовт. 2012 р. Донецьк: "ДВНЗ" ДонНТУ, 2012. С. 127–128.*

21. Juangsa F. B., Budiman B. A., Aziz M., Soelaiman T.A.F. Design of an airborne vertical axis wind turbine for low electrical power demands. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 8, Issue 4. P. 293–301.

22. Bi H., Wang P., Wang Z. Common grounded H-type bidirectional DC-DC converter with a wide voltage conversion ratio for a hybrid energy storage system. *Energies*. 2018. Vol. 11, No 2. P. 54–68.

23. Cetrini A., Cianetti F., Corradini M., Ippoliti G., Orlando G. On-line fatigue alleviation for wind turbines by a robust control approach. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2019. Vol. 1, No 9. P. 384–394.

24. Njiri J. G., Beganovic N., Do M. H., Söffker D. Consideration of lifetime and fatigue load in wind turbine control. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 131. P. 818–828.

25. Малопотужний вітроелектрогенератор зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції: пат. 116122 Україна: МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. №201611504; заявл. 14.11.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10. 4 с.

26. Twidell J., Weir T. *Renewable Energy Resources*. London and New York: Taylor & Francis, 2006. 601 p.

27. Qawaqzeh M. Z., Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Zharkov, A. Modelling of a household electricity supply system based on a wind power plant. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2020. Vol. 96, No 11. P. 36-40. <https://doi.org/10.15199/48.2020.11.08>.

28. Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Figura R., Zharkov A., Vershkov O. Magnetic field parameters mathematical modelling of wind-electric heater. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97, No 8. P. 36-41. <https://doi.org/10.15199/48.2021.08.07>.

29. Halko, S., Suprun, O., Miroshnyk, O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on*



Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings. 2021. P. 132-136. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.

30. Olatomiwa S., Mekhilef A., Olayinka S. Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geo-political zones of Nigeria. *Renewable Energy*. 2015. Vol. 83. P. 435–446.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2023 р.

S. Halko¹, I. Trunova², O. Miroshnik²

¹**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

²**State Biotechnological University**

DEVELOPMENT OF AN ENERGY SUPPLY SYSTEM FOR HOUSEHOLDS BASED ON A LOW-POWER WIND GENERATOR

Summary

The article develops a functional scheme of the household energy supply system based on a low-power wind turbine with an electric generator with excitation from permanent neodymium magnets and a dual rotor of a simplified design that provides a given voltage level for the consumer under non-stationary stochastic dynamic modes, which are characterized by random wind speed and load.

The principle of operation of a wind turbine with a dual rotor of a simplified design is given and a method for determining its calculated power at any wind speed and load current is proposed.

A mathematical description of the operating modes of a generator with permanent magnets under the condition of a sinusoidal curve of the output voltage and an unsaturated magnetic circuit is made in orthogonal d, q - coordinates with a leading rotation of the longitudinal axis.

Mathematical modeling of operating modes is performed and an adequate mathematical model describing stationary and transient processes in the proposed system is obtained. Graphical dependencies of the stationary wind turbine mode at a time interval from 0 to 70 s at a random wind speed, the value of which varied from 8.4 to 13.5 m/s (by 62%) and the random nature of the change in variable load resistance from 1.0 to 2.2 ohms (2.2 times), which corresponds to a fluctuation in load power from 1.8 to 3.0 kW, were obtained. The power of the wind wheel has sharp fluctuations in accordance with changes in wind speed. Generator power consists of load power, ballast resistance power, battery power and heating power of the generator windings. Due to the inertia of the system, the generator power changes smoothly and ranges from 2.5 kW to 3.7 kW.

The obtained mathematical models adequately describe the stationary and transient modes of the wind power plant. The use of gearless wind turbines significantly improves the weight and size indicators of the system and leads to its cheapening. The use of a buffer battery of sufficient capacity, permanently connected to the load, provides a more stable voltage of the wind power plant in conditions of random fluctuations in wind speed and load power.

Key words: renewable energy, wind energy, wind energy, energy conversion, wind turbine, battery, voltage control.



УДК 631.22:628.8

І. М. Трунова¹, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7510-4291

О. О. Мірошник¹, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6144-7573

С. В. Галько², к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7991-0311

¹Державний біотехнологічний університет, м. Харків²Таврійський державний агротехнологічний університет імені

Дмитра Моторного

e-mail: trunova_iryana@btu.kharkov.ua, тел.: 098-590-66-90

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. Розглянуті питання вдосконалення методики комп'ютеризованого аналізу теплового балансу тваринницького приміщення під час енергетичного аудиту. Зроблено висновок, що необхідність врахування зоотехнічних вимог до мікроклімату тваринницьких приміщень та фізіологічних особливостей тварин вимагають розробки певних алгоритмів розрахунків для комп'ютеризованого аналізу енергоефективності та керування системою мікроклімату, що показано на прикладах отримання аналітичних виразів для визначення втрат теплової енергії через огороження приміщення, з вентиляційним повітрям природної вентиляції, та розробленої блок-схеми алгоритму розрахунку надходження теплової енергії від тварин. Отримані аналітичні залежності та розроблена блок-схема алгоритму розрахунку надходження теплової енергії від тварин можуть бути корисними при застосуванні комп'ютерних технологій під час енергетичного аудиту систем мікроклімату тваринницьких приміщень та для ефективного керування приладами опалення.

Ключові слова: енергетичний аудит, тепловий баланс, тваринницьке приміщення.

Постановка проблеми. Енергетична проблема дуже актуальна для всіх держав світу, особливо гостра є в Україні, яка лише на 35-40 % може задовольнити свої потреби своїми енергетичними ресурсами. Тому питання енергозбереження і енергоефективності є досить актуальною проблемою [1-3]. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є використання альтернативних джерел енергії, які перетворюють енергію



вітра, сонця та інших нетрадиційних джерел енергії [4-6].

В тваринництві одна з найбільш енергоємних складових виробничого процесу це підтримання необхідних згідно з зоотехнічними вимогами державних норм, наприклад, ДБН В.2.2-1, щодо параметрів мікроклімату приміщень для утримання тварин. Алгоритм розрахунку теплоенергетичного балансу таких приміщень має враховувати багато складових, в тому числі і фізіологію тварин. Він досить трудомісткий, тому існує необхідність використання комп'ютерних технологій, зокрема, для дослідження впливу розроблених рекомендацій щодо підвищення енергоефективності систем мікроклімату.

Формулювання мети статті. Метою роботи є підвищення енергоефективності систем мікроклімату тваринницьких приміщень шляхом вдосконалення методики комп'ютеризованого аналізу теплового балансу тваринницького приміщення під час енергетичного аудиту.

Аналіз останніх досліджень. Згідно з Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів [7] на кожному підприємстві необхідно забезпечити ефективні режими використання електричної енергії. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту» [8] передбачає, що одним із завдань енергоаудитора є аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів в енергоємних системах, технологічних установках, технологічних процесах та підрозділах. Це стосується і електрифікованих систем мікроклімату приміщень, на що спрямовані вимоги багатьох чинних на момент дослідження нормативних документів з енергозбереження [9-13].

Основою аналізу енергоефективності системи мікроклімату будь якого приміщення є аналіз теплового балансу на основі нормативних значень мікроклімату приміщень [14-21], однак, як відмічається в [15,22], для тваринницьких приміщень він має особливості, що стосуються зоотехнічних вимог утримання тварин та виділенням тваринами вологи, теплоти, вуглекислого газу, що також є змінними величинами, наприклад в [23] наводяться результати дослідження залежності виділення загальної теплоти коровою молочного напрямку вагою 300 кг від температури навколишнього середовища. Також в [23,24] отримані формули, які дозволяють врахувати фізіологічні показники тварин в розрахунках теплового балансу тваринницького приміщення при вихідних даних, що відрізняються від табличних даних нормативів і в [23] запропонована блок-схема вибору необхідного значення виділення вологи однією твариною з табличних даних, але не розглядаються інші складові теплового балансу.

В [25] приведена узагальнений вираз втрат теплової енергії крізь огороження приміщення залежно від температур зовнішнього та



внутрішнього повітря, а в [26] приведений фрагмент комп'ютерної програми для дослідження теплового балансу тваринницького приміщення, але не опубліковані його конкретні результати.

В [27] йдеться про регулювання мікрокліматом за допомогою автоматичного керування кліматичною технікою, але не враховуються особливості технологічного процесу мікроклімату тваринницьких приміщень, як і в аналізі особливостей проектування та пошуку проблем із забезпеченням мікроклімату приміщень в [28]. Питання комп'ютерного математичного моделювання процесів в пташниках та їх експериментальних досліджень присвячені роботи [29-31], що є схожим напрямком з цим дослідженням, але базується на особливостях утримання свійської птиці.

Основна частина. Загальна математична модель теплоенергетичного балансу тваринницького приміщення має вигляд

$$Q_{ог} + Q_{в} = Q_{оп} + Q_{т}, \quad (1)$$

де $Q_{ог}$, $Q_{в}$, $Q_{оп}$, $Q_{т}$ – відповідно витрати теплової енергії через огороження та з вентиляційним повітрям (витратна частина теплового балансу) та надходження теплової енергії від системи опалення та тварин (прибуткова частина теплоенергетичного балансу).

Витрати теплової енергії через огороження приміщення (стіни, вікна, ворота тощо) визначаються за виразом

$$Q_{ог} = \sum_{i=1}^n F_i \cdot k_i \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де F_i , k_i , Δt – відповідно площа i -того огороження, коефіцієнт теплопередачі та різниця температур зовнішнього та внутрішнього повітря.

Дослідження показали, що при певних конструктивних особливостях приміщення залежність втрат теплової енергії через огороження від температури зовнішнього ($t_з$) та внутрішнього ($t_в$) повітря при деякій нормованій оптимальній температурі утримання тварин ($t_{опт}$) можна представити у вигляді

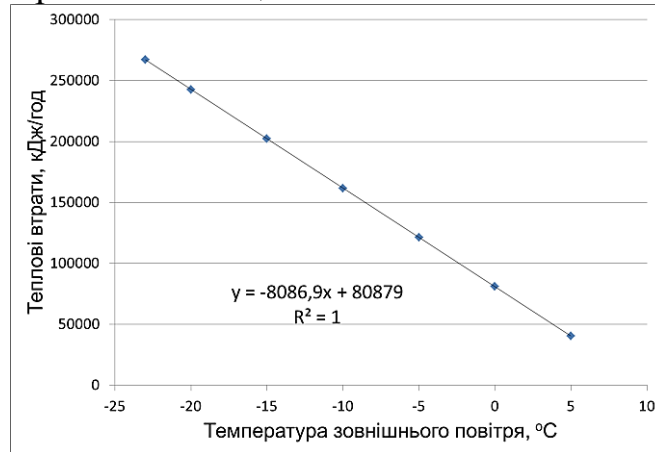
$$Q_{ог} = -A \cdot t_з + B \cdot t_в / t_{опт}, \quad (3)$$

де A , B – коефіцієнти, які залежать від конструктивних особливостей приміщення.

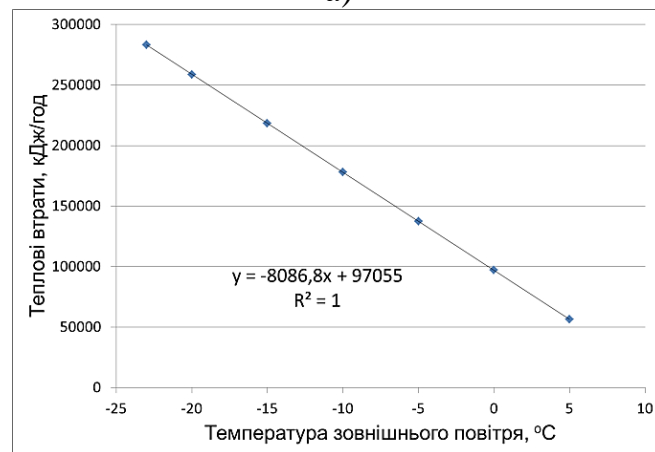
Для на рисунку 1 показані графічні залежності від температури



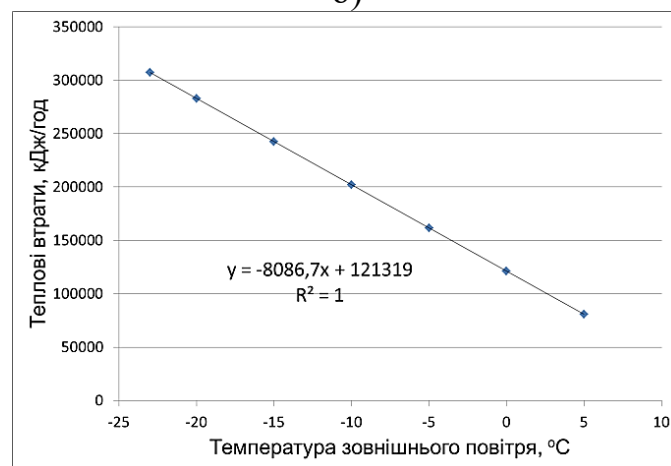
зовнішнього повітря втрат теплової енергії через огороження приміщення для утримання молодняку ВРХ віком від 6 до 18 місяців та відповідні аналітичні залежності, що отримані за результатами розрахунків за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel.



а)



б)



в)

а) при $t_B = 10^\circ\text{C}$; б) при $t_B = 12^\circ\text{C}$; в) при $t_B = 15^\circ\text{C}$

Рисунок 1. Залежність втрат теплової енергії через огороження тваринницького приміщення від температури зовнішнього повітря Під час енергетичного аудиту аналіз цієї складової теплового балансу

дає можливість виявити потенціал енергозбереження при можливих конструктивних змінах (тобто впливаючи на коефіцієнти A і B).

Наприклад, в тваринницькому приміщенні для утримання молодняку ВРХ віком від 6 до 18 місяців, що розглядається, утеплення горищного перекриття матами зі шлаковати має потенціал зменшення втрат теплової енергії на 6,4 %. При цьому, залежність втрат теплової енергії через огороження даного приміщення від температури зовнішнього повітря матиме вигляд як на рисунку 2. Як бачимо, зміна конструктивних параметрів приміщення (товщини горищного перекриття та його теплопровідності) вплинули на зміну коефіцієнтів A і B у виразі (3).

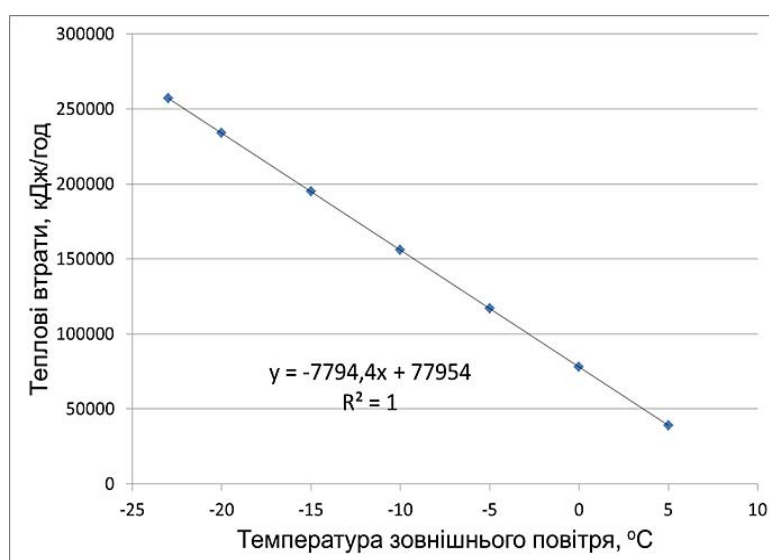


Рисунок 2. Залежність втрат теплової енергії через огороження тваринницького приміщення від температури зовнішнього повітря після конструктивних змін (утеплення горищного перекриття) при $t_{в} = 10^{\circ}\text{C}$.

Аналізуючи відомий вираз щодо визначення втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям ($Q_{в}$) можна зробити висновок, що втрати тепла з природною вентиляцією прикладу тваринницького приміщення, що розглядався, також залежать від конструктивних параметрів (загальної площі перерізу та висоти вентиляційних шахт) та від температур зовнішнього повітря та всередині приміщення.

Нехтуючи незначною зміною теплоємності повітря, для прикладу тваринницького приміщення, тепловий баланс якого розглядався, була отримана графічна та аналітична залежність втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям, що приведені на рисунку 3.

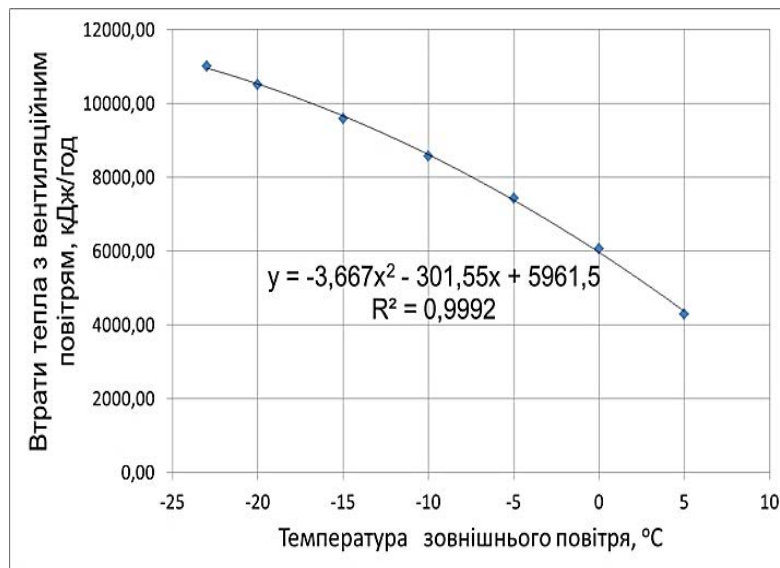


Рисунок 3. Залежність втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям природної вентиляції тваринницького приміщення від температури зовнішнього повітря при $t_B = 10^\circ\text{C}$

Узагальнений аналітичний вираз для опису втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям матиме такий вигляд

$$Q_B = -k_1 \cdot t_3^2 - k_2 \cdot t_3 + k_3, \quad (4)$$

де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, що характеризують конструктивні особливості природної вентиляції тваринницького приміщення (загальну площу перерізу та висоту вентиляційних шахт).

Отримавши вказані аналітичні залежності, що залежать від конструктивних параметрів приміщення, тепловий баланс якого аналізується, можна використовувати їх не лише під час комп'ютеризованого аналізу систем мікроклімату під час енергетичного аудиту, але і в комп'ютерних програмах керування системами мікроклімату.

Також необхідний для комп'ютерного керування системою мікроклімату тваринницького приміщення аналіз ще однієї складової теплового балансу – надходження тепла від тварин (Q_m). З цією метою була розроблена блок-схема алгоритму розрахунку кількості виділення теплової енергії ВРХ з врахуванням виду, продуктивності, ваги (G) тварин. Фрагмент цієї блок-схеми приведений на рисунку 4, з врахуванням емпіричних виразів за [4], де q – кількість виділення теплової енергії однією твариною, Вт; G_1, G_2, \dots, G_i – середня вага тварин у розрахунковий період, кг; N – кількість тварин.

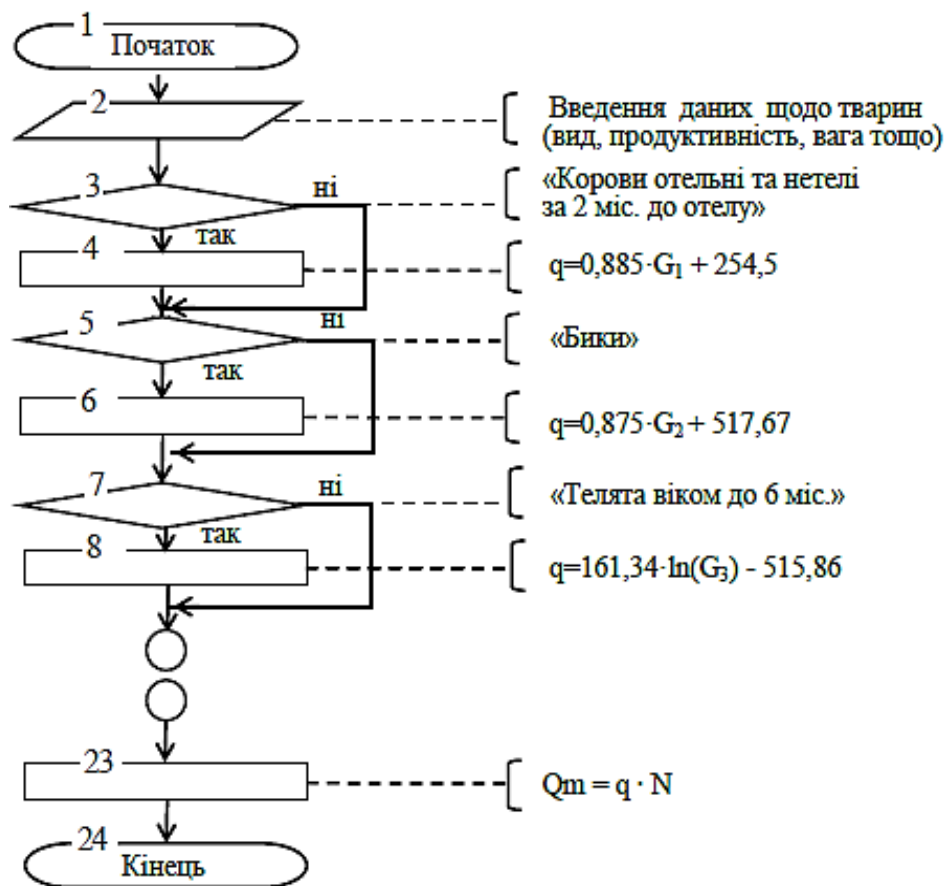


Рисунок 4. Блок-схема алгоритму розрахунку кількості виділення теплової енергії ВРХ

Висновки. Результати дослідження енергоефективності систем мікроклімату тваринницьких приміщень з використанням комп'ютерних технологій показали, що розроблена блок-схема алгоритму розрахунку кількості виділення теплової енергії ВРХ та отримані аналітичні вирази для визначення втрат теплової енергії через огороження приміщення та з вентиляційним повітрям природної вентиляції, можуть бути корисними під час енергетичного аудиту та для створення програмного забезпечення для керування системами мікроклімату тваринницьких приміщень.

Список використаних джерел.

1. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy saving in electromechanical grain cleaning systems. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.
2. Bazaluk, O., Postnikova, M., Halko, S., Mikhailov, E., Kovalov, O., Suprun, O., Miroshnyk, O., Nitsenko, V. Improving energy efficiency of grain cleaning technology. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol.



12(10). Р. 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.

3. Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств : монографія. Мелітополь : Люкс, 2019. 215 с.

4. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки електромобілів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Вип. 19, Т. 3. С. 130–141.

5. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень*: матеріали міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 10 квіт. 2020 р. м. Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83–90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.

6. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings*. 2021. Р. 132–136. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.

7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів: база даних «Законодавство України» ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 15.09.2022).

8. Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту: Типова методика: затв. наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів від 20.05.2010 р. № 56. Київ: Індустрія, 2010. 140 с.

9. ДСТУ 4715:2007. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад та зміст робіт на стадіях розроблення та впровадження: [Чинний від 2007-01-29]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 21 с.

10. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (ISO 13790:2008, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 34 с.

11. ДСТУ Б EN 15217:2013. Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT). [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 28 с.

12. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 24 с.



13. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 39 с.

14. ДСТУ 4714:2007. Енергозбереження. Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 25 с.

15. Трунова І. М., Савченко О. А., Мірошник О. В. Практикум з енергетичного аудиту в АПК.: навч. посіб. Харків: Фінарт, 2015. 180 с.

16. Прокопенко В. В. Закладний О. М., Кульбачний І. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: навч. посіб. Київ: Освіта України, 2008. – 438 с.

17. Маляренко В. А., Немировский І. А. Енергозбереження та енергетичний аудит: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 344 с.

18. Хмельнюк М. Г., Яковлева О. Ю., Остапенко О. В. Енергетичний менеджмент і аудит = Energy management and audit: підручник. Ч. 1 / за заг. ред. М. Г. Хмельнюка. Херсон: Грінв Д.С., 2016. 224 с.

19. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 347 с.

20. Федоренко О. О., Мартиненко О. В. Проблематика енергозбереження при створенні нормативних параметрів мікроклімату робочої зони приміщень підприємств. *Технології та дизайн*. 2013. № 4(9). С. 1–6.

21. Колієнко В. А., Тормосов Р. Ю., Колієнко А. Г. Сучасні тенденції виконання енергетичного аудиту. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2016. Вип. 8. С. 152–157.

22. Мороз О. М., Трунова І. М. Аналіз напрямів енергозбереження в електрифікованих технологічних процесах АПК. *Вісник ХНТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2016. Вип. 176. С. 3–5.

23. Трунова І. М. Андрусенко О. С., Ільченко Я. В. Вдосконалення методики розрахунку теплового балансу тваринницьких приміщень. *Вісник ХНТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2013. – Вип. 142. С. 3–5.

24. Трунова І. М. Фізіологічні показники тварин у розрахунку теплового балансу приміщення. *Вісник ХНТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2014. Вип. 154. С. 8–9.

25. Трунова І. М., Чигринець К. Д., Пастушенко Р. Р. Аналіз особливостей енергетичного аудиту систем мікроклімату



тваринницьких приміщень з використанням комп'ютерних технологій. *Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку*: зб. наук. праць IV всеукр. Інтернет-конф. здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів. Київ: КІЗТ, 2022. С. 84–85.

26. Трунова І. М., Чигринець К. Д., Іванченко О. В. Дослідження математичної моделі теплового балансу тваринницького приміщення під час енергетичного аудиту. *Електроенергетика, електромеханіка та технології АПК*: зб. наук. праць V міжнар. наук.-техн. конф. Харків: ДБТУ, 2022. С. 23–24.

27. Заєць Я. Б., Злотенко Б. М. Енергоефективна система керування мікрокліматом у приміщенні. *Технології та дизайн*. 2017. № 1 (22). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_1_7 (дата звернення: 15.02.2023).

28. Качанов П. О., Євсеєнко О. М. Огляд потреби побудови енергоефективної системи керування вентиляцією. *Технічна інженерія*. 2022. № 1(89). С. 69–76.

29. Троханяк В. І. Комп'ютерне математичне моделювання процесів масопереносу і теплообміну вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях. *Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК*: зб. тез доп. II міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених. м. Київ, 16–17 жовт. 2014 р. Київ, 2014. С. 46–47.

30. Троханяк В. І., Горобець В. Г., Богдан Ю. А. Експериментальне дослідження охолодження припливного повітря для підтримання оптимального мікроклімату в пташнику. *Актуальні проблеми наук про життя та природокористування*: зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених. м. Київ, 28–31 жовт. 2015 р. Київ, 2015. С. 252–254.

31. Горобець В. Г., Троханяк В. І., Круковський П. Г. Чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу та оптимальне розміщення вентиляційного обладнання в пташнику. *Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК*: зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. конф. м. Київ, 17–18 груд. 2015 р. Київ, 2015. С. 93–94.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2023 р.

I. Trunova¹, O. Miroshnik¹, S. Halko²

¹State Biotechnological University

²Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

**RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF ANIMAL PREMISES
MICROCLIMATE SYSTEMS USING COMPUTER TECHNOLOGIES**



Summary

The issues of improving the method of computerized analysis of the heat balance of the livestock building during the energy audit are considered. It has been determined that it is necessary to take into account zootechnical requirements for the microclimate of livestock buildings (temperature, lighting, etc.). It is also necessary to take into account the physiological characteristics of animals, which depend on the parameters of the microclimate, first of all, the dependence of animal productivity on microclimate conditions. Therefore, it is required to develop certain calculation algorithms for computerized analysis of energy efficiency and control of the microclimate system of livestock buildings. Examples are used to obtain analytical expressions for determining the loss of thermal energy through the enclosure of a room and the loss of thermal energy with natural ventilation air. During an energy audit, the analysis of these components of the heat balance allows you to identify the potential for energy savings with possible structural changes to the premises. An example of a livestock building for keeping young cattle aged from 6 to 18 months is given, where the insulation of the attic floor with slag mats made it possible to obtain a certain reduction in heat energy losses. A block diagram of the algorithm for calculating the supply of thermal energy from animals has been developed. The obtained analytical dependences of thermal energy losses on the temperature outside and inside the premises, and the developed block diagram of the algorithm for calculating the thermal energy supply from animals can be useful when using computer technologies during an energy audit of the microclimate systems of livestock buildings and effective control of heating devices.

Key words: energy audit, heat balance, livestock building.



УДК 620.9

О. Ю. Юрченко, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-3047-6654

Т. І. Лівенко,

О. М. Матвеев,

Р. Є. Беркут,

В. Г. Бугайов,

Сумський національний аграрний університет

e-mail: aleksyurchenko110917@gmail.com, тел.: 096-610-67-82

ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Ремонт електричного двигуна поділяється на кілька етапів. Кожен з етапів має бути суворо витриманим за процедурою виконання. Порушення будь-яких операцій при ремонті електричного двигуна може призвести до несправності устаткування, неналежного виконання ним його функціональних завдань тощо. Крім того, порушення норм виконання ремонтних робіт можуть нести за собою небезпеку для персоналу та для системи електропостачання окремої структури, де електропостачання пов'язане загальною мережею. В даній роботі представлено технологію ремонту електричних двигунів різного призначення в лабораторних та домашніх умовах. Для прикладу обрано електричний двигун потужністю 0,75 кВт з тривалим режимом роботи, що використовується в насосній станції в порівняно складних умовах – постійному контакті з вологою. Представлена технологія є дієвою для виконання операцій з ремонту електродвигунів без надмірних затрат на виконання кожної окремо узятій операції, наприклад, у різних місцях. Усі операції витримано з точки зору точності, якості та безпеки для персоналу.

Ключові слова: електричний двигун, статор, ротор, обмотка, котушка, мегаомметр, провід, ремонт, мікрометр.

Постановка проблеми. Рівень комфорту для населення сьогодні потребує використання все більш потужного обладнання, що давало б можливість повною мірою задовольнити потреби населення.

З іншого боку, питання повторного використання ресурсів дає можливість значно зменшити невідновні запаси та унеможливити постійне збільшення шкоди навколишньому середовищу.

Ремонт електродвигунів є досить складним процесом. У разі



виходу зі строю обмоток, - є можливість їх заміни. Така операція одразу дає можливість зменшення витрат на покупку нового електродвигуна та максимально зменшить витрати на переробку відпрацьованого обладнання.

Для ремонту електродвигуна в домашніх або лабораторних умовах за умови невеликих масштабів виробництва є можливість використання різного роду обладнання, що значно полегшує виконання ремонтних робіт.

Аналіз останніх досліджень. Одним із основних аспектів збільшення терміну служби і зменшення утворення відходів є ремонтпридатність виробів. Ключовими факторами в оцінці можливості ремонту виробу є легкість розбору та використання індексів ремонтпридатності [1]. Системи об'єднують такі складові, як фінанси, транспорт, енергетика, продовольство та вода, що зводиться до підвищення продуктивності. Проте використання таких технологій часто потребує додаткових матеріальних та інфраструктурних інвестицій. Через їх широке використання важливо, щоб системи були стійкими. Один із підходів до підвищення стійкості полягає у підвищенні їх надійності та ремонтпригодності [2].

У дослідженні [3] представлено методологію, розроблену для вибору із екологічної точки зору найкращого сценарію по закінченню терміну служби електричного і електронного обладнання, що виходить з ладу до закінчення терміну служби. Із цією метою вплив життєвого циклу обладнання на довкілля оцінюється для двох різних сценаріїв закінчення терміну служби: ремонту та повторного використання або заміни обладнання. Результати показали, що для всіх проаналізованих категорій сценарії ремонту та повторного використання в цілому виявляються екологічно безпечнішими, ніж сценарії заміни, як того вимагає Директива 2012/19/ЄС. Тим не менш, для деяких типів відмов, наприклад, пов'язаних з двигунами або друкованими платами, якщо відмова відбувається в кінці терміну служби, заміна є кращим варіантом, ніж ремонт та повторне використання, оскільки вплив ремонтних робіт на навколишнє середовище не знижується, компенсуючи екологічними перевагами продовження терміну корисного використання остаточно терміну служби.

Електродвигуни є широко поширеними компонентами промислових систем, що забезпечують усі виробничі процеси та обладнання для забезпечення безпеки. На них впливає ефект старіння з внеском, що залежить від умов навколишнього середовища, в якому вони працюють. Для розробки ефективних планів технічного обслуговування необхідно прогнозувати поведінку основних компонентів, таких як підшипники та обмотки [4]. Заходи щодо підвищення енергоефективності для електродвигунів майже не



застосовуються, а у попередній літературі значною мірою не зверталася увага на характерні фактори, що відносяться до їх впровадження в промислових операціях [5]. Дослідження [5] після всебічного огляду літератури спрямоване на підтримку досліджень, пропонуючи основу для визначення факторів, що слід оцінювати при розгляді питань про вживання заходів щодо підвищення енергоефективності електродвигунів. Пропоновані фактори згруповані за десятьма категоріями, а саме: контекстуальні фактори, сумісність, економічність, енергозбереження, фактори, пов'язані з виробництвом, фактори, пов'язані з операціями, синергія, складність, персонал та додаткові технічні фактори. Запропонована структура забезпечує додаткову підтримку та додаткову цінність для осіб, що приймають рішення, особливо для неенергоємних фірм, де вплив на неенергетичні виробничі ресурси стає більш важливим, а малі та середні підприємства зазвичай становлять великі труднощі для цілісної оцінки заходів щодо підвищення енергоефективності. Електродвигунами покривається помітна частка промислового споживання енергії. Незважаючи на широкий набір явно рентабельних можливостей підвищення енергоефективності у цій наскрізній технології, часто особи, які приймають рішення, не використовують їх, оскільки деталізація конкретного рішення може бути надто високою, що призводить до досить низького ступеня реалізації. Зокрема, серйозною перешкодою є недостатнє знання особливостей, які слід враховувати під час ухвалення рішення про здійснення дії у цій галузі [6]. Алгоритми машинного навчання можна використовувати завдяки їхнім узагальнюючим можливостям навчання на різних типах та варіантах продуктів. Проте насправді набори даних із різноманітними вибірками, які можна використовувати для навчання моделей, важко отримати у початковий період [7]. Тому, профілактичне обслуговування промислового устаткування стало критичним аспектом у промисловості [8].

Електродвигуни відіграють левову частку промислового енергоспоживання. Можна знайти безліч можливостей для підвищення енергоефективності, більшість з яких, мабуть, економічно вигідні, але часто особи, які приймають рішення, не використовують їх, оскільки деталізація конкретного рішення може бути надто високою [9-10].

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є аналіз ремонту електродвигуна в лабораторних або домашніх умовах, а саме:

- з використанням додаткового устаткування;
- з перевіркою цілісності обмоток;
- з раціональним використанням ресурсів.

Основна частина. Експериментальні дослідження по роботі з електродвигунами різного призначення проведено в лабораторних

умовах.

З метою покращення умов виконання процесу перемотування електричних двигунів використано устаткування, що виготовлено власноруч. За рахунок використання такого обладнання є можливість значно зменшити затрати праці для виконання процесу за покращити якість виконуваних робіт.

Для прикладу, розглянемо ремонт електричного двигуна насосної станції JET 100 A(a)T (рисунок 1) потужністю 750 Вт.



Рисунок 1. Насосна станція JET 100 A(a)T

До вище доданих фото слід указати умови за яких електричний двигун не було можливості використовувати. Насосна станція припинила своє функціонування в певний проміжок часу після 5 років використання. Причиною цьому була відсутність роботи електричного двигуна. З метою подальшого використання двигуна як для насосного агрегату, так і для інших технологічних установок вирішено здійснити його ремонт.

З рисунку 2 видно кількість пар полюсів електричного двигуна та котушок в його обмотках. Після здійснення процесу огляду двигуна перших очевидних несправностей не виявлено. Згодом, після вилучення першої котушки пускової обмотки, електродвигун запускався за допомогою стороннього втручання методом розкручування ротора. Це було ознакою того, що саме та котушка пускової обмотки була причиною відсутності роботи електродвигуна.

На рисунку 3 зображено послідовність виконання ремонтних робіт електродвигуна. Варто враховувати, що операція з визначення діаметру проводу включає і операцію з враховування кількості витків котушок.

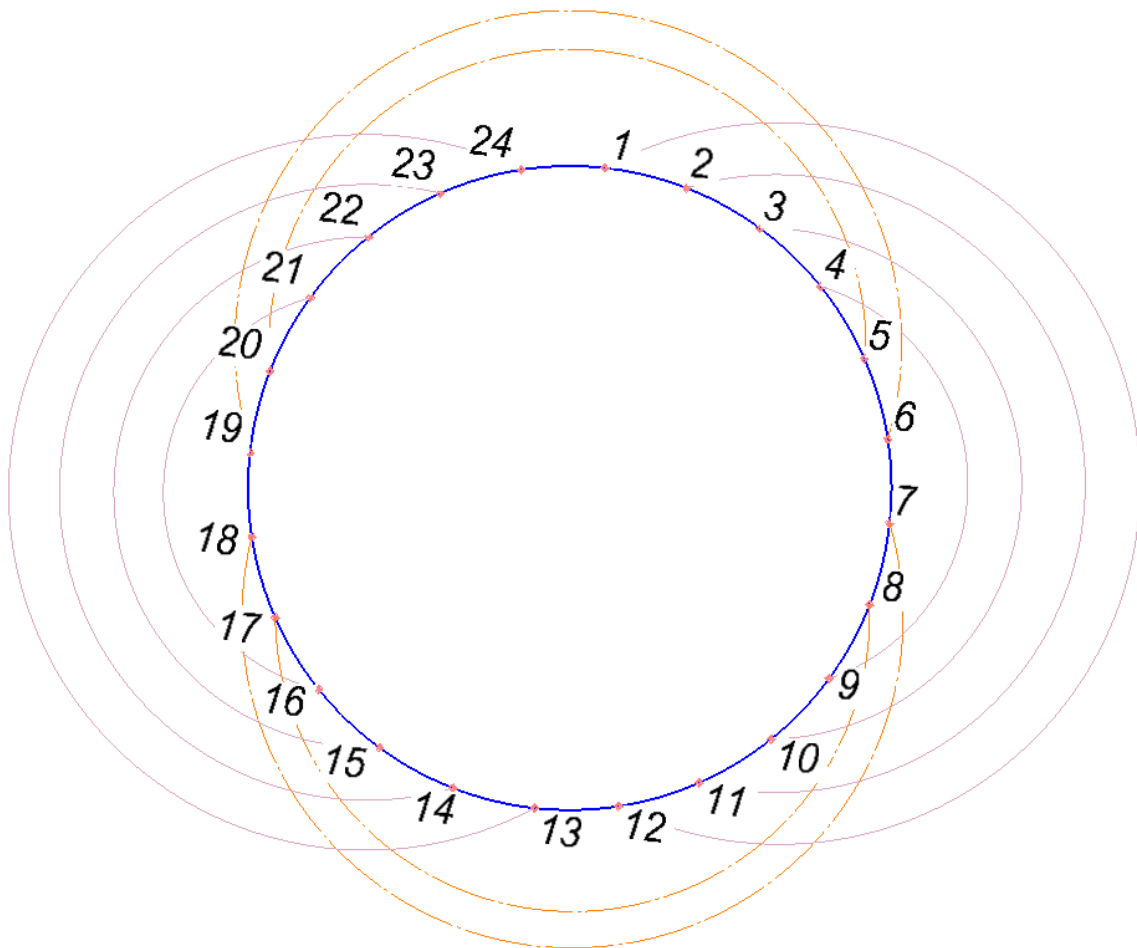


Рисунок 2. Електричний двигун насосної станції JET 100 А(а)Т.
З'єднання обмоток



1 – визначення діаметру проводу; 2 – намотування котушки;
3 – підготовка до встановлення котушки; 4 – установка котушки
Рисунок 3. Ремонт електродвигуна у лабораторних умовах.

Представлений в дослідженні електричний двигун є одним з типових представників електроенергетичного обладнання та має стандартну структуру. Однак, важливість прийнятого рішення щодо його ремонту обґрунтована кількома причинами серед яких – першочергове питання повторного використання того чи іншого ресурсу та, разом із тим, зменшення згубного впливу на навколишнє середовище і різноманіття використання даного двигуна як в побуті, так і в промисловості. Варто відмітити, що виконанням робочих органів насосного агрегату, з якого знято даний двигун не передбачено їх заміну без деформацій. Внаслідок цього, встановлення нового робочого колеса на насосний агрегат, а, разом із тим, і на вал електродвигуна є проблематичними. Однак, його використання є можливим для інших технологічних установок, з метою чого електродвигун і відновлювався.



Рисунок 4. Пристрій намотування обмоток електродвигуна

До вище сказаного переліку слід додати процес перевірки обмоток на цілісність на правильність їх з'єднання. Даний процес здійснено мегаомметром М4100/1 (рисунок 5.2).



Рисунок 5. 1 – укомплектований статор електродвигуна; 2 – перевірка цілісності обмоток та правильності їх підключення мегаомметром

Згодом, після процесу збирання електричного двигуна, випробування, здійснені в лабораторних умовах підтвердили правильність виконаних робіт та роботоздатність електричного двигуна.

Висновки. Представлена в роботі технологія ремонту електродвигунів для лабораторних або домашніх умов за наявності обмеженої кількості обладнання та устаткування підтверджує можливість виконання такого виду роботи. Як висновок, можна вважати, усі операції з точності проведення робіт та їх якість, серед яких правильність виробу проводу, намотування котушок, їх укладка, випробування обмоток, дотримано.

Список використаних джерел

1. Rodríguez N.B., Favi C. Eco-design guidelines takeaways from the analysis of product reparability and ease of disassembly: a case study for electric ovens. *Procedia CIRP*, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.099>



2. Watson B.C., Bras B. Connections Between System of System Sustainability and Resilience in an Electric Motor Manufacturing Supply Chain. *Procedia CIRP*, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.038>
3. Bovea M.D., Ibáñez-Forés V., Perez-Belis V. Repair vs. replacement: Selection of the best end-of-life scenario for small household electric and electronic equipment based on life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 109679, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109679>
4. D'Urso D., Chiacchio F., Borrometi D., Costa A., Compagno L. Dynamic failure rate model of an electric motor comparing the Military Standard and Svenska Kullagerfabriken (SKF) methods. *IEEE International Symposium on Multimedia*, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.262>
5. Accordini D., Cagno E., Trianni A. Identification and characterization of decision-making factors over industrial energy efficiency measures in electric motor systems. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 149, 111354, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111354>
6. Trianni A., Cagno E., Accordini D. Energy efficiency measures in electric motors systems: A novel classification highlighting specific implications in their adoption. *Applied Energy*, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113481>
7. Wu C., Zhou K., Kaiser J., Mitschke N., Klein J.F., Pfrommer J., Beyerer J., Lanza G., Heizmann M., Furmans K. MotorFactory: A Blender Add-on for Large Dataset Generation of Small Electric Motors. *ArXiv, abs/2301.05028*, 2023 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.168>
8. Magadán L., Suárez F. J., Granda J. C., García D. F. Low-cost real-time monitoring of electric motors for the Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 42, 393–398, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.057>
9. Trianni A., Cagno E., Accordini D. A review of Energy Efficiency Measures Within Electric Motors Systems. *Energy Procedia*, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.964>
10. Cagno E., Accordini D., Trianni A. A Framework to Characterize Factors Affecting the Adoption of Energy Efficiency Measures Within Electric Motors Systems. *Energy Procedia*, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.962>

Стаття надійшла до редакції 19.04.2023 р.



O. Yurchenko, T. Livenko, O. Matvieiev, R. Berkut, V. Buhaiov
Sumy National Agrarian University

REPAIR TECHNOLOGY OF ELECTRIC MOTORS FOR DIFFERENT PURPOSES

Summary

Electric motor repair is divided into several stages. Each of the stages must be strictly observed according to the execution procedure. Violation of any operations during the repair of an electric motor can lead to a malfunction of the equipment, improper performance of its functional tasks, etc. In addition, violations of the norms of repair work may entail danger for personnel and for the power supply system of a separate structure, where the power supply is connected to the general network. This work presents the technology of repairing electric motors for various purposes in laboratory and home conditions. As an example, an electric motor with a power of 0.75 kW with a long-term operating mode, used in a pumping station in relatively difficult conditions - constant contact with moisture, was chosen. The presented technology is effective for carrying out operations on the repair of electric motors without excessive costs for carrying out each separate operation, for example, in different places. All operations are maintained in terms of accuracy, quality and safety for personnel. The sequence of stages of the repair of the electric motor in home or laboratory conditions with appropriate photo-fixation of the processes is determined. It is worth noting the relative ease of repairing electrical equipment using this technology. The main stages indicated in the work determine the full cycle of repairing an electric motor from its disassembly to checking the windings for integrity and correct connection, as well as checking the motor's performance in laboratory conditions. Subsequently, the restored electric motor is able to function as before and perform all its direct tasks.

Key words: electric motor, stator, rotor, winding, coil, megohmmeter, wire, repair, micrometer.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-39

УДК 631.561.2

В. В. Сердюк	ORCID: 0000-0002-6257-8997
В. А. Руденко, к.т.н. доц.	ORCID: 0000-0001-7319-2451
О. О. Соларьов, к.т.н. доц.	ORCID: 0000-0002-1485-0685
О. А. Саржанов, к.т.н. доц.	ORCID: 0000-0003-3973-0185
А. В. Саєнко, ст. викл.	ORCID: 0000-0003-1272-5298

Сумський національний аграрний університет
e-mail: 0978545199@ ukr.net тел.: 099-489-20-17

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ЗЕРНА

Анотація. В статті розглядаються та аналізуються результати проведених експериментальних досліджень подрібнення зерна у факультетській лабораторії новітніх технологій у галузі харчових продуктів. Досліди проводилися на ударно-сепараційному подрібнювачі за зміни конструктивних параметрів та режимів його роботи. Після кожного дослідження отримане подрібнене зерно перемішували до однорідної суміші та пересівали на лабораторному класифікаторі через набір сит. Середній модуль помелу визначали знаючи вагу кожної фракції. Енергія, що споживалася електричним двигуном, контролювалася вимірами сили струму і напруги електронними приладами. Перед проведенням подрібнення зерна визначалися параметри роботи подрібнювача на холостому ході. Прийнятими до експериментальних досліджень факторами були кут нахилу відбивних пластин статора, лінійна швидкість ротора (частота обертання), величина подачі зерна, зазор між ротором і статором. На першій стадії дослідів проведено повний факторний експеримент, проте він показав, що вихідні параметри процесу описати лінійною моделлю з необхідною точністю неможливо. План повного факторного експерименту добували до плану другого порядку додаванням до "ядра" певної кількості "зоряних" і "нульових" точок і варіювання факторів в експериментальному дослідженні проводилося на трьох рівнях. Отриманий ротатабельний план з кодованими та іменованими значеннями факторів наведено у статті. Разом з визначенням енергоємності процесу подрібнення зерна, з урахуванням ступеня його подрібнення, розглядалися показники питомої витрати енергії при створенні одиниці нової поверхні вихідного матеріалу після подрібнення. Проведено аналіз впливу прийнятих до експериментальних досліджень факторів на питомі витрати енергії під



час подрібнення зерна. Побудовано графіки впливу окремих факторів на досліджувані параметри.

Ключові слова: витрата енергії, модуль помелу, зерно, подрібнення, планування експерименту, конструктивні параметри.

Постановка проблеми. Подрібнене зерно при згодовуванні його птахам та тваринам, за рахунок покращення процесу травлення і засвоювання поживних речовин, підвищує їх продуктивність на 10 ... 15% [1]. Однак, подрібнення зерна є енергоємною операцією в технології кормоприготування, і на його частку припадає близько 65% загальних витрат енергії. Собівартість готової продукції за енергетичними витратами становить близько до 33% [3], а у світі на подрібнення матеріалів припадає до 5% енергії, що виробляється [2]. Тому, з метою підвищення ефективності роботи ударно-сепараційного подрібнювача і зниження енерговитрат на його роботу, в сумарних витратах на виробництво продукції і проводилось дане дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями зв'язку між витратами енергії та характеристиками подрібнюваного продукту займалися С.В. Мельников, І.І. Ревенко, В.П. Топячев, Г.М. Кукта, та ряд інших вчених. Подрібнення зерна відзначається енергоємністю і в залежності від виду комбікормів і технічного оснащення сільськогосподарського підприємства, витрати електроенергії на подрібнення складають 40 - 70% від загальних витрат на технологічні цілі [2]. У більшості останніх досліджень розглядаються питання енергетичної характеристики процесу дроблення з визначенням величини питомої витрати корисної енергії на одиницю маси зерна, що обробляється. Менше досліджень щодо визначення енергоємності процесу дроблення зерна, питомої витрати енергії на утворення одиниці нової поверхні при подрібненні зерна та впливу конструктивних параметрів подрібнювача й режимів його роботи на економічність процесу і якість дроблення.

Формулювання мети статті. Визначити вплив конструктивних параметрів ударно-сепараційного подрібнювача та режимів його роботи на енергоємність процесу дроблення та питому витрату енергії на утворення одиниці нової поверхні при подрібненні зерна.

Основна частина. Апріорний аналіз проведений по результатах виконаних дослідів роботи ударно-сепараційних подрібнювачів дозволив встановити конструктивні параметри та режими його роботи які значимо впливають на витрати енергії та суттєво відгукуються на ступені подрібнення зерна [1,2,3,4,5]. Такими факторами, як вже було зазначено [6,7,8], виявилися: кут нахилу відбивних пластин статора – X_1 ; лінійна швидкість ротора (частота обертів) – X_2 ; величина подачі зерна у подрібнювач – X_3 ; величина зазору між ротором та статором – X_4 .



Фактори, які приймають участь в експерименті, повинні відповідати певним вимогам, а саме: вони можуть змінюватися незалежно один від одного та визначатися і вимірюватися наявними засобами з необхідною точністю; мати сумісність один з одним; бути однозначними і керованими; не пов'язані між собою прямими кореляційними зв'язками та оцінюватися кількісно. Прийняті нами до експериментальних досліджень фактори відповідають вище наведеним вимогам. При виборі області досліджень особливу увагу звертали на визначенні основного рівня факторів (нульових точок). Також, на основі апріорної інформації вибиралися інтервали варіювання факторів в області експерименту, враховуючи те, що інтервали варіювання знаходяться в області симетричної щодо нульової точки та їх значення повинні бути достатньо віддалені від значення нульового рівня. Виходячи з цих вимог було визначено координати нульових точок та інтервали їх варіювання. В експериментальних дослідженнях вони склали: кут нахилу відбивних пластин статора $X_1 - 135 \pm 15^\circ$; лінійна швидкість ротора (частота обертів) $X_2 - 50 \pm 15 \text{ м/с}$; величина подачі зерна у подрібнювач $X_3 - 80 \pm 20 \text{ кг/год}$; величина зазору між ротором та статором $X_4 - 6 \pm 3 \text{ мм}$.

Для проведення дослідження у між факультетській лабораторії новітніх технологій в галузі харчових продуктів СНАУ було розроблено і створено експериментальну установку. Необхідні в дослідах кути нахилу відбивних пластин і зазори між статором та ротором утримувалися заміною статора виготовленого із заданими параметрами, щоб забезпечити встановлені матрицею планування експерименту умови. Лінійна швидкість ротора встановлювалася і контролювалася в дослідах за допомогою електронного частотоміра. В одному досліді подрібнювалося зерно в кількості 500 грамів, що перевірялося контрольним зважуванням, яке проходило попередньо. Споживана електричним двигуном енергія контролювалася вимірами сили струму та напруги електронними приладами. Перед проведенням подрібнення зерна визначалися параметри роботи подрібнювача на холостому ході. Після кожного досліду отримане подрібнене зерно перемішували до однорідної суміші та пересівали на лабораторному класифікаторі через набір сит. Середній модуль помелу визначали знаючи вагу кожної фракції.

На першому етапі дослідження висувалася гіпотеза, що невідомі нам функції відгуку описувалися лінійною моделлю. Знання моделі дозволяє передбачати значення функцій відгуку у різних точках досліджуваного факторного простору. Щоб отримати лінійну модель, необхідно провести повний факторний експеримент або його дробову частину. Аналіз результатів проведеного повного факторного



експерименту показав [6,7,8], що обрані нами фактори впливають на параметри відгуку, витрати енергії та ступінь подрібнення зерна. Але отримана лінійна математична модель недостатньо точно описує параметри відгуку, так як коефіцієнти регресії які характеризують ефекти парної і потрійної взаємодії виявилися значущими.

При ротатабельному плануванні другого порядку добудовуємо план повного факторного експерименту, який є “ядром плану”, певної кількості “зіркових” та “нульових” точок (табл. 1).

Таблиця 1

Кодовані та іменовані значення факторів матриці планування експерименту.

№ п/п	Матриця планування				Робоча матриця				Складові ротатабельного плану
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ – кут нахилу пластин статора, град	X ₂ – лінійна швидкість ротора, м/с	X ₃ – подача зерна, кг/с · 10 ⁻³	X ₄ – зазор між ротором та статором, мм	
2	+	-	-	-	150	35	60	3	Ядро плану
3	-	+	-	-	120	65	60	3	
4	+	+	-	-	150	65	60	3	
5	-	-	+	-	120	35	100	3	
6	+	-	+	-	150	35	100	3	
7	-	+	+	-	120	65	100	3	
8	+	+	+	-	150	65	100	3	
9	-	-	-	+	120	35	60	9	
10	+	-	-	+	150	35	60	9	
11	-	+	-	+	120	65	60	9	
12	+	+	-	+	150	65	60	9	
13	-	-	+	+	120	35	100	9	
14	+	-	+	+	150	35	100	9	
15	-	+	+	+	120	65	100	9	



Продовження таблиці 1

16	+	+	+	+	150	65	100	9	Ядро плану
17	-2	0	0	0	105	50	80	6	Зіркові точки
18	+2	0	0	0	165	50	80	6	
19	0	-2	0	0	135	20	80	6	
20	0	+2	0	0	135	80	80	6	
21	0	0	-2	0	135	50	40	6	
22	0	0	+2	0	135	50	120	6	
23	0	0	0	-2	135	50	80	1	
24	0	0	0	+2	135	50	80	12	Нульові точки
25	0	0	0	0	135	50	80	6	
26	0	0	0	0	135	50	80	6	
27	0	0	0	0	135	50	80	6	
28	0	0	0	0	135	50	80	6	
29	0	0	0	0	135	50	80	6	
30	0	0	0	0	135	50	80	6	
31	0	0	0	0	135	50	80	6	

Проте значущість коефіцієнтів регресії, які характеризують ефекти парної і потрійної взаємодії показують, що лінійна модель недостатня для математичного опису дослідження з необхідною точністю, а тому виникла необхідність в побудові моделі у вигляді поліномів другого ступеня. А це вимагає переходу до планування, яке пов'язане із варіюванням факторів на трьох рівнях. Для продовження дослідження було обрано ротатабельний план, оскільки це сприяє тому, що рух від центру експерименту у всіх напрямках є рівнозначним. Ці плани ефективні під час вирішення завдань, що пов'язані з пошуком оптимуму.

Обробка результатів експериментальних досліджень проводилася за методами математичної статистики [9,10,11] і проводилася в наступній послідовності. Середнє арифметичне значення результатів дослідів визначалось за результатами паралельних спостережень. Для визначення помилкових дослідів розраховувалася дисперсія вимірів та використовувався критерій Стьюдента і якщо по модулю експериментальне значення цього критерію було більше табличного, то спостереження вважалось не дійсним.

Перехід від помилок окремих дослідів до помилки всього експерименту можливий з усередненням дисперсії помилок, а це дозволено тільки у випадку однорідності всіх дисперсій. В цьому випадку, серед усіх розглянутих дисперсій відсутні такі, які набагато перевищували усі останні. Перевірка здійснювалася за допомогою



критерію Кохрена.

Для наочності будемо умовно одномірні залежності енергоємності процесу подрібнення зерна з урахуванням ступеня подрібнення від досліджуваних факторів (рис.1,2,3,4).

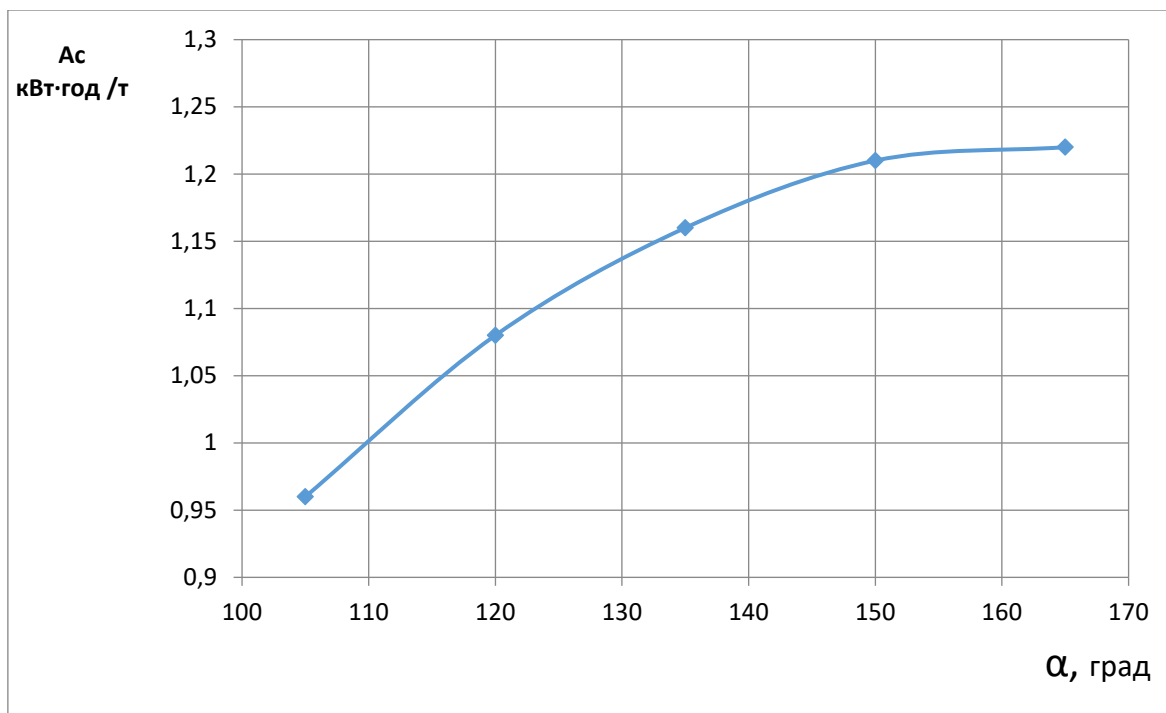


Рисунок 1. Залежність енергоємності процесу подрібнення зерна від кута нахилу відбивних пластин статора.

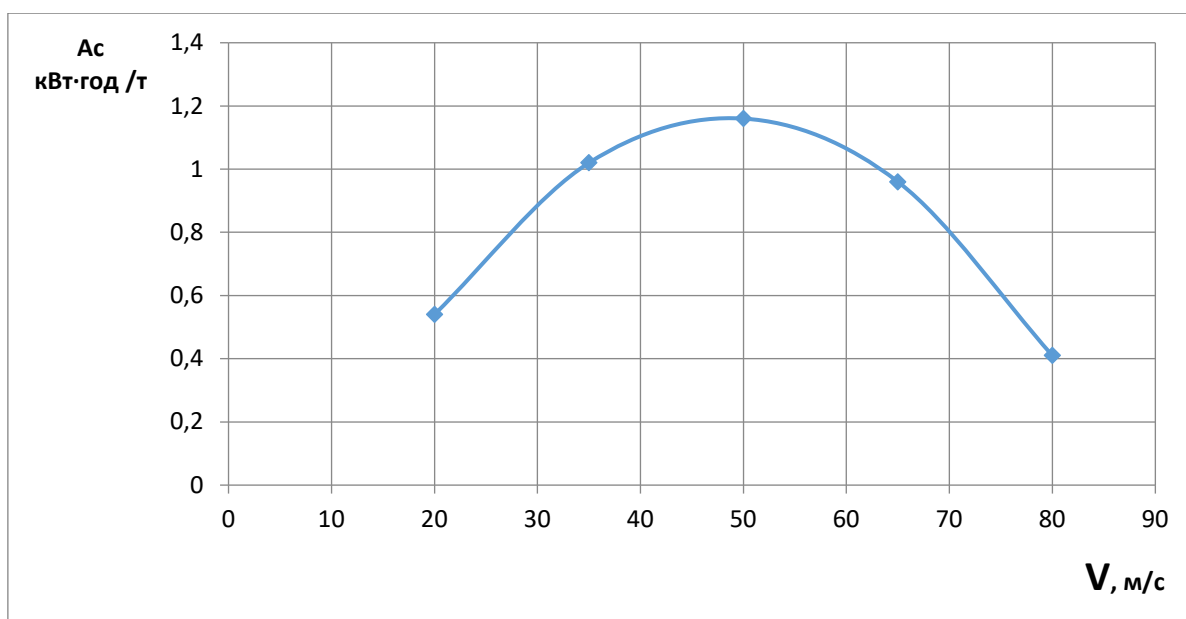


Рисунок 2. Залежність енергоємності процесу подрібнення зерна від лінійної швидкості ротора (частоти обертів).

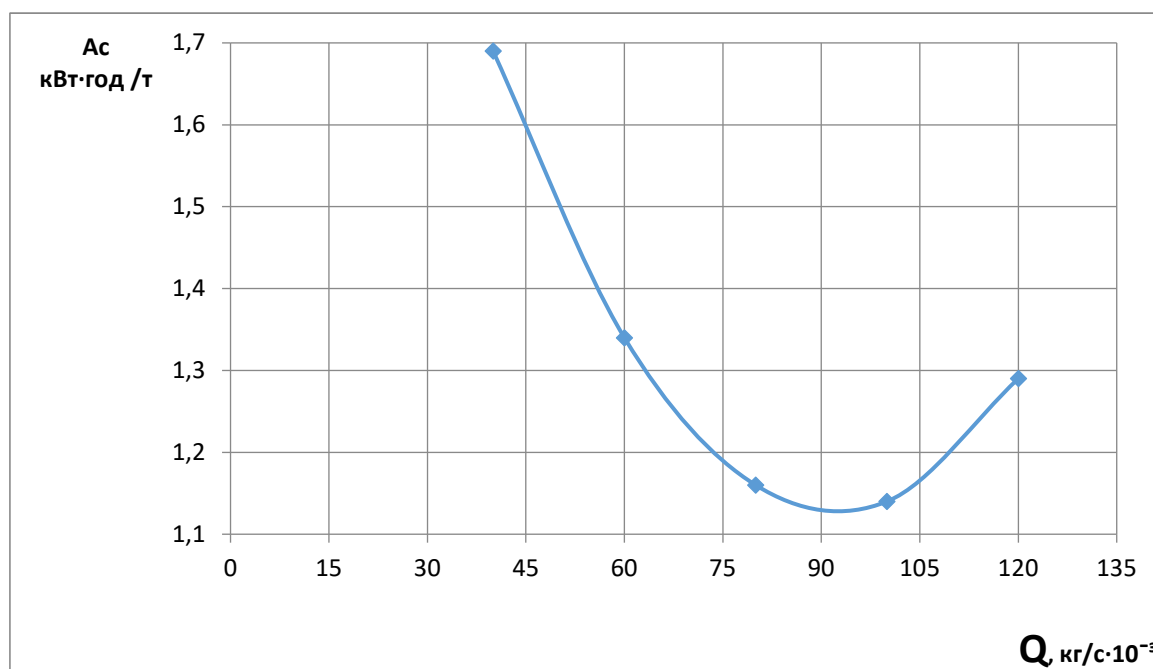


Рисунок 3. Залежність енергоємності процесу подрібнення зерна від подачі зерна.

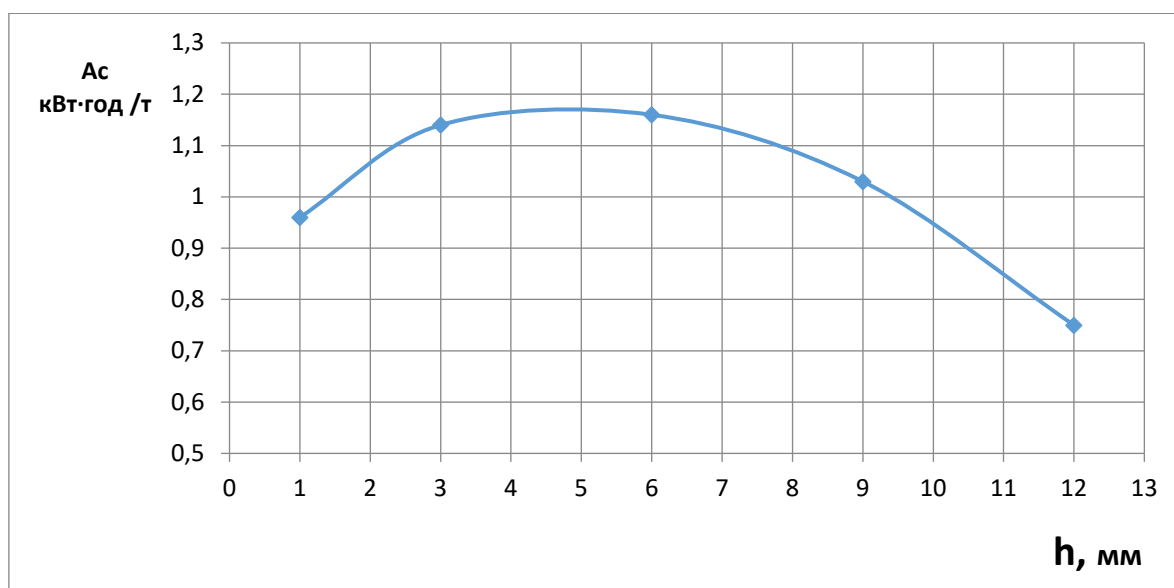


Рисунок 4. Залежність енергоємності процесу подрібнення зерна від зазору між ротором та статором.

Однорідність дисперсії проведеного дослідження дає можливість визначення величини дисперсії експерименту, тобто дисперсії відтворюваності, яка характеризує помилку експерименту. Знаючи її можна проводити регресійний аналіз.

Енергоємність процесу подрібнення зерна з урахуванням ступеня подрібнення визначалася за формулою:



$$A_c = \frac{W_p - W_x}{Q \cdot I},$$

де A_c - енергоємність процесу подрібнення зерна з урахуванням ступеня подрібнення, кВт-год / т

W_p - використана потужність при подрібненні зерна (робочий хід), кВт;

W_x - використана потужність при холостому ході, кВт;

Q - подача зерна на подрібнення, кг/год;

I - ступінь подрібнення зерна.

Отримані результати експериментальних досліджень оброблялися методами математичної статистики [8,9,10], знайдено значення коефіцієнтів рівняння регресії та отримано модель яка описує енергоємність процесу подрібнення зерна з урахуванням ступеня подрібнення.

$$A_c = 1,161 + 0,0643X_1 - 0,0314X_2 - 0,1003X_3 - 0,0533X_4 - 0,0678X_1X_2 - 0,0683X_1X_3 + 0,0182X_1X_4 - 0,017X_1^2 - 0,171X_2^2 + 0,083X_3^2 - 0,077X_4^2.$$

Разом з визначенням енергоємності процесу подрібнення зерна, з урахуванням ступеня подрібнення, розглядалися і показники питомої витрати енергії на створення одиниці нової поверхні від вихідного зерна під час подрібнення. Питомої витрати енергії на створення одиниці нової поверхні визначалися наступною залежністю:

$$A = \frac{W_p - W_x}{Q \cdot \Delta S},$$

де A - питомої витрати енергії на створення одиниці нової поверхні, Дж/м²;

ΔS - збільшення питомої площі поверхні, м²/кг.

Питомої витрати енергії на створення одиниці нової поверхні виражені наступним рівнянням регресії:

$$A = 4,413 - 0,593X_2 - 0,326X_3 - 0,137X_4 - 0,248X_1X_2 - 0,256X_1X_3 + 0,086X_1X_4 - 0,454X_2^2 + 0,317X_3^2 - 0,338X_4^2.$$

Висновки. Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що конструктивні параметри ударно-сепараційного подрібнювача зерна та режими його роботи суттєво впливають на енергоємність процесу руйнування зерна та значення питомої витрати енергії на утворення одиниці нової поверхні. На основі дослідження одержаних математичних моделей встановлено вплив зміни досліджуваних параметрів на енергетичні показники, що дозволить вибирати найбільш оптимальні конструктивні параметри



подрібнювача та економні режими його роботи. Проведені дослідження на ударному подрібнювачі показали, що досягти заданої якості дроблення зерна можна варіюючи як конструктивні, так і технологічні фактори. При цьому, змінюючи рівні факторів, можна визначити і отримати бажаний результат з мінімальними витратами енергії.

Список використаних джерел

1. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: науковий посібник. Вінниця: Нова книга. 2009. С. 488.
2. Ревенко І. І. Машини та обладнання для тваринництва: посібник практикум. Київ. Кондар. 2011. С. 396.
3. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів. Одеса: Друкарський дім. 2011. С. 448.
4. Гвоздєв О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. *Збірник наукових праць. Серія «Технологічні науки»*. Вип. 9. Вінниця. 2011. С. 143–150.
5. Сердюк В. В. Руденко В. А. Дослідження процесу дроблення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем. *Вісник СНАУ. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. Вип. 10(25). Суми. 2013. С. 117–121.
6. Сердюк В. В. Руденко В. А. Зубко В. М. Витрати енергії при роботі ударно-сепараційного подрібнювача. *Вісник СНАУ. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. Вип. 2(36). Суми. 2019. С. 28–32.
7. Ahmed Zeyad, Nadulski Rafał, Panasiewicz Marian. The influence of wheat hardness on energy consumption during the wheat milling. 2017. Pp. 17–20. 10.24326/fmpmsa.2017.3.
8. Dariusz Dziki, The crushing of wheat kernels and its consequence on the grinding process, *Powder Technology*, Volume 185, Issue 2, 2008, Pp. 181–186, ISSN 0032-5910, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2007.10.012>.
9. Hourston J. E., Ignatz M., Reith M., Leubner-Metzger G., Steinbrecher T. Biomechanical properties of wheat grains: the implications on milling. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(126), 2017. Pp. 1–12. doi:10.1098/rsif.2016.0828
10. Warechowska Małgorzata Some physical properties of cereal grain and energy consumption of grinding. *Agricultural Engineering* ISSN 1429-7264. 18 No.1(149). 2014. Pp. 239–249. 10.14654/ir.2014.149.025.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.



V.V. Serdyuk, V. A. Rudenko, O. O. Solarev, O. A. Sarzhanov
Sumy National Agrarian University

ENERGY SAVING DURING GRAIN MILLING

Summary

The article examines and analyzes the results of experimental studies of grain refinement at the faculty laboratory of new technologies in the kitchen of grub products. The studies were carried out on shock-separation detailing for changing the design parameters and modes of yoga work. After the skin analysis was finished, the grain was mixed to a uniform sum and transferred to a laboratory classifier through a set of sieves. The middle module of the pomelo was determined knowingly the value of the skin fraction. The energy, which was supplied by the electric motor, was controlled by measurements of current and voltage by electronic devices. Before carrying out the trimming of the grain, the parameters of the robotic trimming at idle were set. The factors taken up to the experimental results are the fracturing of the stator plates, the linear speed of the rotor (wrapping frequency), the amount of grain supply, the gap between the rotor and the stator. At the first stage, the final factorial experiment was carried out, showing that it is impossible to describe the final parameters of the process to describe the linear model with the necessary accuracy. The plan of the new factorial experiment was brought to the plan of a different order, adding to the "core" the number of "dawn" and "zero" points and the variation of factors in the experimental experiment was carried out on three levels. Removing the rotatable plan with coding and naming the values of the factors is indicated in the article. At the same time, with the importance of energy to the process of grain refinement, with the improvement of the step of its refinement, signs of the consumption of energy were seen when a single new surface of the outer material was created after the refinement. An analysis was carried out of the injection of factors taken up to the experimental results on the consumption of energy and grain refinement. The graphs were prompted to fill in the number of factors on the last parameters.

Key words: energy consumption, grinding module, grain, milling, experiment planning, design parameters.



УДК 621.3-1/8:617.58-77

О. Ю. Азархов, д.м.н.

ORCID: 0000-0003-2085-4786

І. І. Сілі, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-6603-2174

Б. В. Єфременко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-0438-6433

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

e-mail: sili_i_i@pstu.edu, efremenko_b_v@pstu.edu,

azarhov_a_y@pstu.edu. тел.: 096-150-00-78

ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМИ ВИМІРУ ДЕФОРМАЦІЙ ПІЛОНУ ПРОТЕЗНИХ СИСТЕМ

Анотація. У цьому дослідженні представлена методика вимірювання деформації в пілонній частині протеза за допомогою комп'ютеризованих тензодатчиків. Збір даних здійснюється шляхом використання плати мікроконтролера Arduino Uno. Це дослідження зосереджене на розробці простих методологій деформаційних систем для швидкого вимірювання деформації поверхні протезних деталей. Пластиковий протезний пілон був побудований на основі адитивного виробництва з використанням 3Д друку для експериментальних випробувань та моделювання. Тензометричний датчик об'єднаний з мікроконтролерною системою для реєстрації значення деформації протезного пілона. Тестовий експеримент реалізовувався під навантаженням ваги пацієнта під час ходьби або іншого руху. Похибка вимірювання склала 3%.

Ключові слова: деформація, протезний пілон, Arduino, 3D-принтер, тензодатчик.

Аналіз останніх досліджень. Ампутації кінцівок стають все більш поширеними проблемами в усьому світі в результаті зростання кількості дорожньо-транспортних пригод захворювань, пов'язаних з судинами [1]. Агресія російської федерації проти України та воєнні дії суттєво збільшили кількість пацієнтів з важкими осколковими пораненнями та ампутаціями кінцівок [2]. На верхні і нижні ампутовані кінцівки часто накладають протез (штучний лімб), як реабілітаційний засіб для відновлення зовнішнього вигляду і повсякденної діяльності [3]. Як показано на рисунку 1, протез складається з декількох обов'язкових компонентів: пазу, пілона та стопи. Багато досліджень стосуються вимірювання та розрахунку деформації в протезних частинах, саме через її важливість у визначенні механічної та

біомеханічної поведінки частин протеза, особливо в дослідницькій галузі. Проведені дослідження в [4], щодо розробки та перевірки датчика для вимірювання міжфазних зсувних сил на залишковій кінцівці в пазу з ампутованими кінцівками. З попереднього аналізу літератури відзначимо, що деформаційні системи мають істотне значення для оцінки значення деформації в частинах протезів; з цієї причини дане дослідження зосереджено на розробці методологій простих деформаційних систем для вимірювання деформації поверхні протезних деталей без необхідності лабораторних досліджень, а також забезпечення системи при низькій собівартості, щоб вона могла використовуватися дослідниками і в експериментальних умовах під час виготовлення протезів та ортезів [5-9].



Рисунок 1. Основні компоненти протеза

Науковцями кафедри «Біомедична інженерія» ПДТУ вже представлено ряд розробок та публікацій присвячених проблемі сучасного протезування [10,11,12], а дане дослідження є продовженням даної роботи.

Формулювання мети статті. Розробити недорогу, просту, швидко та ефективну електронну систему виміру деформації пілону протеза, для покращення методики вибору протезної системи пацієнту.

Основна частина. Тензометрична система складається з тензодатчика, мікроконтролеру типу Arduino Uno, завдяки своїй дешевизні і простим програмуванням, павербанку для живлення системи, LCD дисплею. Тензометричний датчик - це прилад, який використовується для вимірювання деформацій об'єкта. Принцип роботи тензодатчика опору заснований на деформаційному ефекті, що

утворюється у резистивному матеріалі при механічній деформації під дією зовнішніх сил. Коли сила прикладається до тензодатчика, його опір змінюється, в результаті чого змінюється електричні параметри такі як електричний опір. Тензодатчики використовують цей підхід для кількісної оцінки сили, зважування, деформації та напруги. При правильному підключенні до об'єкта або пристрою тензодатчики можуть вимірювати скорочення або розширення об'єкта, навіть якщо ця величина є досить невеликою, оскільки дані сенсори невеликі і високочутливі [13]. Тензодатчик, який використовується в представленій деформаційній системі, представлений на рисунку 2.

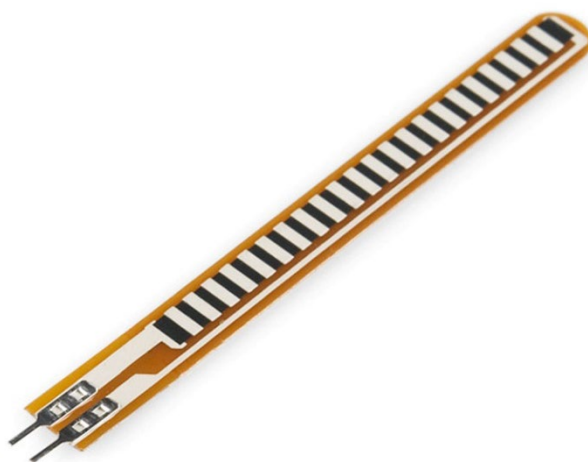


Рисунок 2. Тензометричний датчик

Arduino підключений до тензодатчика в системі вимірювання деформацій. Vcc порт з'єднаний з одним із виходів тензодатчика, а GND через резистор з опором у 80 кОм - з іншим як проілюстровано на рисунку 3.

Аналогова вихідна напруга датчика буде надходити на аналоговий порт Arduino A0. LCD-дисплей з I2C має чотири контакти: SDA, SCL, GND і 5 Вольт (VCC). Всі контакти підключені до Arduino одночасно. Функція «`lcd.setCursor(0,0)`» вибирає положення даних на LCD-дисплеї. Дані будуть відображатися на LCD-дисплеї згідно з «`lcd.print(data)`».

У цьому дослідженні пілон для використання протезів нижніх кінцівок виготовляється з ниток пластикового волокна за допомогою 3D-принтера. Розмір пілона становить 30 мм зовнішнього діаметру при довжині, що дорівнює 250 мм. Пілон - одна з важливих складових протеза. Коли пацієнт використовує протез низького рівня, пілон буде піддаватися навантаженню і напрузі через вагу пацієнта. Тому необхідно виміряти значення деформації, щоб знати механічну поведінку протезної частини. Як правило, в області протезування,

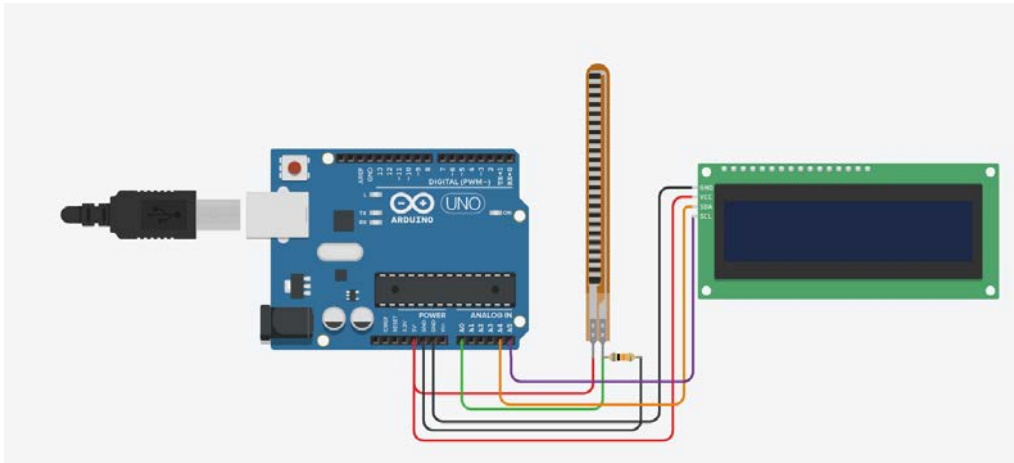


Рисунок 3. Підключення компонентів тензометричної системи

розрахунок значення деформації роблять теоретично, за допомогою чисельного аналізу і проведені механічних випробувань для визначення механічних властивостей матеріалів, які використовуються при виготовленні протезної деталі, крім креслення інженерної моделі деталі, ці вищезгадані способи вимагають часу для оцінки значення деформації чисельно. Вимірювання деформаційного значення включає в себе з'єднання тензодатчика, який вимірює механічну деформацію під дією зовнішніх сил, з Arduino. Зібрані дані зберігається не тільки на ПК, але й відображаються на LCD екрані, як показано на рисунку 4, 5.

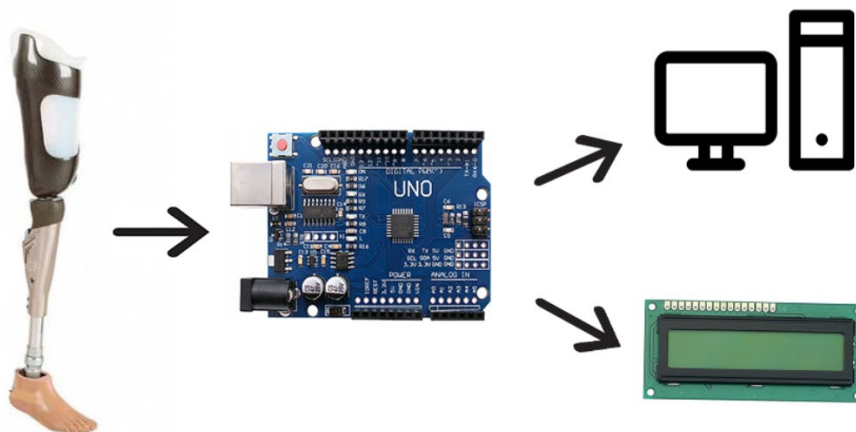


Рисунок 4. Ланцюжок передачі даних деформаційної системи

Деформація 3D-друкованого пілона з пластикового волокна вимірювалася, коли пілон був зібраний до протеза нижньої кінцівки. Для отриманих точних практичних даних, тензодатчик наклеювався на різних ділянках поверхні пілона. Приклад коду для отримання даних з датчика приведений нижче.

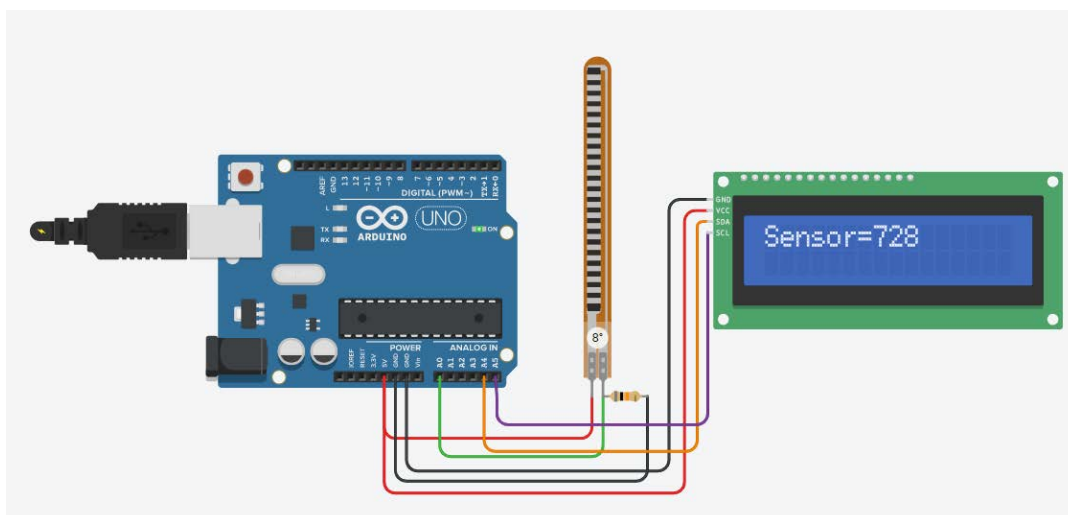


Рисунок 5. Отримання даних з датчика на LCD дисплеї

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // підключення бібліотеки LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
int flex; // зміна для збереження даних з датчику
```

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // запуск монітора порта для надсилання даних
на ПК
```

```
  lcd.backlight();
  lcd.init(); // запуск LCD
}
```

```
void loop()
{
  flex=analogRead(0); // зчитуємо дані з датчика
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Sensor=");
  lcd.print(flex); // виводимо дані з датчика на LCD екран
  Serial.println(flex); // виводимо дані з датчика на ПК
  delay(100); // робимо запит на отримання даних кожні 100 мсек
}
```

Результат випробування на розтягнення пілону показав, що відхилення датчику у 4 градуси пропорційно значенням аналогового сигналу системи на рівні 736 у.од., 8 градусів - 728 у.од, 12 градусів - 721 у.од. Результат експериментальних досліджень приведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Отриманні експериментальні дані

Прикладена вага, кг	Напруження пілону, МПа	Напруга, В	Умовні одиниці аналогового сигналу, у.од.
60	41	3,59	737
82	52	3,55	728
90	56	3,54	725
95	59	3,52	722

Ці значення будуть використовуватися, як вхідні дані для граничних умов для теоретичного обчислення деформації за допомогою аналізу скінченних елементів. Для отримання достовірних значень деформації було проведено калібрування тензодатчика. Датчики фіксувалися на поверхні пілона за допомогою клейкої речовини. Після того, як датчик був встановлений, показання напруги, прочитані на LCD екрані, потім до пілону було застосовано вагу, і показання напруги, отримані в результаті застосування кожної ваги. Проводиться зв'язок між прикладеною вагою і значенням напруги для представлення калібрувальної схеми датчика. Для перетворення графіка калібрування з співвідношення ваги і напруги в відношення між силою і напругою, значення прикладених ваг множиться на силу тяжіння землі, як показано на рисунку 5.

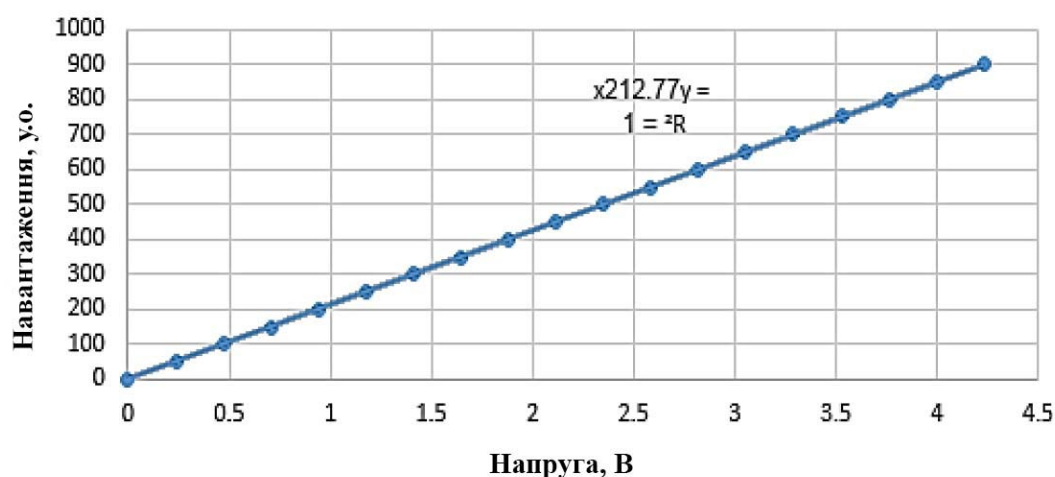


Рисунок 5. Калібрувальна діаграма, яка показує зв'язок між прикладеним навантаженням в у.о. та напругою в Вольтах

Співвідношення між деформацією пілона та навантаженням прикладеним до нього можна визначити наступним чином [14].

$$\sigma = \frac{P}{A}; \quad (1)$$



де P - дорівнює прикладеному навантаженню на пілон, МПа;

A - площа поперечного перерізу пілона, яка дорівнює $0,0025 \text{ м}^2$.

Деформаційна система фіксує показання значення деформації, що виникла в пілоні, коли вага пацієнта застосовувався під час його руху і ходьби. Після практичної реєстрації значень деформації ці значення порівнюються зі значеннями деформації, отриманими в результаті чисельного аналізу для оцінки та перевірки отриманих показань.

Порівняння розрахункових даних та експериментальних приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння розрахункових та експериментальних даних

Прикладе на вага, кг	Напруження пілону, МПа	Розрахунок значення деформації пілону, $\sigma_{розр}$	Експериментальне значення деформації пілону, $\sigma_{експ}$	Похибка вимірювання, %
60	41	0,0164	0,0167	1,8
82	52	0,0208	0,0212	1,9
90	56	0,0224	0,0231	3,0
95	59	0,0236	0,0241	2,1

Приведені дані свідчать про невелику розбіжність між розрахунковими та експериментальними даними - порядку 3%. В результаті можна стверджувати, що розроблена електронна система виміру деформацій пілону протезних систем є достатньо точною і може бути використана на заміну аналітичному розрахунку при виборі протезів для пацієнтів.

Висновок. В даному дослідженні представлено розробку недорогої, зручної для користування споживачеві та легкої в програмуванні системи виміру деформації протеза за допомогою тензOMETричного датчика, плати Arduino Uno та LCD дисплею. Проведені попередні експериментальні дослідження на надрукованих на 3D принтерах макетів пілонів протезу, дозволили встановити залежність отриманих механічних даних від навантаження на пілон протезу, а система показала досить велику точність в порівнянні з математичними розрахунками, похибка вимірювання склала 3%.

Список використаних джерел

1. Laszczak P., Jiang L., Bader D. L., Moser D., Zahedi S. Development and validation of a 3D-printed interfacial stress sensor for prosthetic applications. *Med. Eng. Phys.* 2015, 37, Pp. 132–137.



2. Сталеві кінцівки: як військовим повертають ноги і руки, втрачені на війні з Росією. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-63004666>. (дата звернення: 25.01.2023).

3. Pirouzi G., Abu Osman N., Eshraghi A., Ali S., Gholizadeh H., Wan Abas W. Review of the socket design and interface pressure measurement for transtibial prosthesis. *Sci. World J.* 2014, 849073.

4. Chang-Yong Ko¹, SeongGuk Kim², Young Kuen Cho, Daewon Lee, Dong Hyun Kim, JeicheongRyu, Dohyung Lim³, and Han Sung Kim². Development of a Sensor to Measure Stump/Socket Interfacial Shear Stresses in a Lower-Extremity Amputee. *International Journal of Precision Engineering And Manufacturing*, Vol. 19, No. 6, 2018. Pp. 899–905

5. Yanggang Feng. Adjusting Ankle Angle Measurement Based on A Strain Gauge Bridge for Powered Transtibial Prosthesis. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Volume 142, Issue 7, 2020.

6. Carlos Eduardo Datte, ViniciusAnéas Rodrigues, FabianaBarbiDatte, Guilherme da Rocha Scalzer Lopes, Alexandre Luiz Souto Borges, and Renato Sussumu Nishioka. The effect of different bone level and prosthetic connection on the biomechanical response of unitary implants: Strain gauge and finite element analyses. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, Vol-8, Issue-2, 2021.

7. Carrara C., Caravaggi P., Belvedere C., Leardini A. Radiographic angular measurements of the foot and ankle in weight-bearing: a literature review. *Foot and Ankle Surgery*, 26(5), (2020). Pp. 509–517.

8. Lau B. C. et al. Understanding radiographic measurements used in foot and ankle surgery. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2022. Т. 30. №. 2. С. e139-e154.

9. Kim B. H. et al. Measurement of ankle joint movements using IMUs during running. *Sensors*. 2021. Т. 21. №. 12. С. 4240.

10. Сілі І. І., Азархов О. Ю. Розробка моделі цифрового фетального пульсометру. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2021-vypusk-11-tom-1.pdf>. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-35

11. Сілі І. І., Азархов О. Ю. Модель безструмового апарату підігрівання імплантів. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-24 квітня 2020 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 417–419.

12. Азархов О. Ю., Сілі І. І. Дезінфікуючий UV-C мобільний робот. *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 3,



с. 304 - 311. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-29.

13. Ma Y. et al. Flexible all-textile dual tactile-tension sensors for monitoring athletic motion during taekwondo. *Nano Energy*. 2021. Т. 85. С. 105941.

14. Senanayake D., Halgamuge S., Ackland D. C. Real-time conversion of inertial measurement unit data to ankle joint angles using deep neural networks. *Journal of Biomechanics*. 2021. Т. 125. С. 110552.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2023 р.

O. Yu. Azarkhov, I. I. Sili, B. V. Yefremenko
Pryazovskyi State Technical University

ELECTRONIC SYSTEM FOR MEASURING DEFORMATIONS OF THE PYLON OF PROSTHETIC SYSTEMS

Summary

This study presents the method of measuring deformation in the pylon part of the prosthesis using computerized strain gauges. Limb amputations are becoming an increasingly common problem worldwide as a result of the increase in traffic accidents and vascular-related diseases. The aggression of the Russian Federation against Ukraine and military operations significantly increased the number of patients with severe shrapnel injuries and limb amputations. Scientists of the "Biomedical Engineering" department of PSTU have already presented a number of developments and publications dedicated to the problem of modern prosthetics and this study is a continuation of this work. The strain gauge system consists of a strain gauge, an Arduino Uno type microcontroller, due to its cheapness and simple programming, a power bank for powering the system, and an LCD display. Data collection is carried out using an Arduino Uno microcontroller board. This research focuses on the development of simple deformation system methodologies for the rapid measurement of surface deformation of prosthetic parts. In this study, a pylon for the use of lower extremity prostheses is fabricated from strands of plastic fiber using a 3D printer. The size of the pylon is 30 mm in outer diameter with a length equal to 250 mm. The pylon is one of the important components of the prosthesis. When the patient uses a low-level prosthesis, the pylon will be subjected to load and stress due to the patient's weight. Therefore, it is necessary to measure the deformation value in order to know the mechanical behavior of the prosthetic part. The strain gauge is combined with a microcontroller system to register the value of the deformation of the prosthetic pylon. The test experiment was carried out under the load of the patient's weight while walking or moving. The given data indicate a small discrepancy between calculated and experimental data - about 3%. As a result, it can be stated that the developed electronic system for measuring the deformations of the pylon of prosthetic systems is accurate and can be used to replace the analytical calculation when choosing prostheses for patients.

Key words: deformation, prosthetic pylon, Arduino, 3D printer, strain gauge.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-41

УДК 004.4'2

Д. В. Лубко, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2506-4145

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені**Дмитра Моторного*

e-mail: dmytro.lubko@tsatu.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА SAP ERP ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНИХ ЦЕХІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Анотація. Робота присвячена створенню моделі управління роботою ремонтно-механічних цехів на підприємствах (металургійного типу) за допомогою використання програмного середовища SAP ERP. Досліджено існуючі засоби моделювання бізнес-процесів. У системі SAP ERP з використанням інструментів SAP Business Workflow, розроблене програмне забезпечення для відстеження послідовності узгодження заказу та розробки технології виготовлення заказу ремонтно-механічним управлінням. Дане програмне забезпечення дозволяє керівникам відділів по ремонтах планувати завантаження виробничих потужностей цехів-виробників та закупівлю витратних матеріалів. А це в свою чергу, надає можливість цехам-замовникам планувати проведення заходів технічного обслуговування та ремонту обладнання на підприємстві.

Ключові слова: бізнес-процес підприємства, SAP ERP, модель управління, ремонтно-механічних цех, потік узгодження заказів.

Постановка проблеми. Необхідними умовами нормального виробничого процесу на підприємстві є: підтримання у робочому стані машин та устаткування; своєчасне забезпечення робочих місць сировиною, матеріалами, інструментами; забезпечення агрегатів енергією; виконання транспортних операцій; створення виробничих зон. Для позначення всіх цих процесів у сукупності використовується поняття – система технічного обслуговування виробництва (ТОВ).

В рамках системи ТОВ виконуються такі функції:

1) забезпечення підрозділів підприємства електричною і тепловою енергією, паром, газом, стиснутим повітрям тощо;

2) забезпечення цехів сировиною, основними та допоміжними матеріалами, паливом, зберігання напівфабрикатів власного виготовлення та готової продукції.



3) ремонт технологічного, енергетичного, транспортного та іншого устаткування, догляд за ним та налагоджування;

4) забезпечення робочих місць інструментом та пристосуванням як власного виробництва, так і придбання на стороні;

5) переміщення вантажів та виконання вантажно-розвантажувальних робіт;

А безпосередньо до системи ТОВ входять всі ці підрозділи, що здійснюють названі функції.

Управління ремонтами і техобслуговуванням - одна з самих багатогранних функціональностей в тиражних системах управління підприємством, яка повинна підтримувати не тільки облік витрат, а й контроль працездатності обладнання, збір та аналіз інформації про відмови, планування відповідних робіт і поставок комплектуючих. Ремонтні роботи, дуже різноманітні і вимагають розрахунку потреб у матеріалах і фінансових ресурсів для їх закупівлі, тобто повинні інтегруватися в ERP-контур підприємства.

Було визначено, що на крупних металургійних виробництвах/ підприємствах (таких як наприклад Дніпровський металургійний завод, Дніпроспецсталь, Запорізький сталепрокатний завод, тощо) виконання ремонтів зводиться до виконання заказів багаточисельних окремих підрозділів таких комбінатів. Заказ на виготовлення та ремонт обладнання повинен пройти усі стадії узгодження і розробки технології виготовлення і ремонтів, а так як на таких металургійних гігантах таких замовлень десятки тисяч, необхідно мати інструменти які відповідають за взаємозв'язок всіх етапів проходження заказів.

Саме для цього і повинна бути спеціально розроблена та адаптована бізнес-модель управління ремонтними цехами, яка б дозволила вирішити (або об'єднати) цю задачу, і саме це і визначає проблематику даної статті.

Аналіз останніх досліджень. Проблематика досліджень особливостей моделювання бізнес-процесів в сучасних умовах та використання середовища SAP ERP широко розкрита в працях таких закордонних науковців, як Werner I. D. [1], Dart J. [2], Keohan S. [2], Strobel-Vogt U. [3], Niefert W [4]. Багато вітчизняних науковців також активно займаються теоретичними та практичними аспектами даних сфер, це і Скриль В. В. [5], Девадзе А. Х. [5], Кречотень І. М. [5], Петренко Л. М. [6], Пономаренко В. С. [7], Корзаченко О. В. [8], Когут Ю. О. [9], Шматковська Т. [10], Дзямучич М. [10], Стащук О. [10].

Формулювання цілі статті. Ціль даної статті – це аналіз та створення програмного середовища SAP ERP для створення моделі управління роботою ремонтно-механічних цехів на підприємствах в частині процесу узгодження заказів і розробки технології виготовлення

заказів.

Основна частина. При впровадженні процесно-орієнтованого управління на підприємствах (різного напрямку) та визначення оптимальної методики проведення технічного обслуговування виробництва - ключовою задачею є опис бізнес-процесів конкретного підприємства. При цьому необхідною умовою коректного опису бізнес-процесів є обґрунтування їх складу та структури. Є пропозиція всю діяльність деякого (наприклад металургійного) підприємства представити як взаємодію бізнес-процесів та процесів функціонування і управління підприємством/заводом/комбінатом.

При цьому бізнес-процеси (при узагальненні) класифікуються на основні та забезпечуючі, а процеси функціонування і управління підприємством – на забезпечуючі та управлінські (рис. 1) [9].

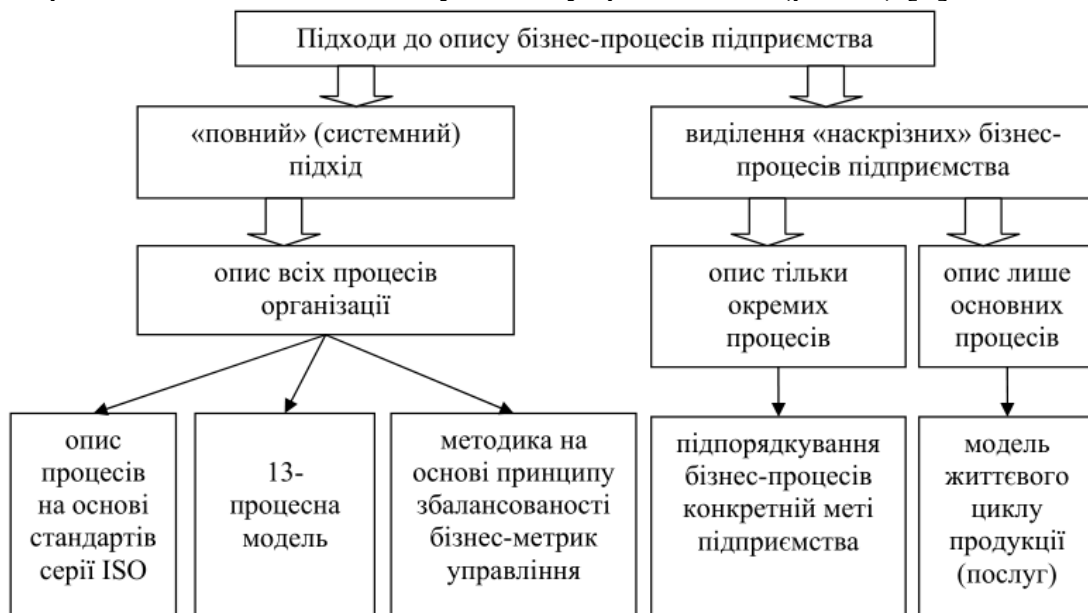


Рисунок 1. Узагальнена модель опису основних бізнес-процесів підприємства

До найбільш популярного в нашій країні засобам опису бізнес-процесів можна віднести:

1. Microsoft Visio - засіб створення різних типів моделей бізнес-процесів і даних, що дозволяє створювати діаграми і моделі із застосуванням різних методологій;
2. Опис потоків робіт (Work Flow Modeling);
3. Стандарт IDEF3 призначений для опису робочих процесів і близький до алгоритмічних методів побудови блок-схем;
4. Опис потоків даних (Data Flow Modeling);
5. Нотація DFD (Data Flow Diagramming) - дозволяє відобразити послідовність робіт, що виконуються по ходу процесу, і потоки інформації, що циркулюють між цими роботами.



6. Засоби UML-моделювання Rational Rose (IBM) і Together (фірми Borland);

7. Сімейство AllFusion Business Process Modeler (BPwin) - пропонує опис бізнес-процесів за допомогою методології IDEF0 (Computer Associates) і організації колективної роботи над єдиним репозитарієм моделей;

8. ARIS (IDS Scheer) - інструмент колективної роботи над сукупністю взаємопов'язаних моделей різних типів, призначених для опису бізнес-процесів, даних та інформаційних систем, діяльності компаній;

9. SAP ERP - планування ресурсів підприємства (enterprise resource planning).

Під час розробки моделі бізнес-процесу було проведене дослідження існуючих програмних продуктів на предмет єдиної бази даних, яка містить інформацію що до планування виробничих процесів (ремонту та виготовленню виробів) та збору фактичних даних, які відображають виробничу діяльність підприємства. Для відображення моделі бізнес-процесу управління ремонтно-механічними цехами нами була узятa система SAP ERP.

Взагалі моделювання бізнес-процесів - це ефективний засіб пошуку шляхів оптимізації діяльності підприємства, що дозволяє визначити, як воно працює в цілому і як організована діяльність на кожному робочому місці. Моделювання бізнес-процесів дозволяє проаналізувати не лише, як працює підприємство в цілому, як воно взаємодіє з іншими підприємствами, замовниками і постачальниками, а й те, як організована діяльність на кожному окремо взятому робочому місці. Моделювання бізнес-процесів з максимальною наближеністю до дійсності дозволяє вибрати і перевірити шляхи поліпшення, без необхідності проведення реальних експериментів з підприємством [5].

Метою моделювання є систематизація знань про підприємство і його бізнес-процеси в наочній графічній формі, зручнішій для аналітичної обробки отриманої інформації. Модель повинна відбивати структуру бізнес-процесів підприємства, деталізацію їх виконання та послідовність документообігу. Моделювання бізнес-процесів дозволяє проаналізувати не тільки, як працює підприємство в цілому, як воно взаємодіє із зовнішніми організаціями, замовниками та постачальниками, але і як організована діяльність на кожному окремо взятому робочому місці. Виходячи із цього, методи моделювання бізнес-процесів класифікують за трьома категоріями: методології ведення проекту; методології використання програмних продуктів для моделювання бізнес-процесів у проекті; методології моделювання й аналізу бізнес-процесів [5].

Аналіз рішень SAP нового покоління - «Керування ресурсами



підприємства» (SAP ERP) показав, що він охоплює всі сфери фінансового та управлінського обліку, керування персоналом, оперативної діяльності та корпоративних сервісних служб, а також надає потужні аналітичні інструменти. Застосування саме системи SAP ERP дозволяє використовувати на підприємстві тільки одну інтегровану програму замість декількох розрізнених. Використання даної системи дозволяє управляти обробкою, логістикою, дистрибуцією, запасами, доставкою, виставлянням рахунків-фактур і бухгалтерським обліком одночасно та у одній базі даних.

Для моделювання бізнес-процесів в системі SAP існує продукт SAP Business Workflow, який є по суті загальним інструментальним засобом, що забезпечує електронне інтегроване управління бізнес-процесами. Використовуючи рішення SAP Business Workflow, яке повністю інтегроване в систему ERP, можна координувати та контролювати потоки бізнес-процесів конкретних клієнтів в рамках декількох додатків і робочих місць. Серед SAP Business Workflow дозволяє зручне представлення бізнес-процесів і здатна швидко реагувати на зміни зовнішніх умов в реальній системі завдяки адаптації існуючих бізнес-процесів.

SAP Business Workflow надає ряд інструментів для визначення та аналізу робочих процесів, а також для моніторингу роботи. Також можна суміщати різні кроки компонентів в єдиний процес та забезпечувати кінцевому користувачу всі відомості, які підлягають обробці по крокам.

Розглянемо також існуючу типову схему управління процесами (рис. 2) [7]. Характерною рисою цієї схеми, є те що фактично процес нагадує собою модель «чорна скриня», яка використовує входи, виходи, ресурси, зворотний зв'язок з клієнтами процесу та його власником, та який виконує функції управління. На схемі є потоки продуктів та ресурсів, інформації та управлінських рішень, тобто процес включає потоки, які фактично відокремлюють, управлінські рішення від основних процесів для отримання продукту як результату діяльності підприємства. Також схема ілюструє взаємозв'язок горизонтальних та вертикальних потоків, що «пронизують» його організаційну структуру [7].

Заказ ремонтно-механічного управління (РМУ) у системі SAP ERP на металургійному(них) підприємстві(вах) подано як ієрархію одиниць обладнання. При запуску даної програми на верхню в ієрархії одиницю обладнання створюється документ збору даних:

- 1) дата узгодження заказу (наприклад 02.04.2023);
- 2) прізвища користувачів, які розробляють технологію виготовлення виробів РМУ (наприклад LUBKO-DV).

Після того, як заказ узгоджений, для верхньої в ієрархії одиниці

обладнання утворюється технологія виготовлення заказу.

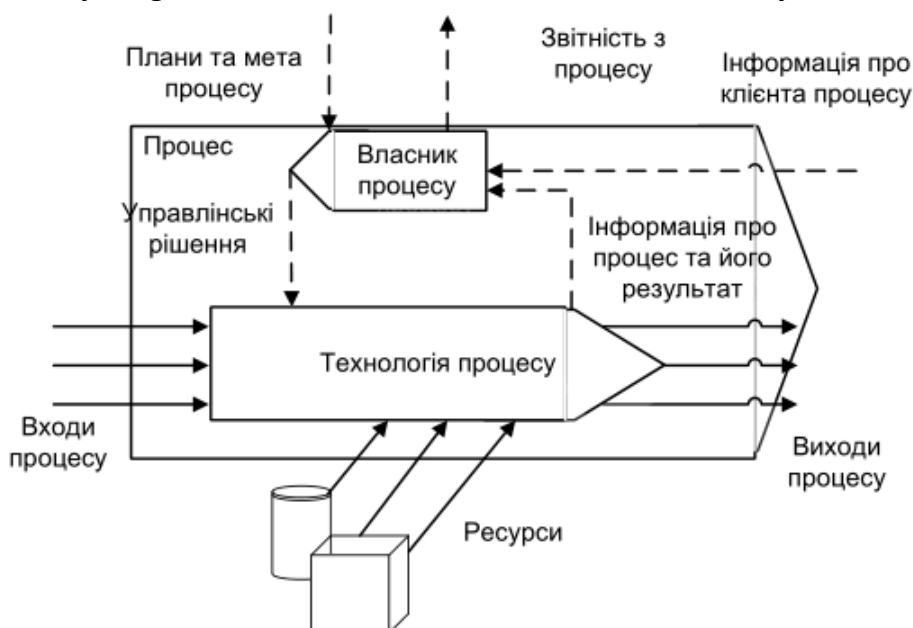


Рисунок 2. Типова схема управління процесами (на виробництві)

В процесі розробки технології, заказ передається від конструкторського бюро в відділ нормування, далі у відділ термообробки, після чого перевіряється і передається на друк. Роздрукований заказ перевіряється начальником відділу планування, після чого вважається готовим. Готові заклази передаються в цехи РМУ для виконання. Для відстеження етапів розробки технології в системі були налаштовані наступні статуси (таблицю 1).

Таблиця 1

Статуси технологічних карт підприємства

№ статусу	Текст статусу технологічної карти
1	Створення
Z	Расцеховка для заготівельних цехів
T	Технологія розроблена
H	Норми часу
U	Зміцнення
P	Технологія перевірена
G	Технологія готова
4	Загальне деблокування

Після того як заказ пройшов усі стадії узгодження та розробки технології виготовлення, потік даних «По узгодженню заказів РМУ» завершується.

В результаті подальшого аналізу робочих процесів на металургійному підприємстві був розроблений алгоритм роботи



програми для узгодження і розробки заводу РМУ (рис. 3).

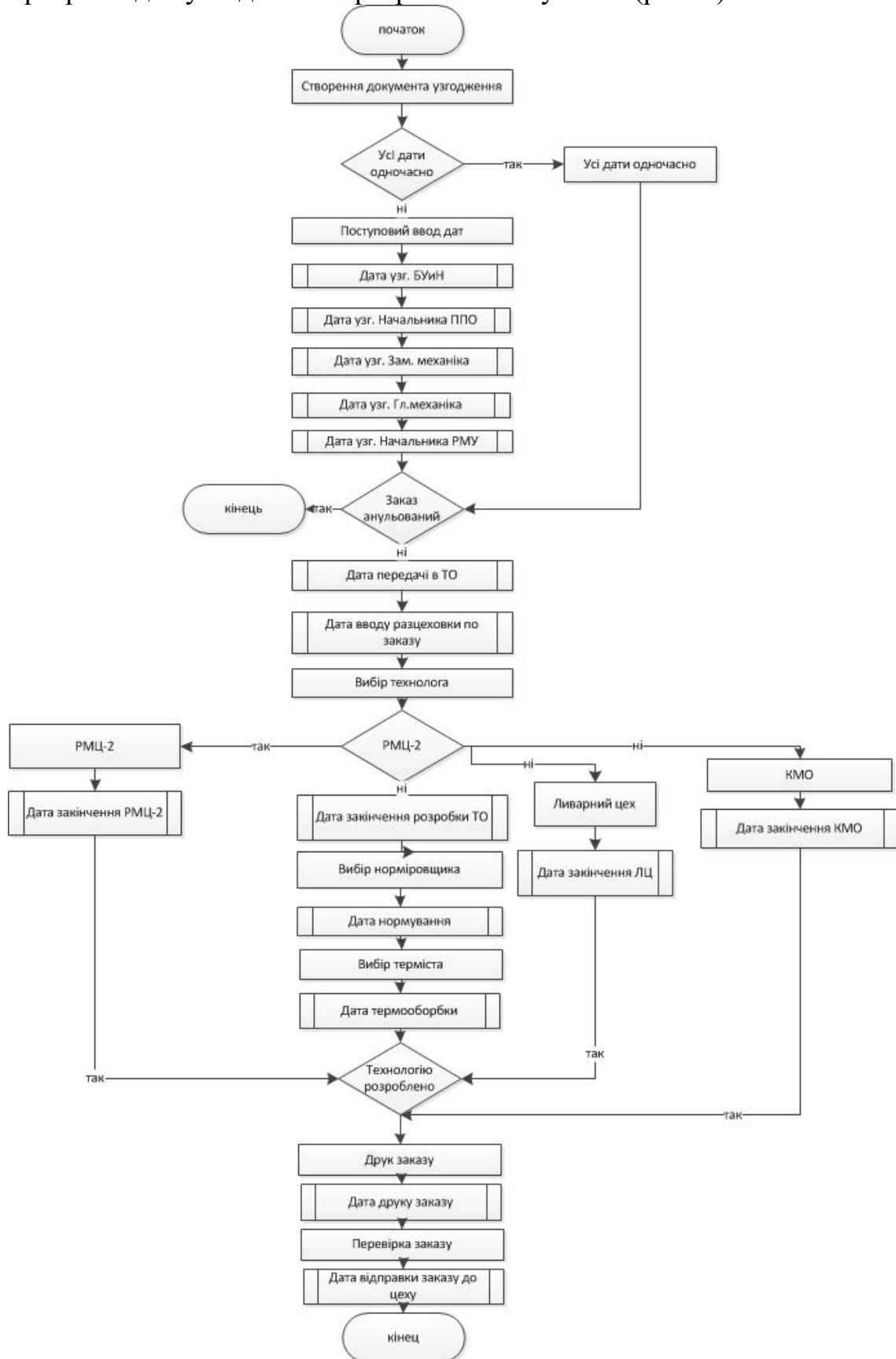


Рисунок 3. Блок-схема розробленого програмного забезпечення



На рисунку 3 можна побачити блок-схему розробленого програмного забезпечення для створення моделі управління роботою ремонтно-механічних цехів на металургійних підприємствах.

Висновки. Розглянуто використання програмного середовища SAP ERP для створення моделі управління роботою ремонтно-механічних цехів на металургійних підприємствах. Досліджено існуючі засоби моделювання бізнес-процесів. У системі SAP ERP з використанням інструментів SAP Business Workflow, розроблене програмне забезпечення для відстеження послідовності узгодження заказу та розробки технології виготовлення заказу РМУ.

Дане програмне забезпечення дозволяє керівникам відділів по ремонтах планувати завантаження виробничих потужностей цехів-виробників та закупівлю витратних матеріалів. А це в свою чергу, надає можливість цехам-замовникам планувати проведення заходів технічного обслуговування та ремонту обладнання на підприємстві.

Як перспектива на майбутнє, можливе вдосконалення розробленого програмного забезпечення з додаванням додаткових опцій та функцій. Наприклад можна додати у програму можливість відстеження етапів виготовлення виробів РМУ.

Список використаних джерел

1. Werner I. D. ABAP Development for SAP Business Workflow. *Galileo Press*, 2012.
2. Dart J., Keohan S., Rickayzen A., Adams D.J., Anikeev K., Bakker P., Kuppe M. Practical workflow for SAP. *Galileo Press*, 2019.
3. Strobel-Vogt U. SAP Business Workflow in der Logistik: Strategie und Implementierung in der Praxis. *Springer-Verlag*, 2013.
4. Niefert W. SAP Business ONE Implementation: Bring the Power of SAP Enterprise Resource Planning to Your Small-to-midsize Business. *Packt Publishing Ltd*, 2009.
5. Скриль В. В., Девадзе А. Х., Кречотень І. М. Моделювання бізнес-процесів туристичних підприємств. 2019.
6. Петренко Л. М., Красюк Ю. М. Сучасні комп'ютерні технології в моделюванні бізнес-процесів. *Anti crisis development of social and economic processes in the context of globalization*. 2016. С. 43.
7. Пономаренко В. С. и др. Теорія та практика моделювання бізнес-процесів: монографія. / В. С. Пономаренко и др. 2013.
8. Корзаченко О. В. Моделювання бізнес-процесів підприємств: методології, підходи та методи. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки*. 2015. №11(1). С. 171–175.
9. Когут Ю. О. Моделювання бізнес-процесів АТП. *Економіка транспортного комплексу: зб. наук. пр. –Х.: ХНАДУ*. 2010. Вип. 2010.



Т.16. С. 140–153.

10. Шматковська Т., Дзямулич М., Стащук О. Особливості моделювання бізнес-процесів в умовах формування цифрової економіки. *Економіка та суспільство*. 2021. №26.

Стаття надійшла до редакції 31.03.2023 р.

D. Lubko

Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

**USING THE SOFTWARE ENVIRONMENT SAP ERP TO CREATE
A MODEL OF WORK MANAGEMENT OF REPAIR AND
MECHANICAL SHOPS AT ENTERPRISES**

Summary

The work is devoted to the creation of a model for managing the work of repair and mechanical shops at enterprises (metallurgical type) using the SAP ERP software environment. The existing business process modeling tools were studied. Necessary conditions for a normal production process at the enterprise are: maintenance of machines and equipment in working order; timely provision of workplaces with raw materials, materials, and tools; providing units with energy; performance of transport operations; creation of production zones. During the development of the business process model, a study of existing software products was carried out for the purpose of a single database, which contains information on the planning of production processes (repair and manufacturing of products) and the collection of actual data that reflect the production activity of the enterprise. We used the SAP ERP system to display the model of the business process of managing repair and mechanical shops.

The analysis of SAP solutions of the new generation – «Management of enterprise resources» (SAP ERP) showed that it covers all areas of financial and management accounting, personnel management, operational activities and corporate services, and also provides powerful analytical tools. The use of the SAP ERP system allows the enterprise to use only one integrated program instead of several separate ones. Using this system allows you to manage processing, logistics, distribution, inventory, shipping, invoicing and accounting simultaneously and in one database.

In the SAP ERP system with the use of SAP Business Workflow tools, software was developed to track the sequence of order coordination and develop the manufacturing technology of the order by repair and mechanical management. This software allows managers of repair departments to plan the loading of production facilities of manufacturing workshops and the purchase of consumables. And this, in turn, provides an opportunity for customer shops to plan maintenance and repair of equipment at the enterprise.

Key words: enterprise business process, SAP ERP, management model, repair and mechanical shop, flow of order coordination.



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-42

УДК 004

А. В. Антоненко, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-9397-1209

О. О. Сорочинський

ORCID: 0009-0001-5894-1554

Державний університет телекомунікацій

e-mail: artem.v.antonenko@gmail.com, тел.: 063-263-33-03

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИВАТНОГО МЕРЕЖЕВО-СЕРВЕРНОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ OPENNEBULA

Анотація. Використання приватних хмарних середовищ для побудови та керування мережево-серверною інфраструктурою привернуло значну увагу в останні роки. OpenNebula є платформою хмарних обчислень з відкритим вихідним кодом, яка здатна створювати віртуалізовані центри обробки даних та керувати ними. Це комплексне рішення для проектування та розгортання хмарних середовищ, шляхом автоматизації та управління віртуальними машинами, сховищами даних та мережевими ресурсами. OpenNebula має модульну архітектуру, що дозволяє користувачам налаштовувати та розширювати платформу відповідно до своїх конкретних потреб. Однією з ключових особливостей OpenNebula є підтримка декількох гіпервізорів, включаючи KVM, VMware та LXI, забезпечуючи управління віртуальними машинами на різних платформах віртуалізації з єдиного інтерфейсу. OpenNebula ставить основний акцент на простоту та зручність використання. Платформа має веб-інтерфейс, за допомогою якого легко керувати своєю хмарною інфраструктурою з будь-якого пристрою, що підключений до мережі Інтернет. Також платформа включає набір інструментів командного рядка (CLI), які дозволяють досвідченим користувачам автоматизувати платформу та керувати ресурсами програмно. Ще однією ключовою особливістю OpenNebula є її масштабованість. Платформа розроблена для підтримки широкого спектру сценаріїв розгортання, від невеликих приватних хмар до великомасштабних публічних хмар, що дозволяє легко та швидко масштабувати свою інфраструктуру в залежності від потреб, не вимагаючи значних змін у базовій архітектурі. OpenNebula має велику та активну спільноту користувачів та розробників, які вносять свій внесок у постійний розвиток та вдосконалення платформи. Програмне забезпечення випускається під ліцензією Apache, що робить його вільним та відкритим для використання, модифікації та



розповсюдження, без будь-яких ліцензійних платежів.

Ключові слова: OpenNebula, сховище, мережеві ресурси, масштабованість, приватні хмари, публічні хмари.

Постановка проблеми. У сучасному цифровому світі організації все більше покладаються на приватні мережі для зберігання та керування критично важливими даними та програмами. Приватне мережево-серверне середовище забезпечує покращену безпеку, контроль і масштабованість порівняно з загальнодоступними мережами, що робить його привабливим вибором для багатьох компаній. Однак проектування та моделювання такого середовища може бути складним, вимагаючи ретельного дослідження різних факторів, таких як архітектура, розподіл ресурсів, технологія віртуалізації та інструменти керування. [1]

Однією з популярних технологій для побудови та керування приватними мережево-серверними середовищами є OpenNebula. OpenNebula - це платформа для хмарних обчислень, яка вирішує завдання управління та направлення віртуалізованих ресурсів у центрах обробки даних та гібридних хмарних середовищах. Зокрема, це комплексне та гнучке рішення для розгортання, управління та масштабування віртуальних машин та контейнерів, на базі різних технологій віртуалізації. Пропонує широкий спектр функцій, включаючи керування віртуальними машинами, керування мережею та сховищами, керування користувачами та групами, а також моніторинг і звітування [2].

Однією з ключових проблем у розробці з використанням OpenNebula є вибір відповідної архітектури. Архітектура повинна бути ретельно спланована, щоб забезпечити ефективний розподіл ресурсів, високу доступність і масштабованість. У статті обговорюватимуться різні варіанти архітектури, такі як одновузлова, багатовузлова та гібридна архітектури, а також їхні переваги та недоліки. У статті також буде розглянуто фактори, які необхідно враховувати при виборі відповідної архітектури, наприклад, розмір організації, типи додатків і робочих навантажень, а також бажаний рівень продуктивності та доступності [3].

Іншою проблемою при розробці середовища є розподіл ресурсів процесора, пам'яті та зберігання даних, між віртуальними машинами. Ефективний розподіл ресурсів має вирішальне значення для забезпечення оптимальної продуктивності. У статті обговорюватимуться різні методи розподілу, такі як статичний, динамічний та гібридний розподіл, а також їхні переваги та недоліки. У статті також досліджуватимуться фактори, які необхідно враховувати під час визначення відповідної стратегії розподілу



ресурсів, такі як характеристики робочого навантаження, вимоги до продуктивності додатків і обмеження вартості.

Формулювання проблеми при проектуванні та моделюванні приватного середовища з використанням технології OpenNebula передбачає вирішення різних проблем, пов'язаних з архітектурою, розподілом ресурсів, технологією віртуалізації, управлінням, безпекою, масштабованістю, сумісністю та економічною ефективністю. Ретельно аналізуючи та вирішуючи ці завдання, організації можуть створити ефективне приватне мережево-серверне середовище, яке відповідає їхнім цілям продуктивності, безпеки та вартості. У наступних розділах статті детальніше буде розглянуто кожен з цих проблем, надаючи розуміння та рекомендації щодо проектування та моделювання такого середовища. [4]

Аналіз останніх досліджень. В останні роки було опубліковано значну кількість досліджень і літератури на тему моделювання та проектування приватних мережево-серверних середовищ за допомогою технології OpenNebula. У цьому розділі статті буде надано аналіз останніх джерел, у тому числі наукових робіт, статей і публікацій, щоб висвітлити поточний стан галузі та визначити ключові тенденції та висновки [1-11].

Однією помітною тенденцією в останній літературі є наголос на важливості безпеки при проектуванні та моделюванні приватних хмар. Зі зростанням поширення кіберзагроз і витоку даних організації надають пріоритет заходам безпеки для захисту своїх конфіденційних даних і програм. Автори рекомендують застосовувати найкращі методи безпеки, такі як регулярні аудити безпеки, керування виправленнями та сегментацію мережі, щоб мінімізувати ризик порушення безпеки.

Оскільки організації ростуть і їхні вимоги змінюються, таке середовище має бути масштабованим, щоб відповідати сучасним вимогам. Організаціям часто потрібно інтегрувати свою інформаційну інфраструктуру з іншими системами та технологіями, які забезпечують бездоганну взаємодію. Це включає підтримку кількох гіпервізорів, інтеграцію із зовнішніми системами зберігання та сумісність із різними мережевими конфігураціями.

Іншою ключовою тенденцією, виявленою в літературних джерелах, є необхідність комплексного управління та моніторингу приватної хмари, а також обговорюється важливість розгляду аспекту енергоефективності. Ефективне управління, моніторинг та оптимізації споживання енергії у своїй IT-інфраструктурі, є критично важливими для забезпечення продуктивності, доступності та надійності.

Загалом аналіз останніх джерел підкреслює важливість цілісного підходу до проектування та моделювання приватних мережевих серверних середовищ за допомогою технології OpenNebula. Це



включає в себе розгляд заходів безпеки для захисту від кіберзагроз, забезпечення масштабованості для адаптації до змінних вимог, досягнення сумісності з іншими системами та технологіями, оптимізацію витрат для узгодження з організаційними бюджетами, прийняття OpenNebula як гнучкого та масштабованого рішення, впровадження ефективних стратегій управління та моніторингу, і розгляд практики енергоефективності для екологічної стійкості. Включаючи ці фактори в процес проектування та моделювання, організації можуть створити надійне, безпечне, масштабоване та ефективне рішення, яке відповідає вимогам їх бізнесу та відповідає їх ІТ-цілям.

Формулювання мети статті. Мета дослідження - моделювання та проектування приватного мережево-серверного середовища з використанням технології OpenNebula.

Об'єкт дослідження - приватне мережево-серверне середовище, що складається з комп'ютерів, мережевих пристроїв та серверів, а також технології OpenNebula.

Предмет дослідження - процес моделювання та проектування приватного мережево-серверного середовища з використанням технології OpenNebula, включаючи в себе визначення вимог до системи, вибір необхідного обладнання та налаштування програмного забезпечення.

Основна частина. OpenNebula - це рішення для хмарних обчислень з відкритим вихідним кодом, яке повністю підтримує приватні, публічні та гібридні хмарні платформи. Технологія розроблена для легкої адаптації до будь-якої інфраструктури та легкого розширення новими компонентами. Результатом є модульна система, яка може реалізувати різноманітні хмарні архітектури та може взаємодіяти з кількома службами центру обробки даних. Внутрішніми компонентами OpenNebula є основний модуль, набір підключених драйверів та кілька інструментів. Віртуальні ресурси, такі як віртуальні машини, віртуальні мережі, віртуальні сховища та шаблони, управляються і контролюються основним модулем. Крім того, він обробляє запити від клієнтів і викликає відповідні драйвери для керування ресурсами, які потрібно використовувати. Драйвери - це адаптери, які взаємодіють з проміжним програмним забезпеченням. За допомогою низки інструментів та API, кінцеві користувачі можуть отримати доступ до ключових функціональних можливостей.

Основні складові OpenNebula:

- Керуючий вузол (frontend node) - центральний вузол, який відповідає за управління всіма іншими вузлами хмари. Він включає в себе веб-інтерфейс, API та базу даних.

- Вузли хмари (cloud nodes) - обчислювальні вузли, на яких



запускаються віртуальні машини. Вони можуть бути розташовані на різних фізичних серверах і мати різну конфігурацію обладнання.

- Хмарні образи (cloud images) - образи віртуальних машин, які можна використовувати для запуску нових віртуальних машин на вузлах хмари.

- Хмарні шаблони (cloud templates) - конфігурації для створення віртуальних машин, включаючи параметри вузлів, образи, мережі та інші параметри.

- Хмарні мережі (cloud networks) - віртуальні мережі, на яких працюють віртуальні машини.

Компонентами установки OpenNebula є:

OpenNebula Daemon (oned): OpenNebula Daemon є основною службою платформи. Він керує вузлами кластера, віртуальними мережами та сховищами, групами, користувачами та їхніми віртуальними машинами, а також надає API XML-RPC іншим службам і кінцевим користувачам.

База даних: OpenNebula зберігає стан хмари у вибраній базі даних SQL. Це ключовий компонент, який слід контролювати та налаштовувати для найкращої продуктивності, дотримуючись найкращих практик конкретного продукту бази даних.

Планувальник: планувальник OpenNebula відповідає за планування віртуальних машин, на доступних вузлах гіпервізора. Це спеціальний демон, встановлений разом із OpenNebula Daemon, його також можна розгорнути окремо на іншій машині.

Edge Cluster Provision: цей компонент створює повнофункціональні кластери OpenNebula у загальнодоступній хмарі. Модуль Provision інтегрує Edge Clusters у вашу хмару OpenNebula, використовуючи три основні технології: Terraform, Ansible і OpenNebula Services.

Моніторинг: підсистема моніторингу представлена спеціальним демоном, що працює як частина демона OpenNebula. Він збирає інформацію, що стосується хостів і віртуальних машин, основними показниками є продуктивність, статус віртуальної машини та споживання ресурсів.

OneFlow: OneFlow керує службами кількох віртуальних машин у цілому, визначаючи залежності та політики автоматичного масштабування для компонентів програми, взаємодіє з демоном OpenNebula для керування віртуальними машинами (запуск, зупинка), ним також можна керувати через графічний інтерфейс Sunstone або через CLI.

OneGate: сервер OneGate дозволяє забезпечити зв'язок між віртуальними машинами та вузлами OpenNebula. Завдяки OneGate

користувачі можуть легко взаємодіяти зі своїми віртуальними машинами ззовні хмари, що значно полегшує їх роботу з хмарними ресурсами.

OneGate/Proху: служба OneGate/Proху — це просте рішення TCP-проксі, яке можна використовувати для покращення безпеки кінцевої точки OneGate. Користувачі можуть увімкнути його на вузлах гіпервізора, тоді стане набагато простіше захищати трафік OneGate за допомогою рішення VPN [10].

OpenNebula є високомасштабованою архітектурною системою (Рис. 1). Інтерфейси працюють на основі REST API (наприклад, EC2-Query API), OpenNebula Cloud API (OCA) та власних API драйверів (Рис. 2). Також є підтримка підключення до AWS.

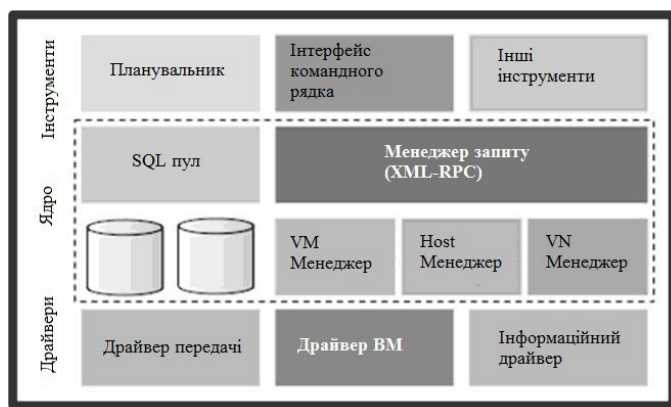


Рисунок 1. Внутрішня архітектура OpenNebula

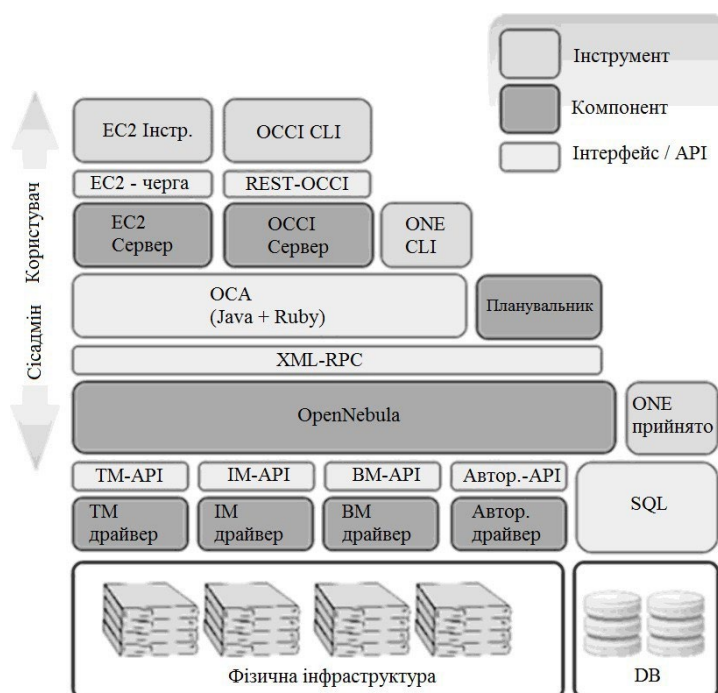


Рисунок 2. Інтерфейси



Рішення OpenNebula спеціально розроблене для адаптації до будь-якої інфраструктури і може бути легко розширене за допомогою інших компонентів. Результатом є модульна система, яка дозволяє створювати необмежену кількість хмарних архітектур. Крім того, вона може бути інтегрована з центрами обробки даних.

Хмарний інтерфейс потрібен нам для управління віртуальними машинами, мережами та зображеннями за допомогою REST API. Він обмежує потребу в додаткових знаннях про хмару для того, щоб кінцеві користувачі могли їх освоїти. OpenNebula реалізує два типи інтерфейсів:

EC2-запит API: OpenNebula реалізує функції, що надаються EC2 API від Amazon, які пов'язані з управлінням віртуальними машинами. Тому при доступі до хмари OpenNebula можна використовувати будь-який інструмент EC2-запитів [4].

OSSI-OGF: цей веб-сервіс дозволяє запускати віртуальні машини в OpenNebula та керувати ними, використовуючи останню версію проекту OSSI API.

Інтерфейс XML-RPC є основним інтерфейсом OpenNebula і надає всі функції для взаємодії з програмним рішенням OpenNebula. За допомогою інтерфейсу XML-RPC ви можете контролювати і керувати будь-якими ресурсами OpenNebula, включаючи віртуальні машини, мережі, образи, користувачів, хости і кластери. Інтерфейс XML-RPC рекомендується використовувати при розробці спеціальних бібліотек для хмарних додатків або коли потрібен низькорівневий інтерфейс до ядра OpenNebula.

OpenNebula Cloud API надають простий і зручний спосіб взаємодії з ядром OpenNebula. Ці API надають ту ж функціональність, що і XML RPC інтерфейси. API підтримують дві мови, Ruby та Java. Якщо ви розробляєте просунутий IaaS-інструмент і вам потрібен повний доступ до функціональності OpenNebula, найкраще використовувати інтерфейс OCA.

Внутрішні дані, стан OpenNebula та призначена інформація зберігається в постійній базі даних. Можуть використовуватися бази даних такі як MySQL або SQLite, що дозволяє легко взаємодіяти з будь-якими інструментами для роботи з базами даних.

Залежно від налаштування віртуальної мережі, віртуальна машина OpenNebula підключає свій мережевий інтерфейс (визначений в опції NIC) до фізичних пристроїв гіпервізора. Таким чином, віртуальна машина може отримати доступ як до публічних, так і до приватних мереж [3,11].

OpenNebula надає потужну та гнучку платформу, що дозволяє організаціям віртуалізувати свої обчислювальні ресурси, сховище даних та мережу для створення масштабованої та гнучкої



інфраструктури. Використовуючи функції та можливості OpenNebula, організації можуть створити середовище, яке відповідає їхнім конкретним вимогам, чи то для невеликих масштабів, чи для великих центрів обробки даних. Це дозволяє їм визначати детальний контроль доступу та політики безпеки для обмеження несанкціонованого використання, що гарантує, що лише авторизовані користувачі та процеси мають доступ до ваших ІТ-ресурсів та даних.

Інтеграція з інструментами та службами безпеки: OpenNebula підтримує взаємодію із зовнішніми інструментами та сервісами безпеки, такими як брандмауери, системи виявлення та запобігання вторгнень та антивірусне програмне забезпечення. Це дозволяє використовувати переваги цих інструментів і сервісів для посилення захисту інфраструктури вцілому [7].

Відповідність та сертифікація: OpenNebula може допомогти вам задовольнити вимоги безпеки та відповідності вашої організації або галузі, надаючи такі функції як: шифрування та безпечні комунікації. OpenNebula також сертифікована на відповідність стандартам безпеки, таким як ISO/IEC 27001:2013, що може допомогти вам продемонструвати безпеку та надійність вашої хмарної інфраструктури.

Безпечний зв'язок: OpenNebula підтримує безпечні протоколи зв'язку, такі як SSL/TLS, щоб гарантувати безпечну передачу даних між компонентами вашої віртуалізованої інфраструктури. Це допомагає запобігти підслуховуванню або фальсифікації даних під час передачі, що може становити значну загрозу безпеці.

Аварійне відновлення: OpenNebula надає функції для аварійного відновлення, такі як резервне копіювання та відновлення, реплікація та висока доступність. Ці функції можуть допомогти вам підтримувати безперервність бізнесу в разі інциденту з безпекою або збоєм системи, гарантуючи, що ваші дані та додатки будуть доступні та відновлені [2,11].

Сегментація віртуальної мережі: OpenNebula дозволяє створювати віртуальні мережі та сегменти мережі, ізольовані один від одного, що може допомогти запобігти латеральному переміщенню зловмисників у вашій віртуалізованій інфраструктурі. Це зменшує вплив інцидентів безпеки і допомагає стримувати потенційні порушення безпеки.

Безперервний моніторинг безпеки: OpenNebula підтримує безперервний моніторинг безпеки, який передбачає регулярне тестування та оцінку безпеки вашої віртуалізованої інфраструктури за допомогою автоматизованих інструментів і методів. Це може допомогти вам виявити та усунути вразливості та слабкі місця безпеки на випередження, перш ніж ними зможуть скористатися зловмисники.

В цілому, OpenNebula може надати широкий спектр функцій і



можливостей безпеки, які допоможуть вам побудувати безпечну і відмовостійку хмарну інфраструктуру. Однак важливо відзначити, що безпека - це безперервний процес, і що потрібно стежити за регулярними оновленнями для усунення ризиків і загроз безпеці у вашому хмарному середовищі.

Висновки. У цій статті ми дослідили моделювання та проектування приватного мережево-серверного середовища за допомогою технології OpenNebula. Ми обговорили архітектурні компоненти, міркування щодо конфігурації та найкращі методи створення надійного рішення. Підсумовуючи усе вище наведене, можна сказати, що OpenNebula пропонує організаціям потужну та гнучку платформу для віртуалізації їхніх обчислювальних ресурсів, сховищ та мереж. Ретельно враховуючи архітектурні компоненти, параметри конфігурації та найкращі практики, організації можуть створити приватне мережево-серверне середовище, яке адаптоване до їхніх вимог, забезпечуючи підвищене використання ресурсів, покращену масштабованість, підвищену безпеку та спрощену роботу. Завдяки належному плануванню, оптимізації ресурсів, заходам безпеки, регулярному моніторингу та технічному обслуговуванню, а також тестуванню, організації можуть використовувати OpenNebula для створення ефективного, безпечного та високодоступного приватного мережево-серверного середовища, що дозволить їм задовольняти свої обчислювальні потреби та досягнення своїх ІТ-цілей.

Список використаних джерел

1. OpenNebula Beginner's Guide. Giovanni Toraldo. Packt Publishing. 2012, P. 215–303.
2. Mastering OpenNebula 3. Andres Lucas Arrivillaga and Ruben S. Montero. Packt Publishing. 2013. P. 107–122.
3. OpenNebula 5.8: Cloud Computing. Omar A. Mendoza. Packt Publishing. 2019. P. 350–400.
4. Cloud Storage Security: A Practical Guide. Aaron Wheeler and Michael Winburn. Apress. 2016. P. 153–200.
5. Зайцев Є. О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки (5), 2022.
6. Цвик О. С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки (1), 2023.
7. Балвак А. А., Новіченко Є. О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки (1), 2023.
8. Твердохліб А. О., Коротін Д. С. Ефективність функціонування



комп'ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз даних. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки (6), 2022.

9. Cloud Computing with OpenNebula 3. Helion Ventures. Helion Ventures. 2012. P. 50–62.

10. Data Center Handbook. Hwaiyu Geng. Wiley. 2015. P. 704–768.

11. OpenNebula 3 Cloud Computing: Leverage the Power of Cloud Computing Using OpenNebula 3. Giovanni Toraldo. Packt Publishing, 2012.

Стаття надійшла до редакції 12.04.2023 р.

A. Antonenko, O. Sorochynskyi
State University of Telecommunications

MODELING OF A PRIVATE NETWORK-SERVER ENVIRONMENT USING OPENNEBULA TECHNOLOGY

Summary

The use of private cloud environments to build and manage network and server infrastructure has attracted considerable attention in recent years. OpenNebula is an open source cloud computing platform capable of creating and managing virtualized data centers. It is a comprehensive solution for designing and deploying cloud environments by automating and managing virtual machines, data storage and network resources. OpenNebula has a modular architecture that allows users to customize and extend the platform according to their specific needs. One of the key features of OpenNebula is its support for multiple hypervisors, including KVM, VMware and LXD, providing management of virtual machines on different virtualization platforms from a single interface. OpenNebula puts the main emphasis on simplicity and ease of use. The platform has a web interface that makes it easy to manage your cloud infrastructure from any device connected to the Internet. The platform also includes a set of command-line tools (CLI) that allow advanced users to automate the platform and manage resources programmatically. Another key feature of OpenNebula is its scalability. The platform is designed to support a wide range of deployment scenarios, from small private clouds to large-scale public clouds, allowing you to easily and quickly scale your infrastructure based on needs without requiring significant changes to the underlying architecture. OpenNebula has a large and active community of users and developers who contribute to the continuous development and improvement of the platform. The software is released under the Apache license, which makes it free and open to use, modify and distribute, without any license fees.

Key words: OpenNebula, storage, network resources, scalability, private clouds, public clouds.

Електронне наукове фахове видання

Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 13, том 2.

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
19,51 умов. друк. арк.