

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**СУЧАСНА ТРАЄКТОРІЯ РОЗВИТКУ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ПРОГРЕСУ
В УКРАЇНІ ТА СВІТІ**

Колективна монографія



Львів-Торунь
Ліга-Прес
2021

УДК 316.422.44(477)
С91

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 4 від 06.12.2021 р.)*

Рецензенти:

Ємел'янова Тетяна Анатоліївна, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри будівництва Херсонського державного аграрно-економічного університету (відповідальна за випуск);

Дзюндзя Оксана Валентинівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету;

Лобода Олена Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету.

Сучасна траєкторія розвитку науково-технічного прогресу в Україні та світі : колективна монографія / За заг. ред. Т. А. Ємел'янової. – Львів-Торунь : Ліга-Прес, 2021. – 420 с.

ISBN 978-966-397-247-3

УДК 316.422.44(477)

ISBN 978-966-397-247-3

© Херсонський державний
аграрно-економічний університет, 2021

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1.

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОНОМІКА І МЕНЕДЖМЕНТ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Абрамов С. О.

Підвищення характеристик колекторних вузлів
на основі покращення технології виготовлення ламелей 1

Литвиненко В. М., Бабушкіна Р. О.

Покращення параметрів кремнієвих діодів за рахунок
використання операцій гетерування та методів
запобігання впливу поверхневих ефектів 26

Літвак О. А.

Зелена енергетика як ключовий елемент низьковуглецевого
розвитку: світові тенденції і перспективи для України 80

РОЗДІЛ 2.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Шевченко С. М., Жданова Ю. Д., Фішук Т. О.

Ймовірісно-статистичні методи в економічній галузі
та методика їх навчання в умовах онлайн-навчання 113

Шушура О. М.

Методологічні аспекти розробки інформаційних
технологій для нечіткого управління на основі
функцій належності багатьох аргументів 145

РОЗДІЛ 3.

НОВІТНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Кушнеренко В. Г.

Технологія годівлі тварин, птиці та риби в водоймищах,
зволоженою ферментованою гомогенною кормовою
суспензією із суміші зернових 173

Папакіна Н. С.

Біологічні особливості формування продуктивних ознак
асканійських тонкорунних овець 199

РОЗДІЛ 4.**СУЧАСНІ ЄВРОПЕЙСЬКІ ТА СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ
РОЗВИТКУ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

*Antonenko A. V., Vasylenko O. V., Kryvoruchko M. Yu.,
Tolok H. A., Stukalska N. M., Prikhodko K. O.,
Dzyundzya O. V.*

**Innovative technological aspects of production of functional
purposes sauzes with dietary
supplements224**

Пархоменко А. М., Мукоїд Р. М.

**Дослідження причин виникнення дефектів
у пивоварінні253**

Петраченко Д. О.

**Сучасний український та світовий ринок
продукції з насіння промислових конопель.....293**

РОЗДІЛ 5.**РІВЕНЬ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Ігнатишин В. В.

**Спостереження геофізичних полів, дослідження їх зв'язку
із сучасними горизонтальними рухами кори та проявом
сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину
в 2020 році320**

**РОЗДІЛ 6. СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ГАЛУЗИ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ**

Савченко Н. П.

**Регулювання графіка навантаження споживача-регулятора
з гібридними системами електропостачання349**

РОЗДІЛ 7.**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АРХІТЕКТУРІ
ТА БУДІВНИЦТВІ**

Ємел'янова Т. А.

**Моделювання деформацій стін кам'яних будівель
для будівництва на просадних ґрунтах.....389**

РОЗДІЛ 1. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОНОМІКА І МЕНЕДЖМЕНТ В ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-247-3-1>

Абрамов С. О.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри технології машинобудування
Національна металургійна академія України
м. Дніпро, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕКТОРНИХ ВУЗЛІВ НА ОСНОВІ ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАМЕЛЕЙ

Робота присвячена новому підходу до вирішення проблеми щодо підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів, за рахунок оптимізації активації бічної поверхні мідної ламелі, що оброблена струменево-абразивним методом.

Основними недоліками традиційних способів отримання профілю мідних ламелей є: мала несуча здатність бічних поверхонь, унаслідок похибок куткових розмірів. Це викликано тим, що традиційні технології отримання профілю ламелей – прокатка, волочіння, фрезерування та інші, не забезпечують потрібну точність і якість профілю. Тому розробка технологій, що забезпечує компенсацію похибок геометричних розмірів і форми мідних ламелей є актуальною науково-практичною задачею технології машинобудування.

На підставі встановлених закономірностей протікання процесів контактної взаємодії бокових поверхонь мідних ламелей з пластинами слюдопласта визначено, що ефективних значень трибопоказників досягається при оздоблювально-формуєчій обробці поверхонь ламелей, струменево-абразивним методом є актуальним науковим завданням.

Вперше визначена закономірність впливу шорсткості на довговічність роботи колекторних вузлів та встановлена раціональна зона шорсткості бічних поверхонь ламелей. Це

дозволило отримати суттєву перевагу при виготовленні колекторного профілю з меншою точністю, що, в свою чергу, сприяє перешкоджанню радіальним переміщенням колекторних ламелей в зчепленні з пластинами слюдопласта, що зберігає рельєф контактної поверхні колектора, та сприяє підвищенню технологічності та надійності ресурсу колекторного вузла.

Вступ

Колекторні електродвигуни є широко-регульованими машинами і використовуються сучасною промисловістю там, де необхідні велика перевантажувальна здатність та регулювання частоти обертання. Основною проблемою експлуатації цього типу машин є забезпечення комутаційної стійкості.

Більше 30% відмов під час експлуатації двигунів постійного струму загальнопромислового застосування відбуваються через несправності колекторно-щіткового вузла, а у великих прокатних двигунах 44-46%. У малих колекторних машинах вихід з ладу колекторно-щіткового вузла складає 34-48% від загального числа відмов машин, а застосування безщіткових систем збудження не дозволяє вирішити проблему, оскільки частота відмов у них не менша [1; 2; 10; 12].

На основі покращення технології виготовлення мідних ламелей колекторного вузла збільшується термін роботи двигунів постійного струму та підвищуються експлуатаційні властивості із забезпеченням заданих характеристик, що є надзвичайно важливим завданням машинобудівних підприємств. Дослідження та вирішення цієї проблеми значно підвищить життєвий цикл електродвигунів, знизить собівартість виготовлення колекторних вузлів та сприятиме науковому розвитку зазначеної галузі.

Основними недоліками традиційних способів отримання профілю мідних ламелей є мала контактна жорсткість бічних поверхонь через похибки кутових розмірів. Це зумовлено тим, що традиційні технології отримання профілю ламелей – прокатування, волочіння, фрезерування тощо, не забезпечують точність геометричних параметрів та якість поверхонь профілю. Тому розробка технології, що забезпечить компенсацію похибок геометричних розмірів та форми мідних ламелей є актуальним науково-практичним завданням технології машинобудування.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вирішення важливого науково-технічного завдання підвищення життєвого циклу колекторних вузлів електричних машин постійного струму, шляхом розробки технологічних методів, що формують функціональні та мікро- і макрогеометричні характеристики поверхневих шарів ламелей колекторних вузлів, а також сприяють компенсації кутових похибок ламелей.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких завдань:

- провести класифікацію конструкцій ламелей електричних машин з урахуванням підвищення життєвого циклу колекторних вузлів;

- розробити методику створення функціонально-орієнтованих технологій виготовлення мідних ламелей на підставі аналізу технологічних впливів і властивостей функціональних елементів ламелей залежно від експлуатації колекторного вузла;

- дослідити вплив якості поверхні (шорсткість, структуру, мікроструктуру тощо) на показники експлуатаційних характеристик ламелей і колекторних вузлів електричних машин;

- провести аналіз струменево-абразивних методів обробки ламелей для підвищення технологічних та експлуатаційних характеристик колекторних вузлів;

- розробити математичну модель взаємодії абразивного струменя з поверхнею ламелі для досягнення мікрогеометрії, що сприятиме компенсації макропохибок кутів;

- здійснити дослідно-промислові випробування колекторних вузлів з мідними ламелями, обробленими струменево-абразивною технологією на підґрунті функціонально-орієнтованих досліджень;

- впровадити результати дослідних технологій у виробництво на машинобудівному підприємстві та використувати їх у навчальному процесі.

Об'єкт дослідження – процес формування мікро- і макрогеометричних характеристик бічних поверхонь ламелей колекторних вузлів при струменево-абразивній обробці.

Предмет дослідження – закономірності формування мікро- та макрогеометричних параметрів бічних поверхонь мідних ламелей колекторних вузлів електричних машин.

Під час дослідження та аналізу геометричної структури поверхонь для визначення параметрів мікро- та макрорельєфу

утворених поверхонь використовувалось таке метрологічне устаткування: інформаційно-обчислювальний комплекс на базі профілографа-профілометра моделі 170622, оптичний інтерференційний профілометр «Micron-alpha», мікро-нанотвердомір «Micron-gamma», установка для проведення струменево-абразивної обробки, мікроскоп AxioVertA1MAT, стенд для вимірювання сили тертя, оптичний квадрант КО-60М, виробничі стенди для випробувань електродвигунів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в роботі теоретично обґрунтовані технологічні параметри нового способу текстурування бічних поверхонь мідних ламелей колекторних вузлів, а також експериментально доведено підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів. Зокрема:

- набула розвитку технологія виготовлення мідних ламелей колекторних вузлів на основі наукового обґрунтування технологічного забезпечення якості бічних поверхонь ламелей для тривалої працездатності колекторного вузла – розробка відрізняється визначенням методу і технічних прийомів обробки бічних поверхонь ламелей;

- набула розвитку математична модель, яка дозволила отримати аналітичні залежності, що об'єднують параметри процесу струменево-абразивної обробки з параметрами якості бічної поверхні ламелі – розробка відрізняється залежностями від взаємодії абразивного зерна з мідною поверхнею ламелі, що враховує збільшену шорсткість поверхні та обмеження щодо знімання матеріалу, отриманих при певних режимах струменево-абразивної обробки;

- уперше встановлена закономірність протікання процесів контактної взаємодії текстурованих бічних поверхонь мідних ламелей з пластинами слюдо пласта – розробка відрізняється впровадженням струменево-абразивної обробки бічних поверхонь колекторних ламелей та визначенням методів і технічних прийомів обробки бічних поверхонь ламелей;

- уперше визначена закономірність впливу шорсткості на довговічність роботи колекторних вузлів та встановлені оптимальні параметри шорсткості бічних поверхонь ламелей – розробка відрізняється тим, що бічні частини колекторних ламелей в місцях контакту з ізолюючими пластинами

слюдопласта, текстуровані з шорсткістю $Ra=6,3-12,5\mu\text{м}$, при цьому коефіцієнт тертя спокою забезпечений на рівні 0,7-0,9.

1. Аналіз технологічних та експлуатаційних характеристик колекторних вузлів

У цьому розділі виконано систематизацію інформації науково-технічних джерел та аналіз існуючих конструкцій колекторних вузлів електродвигунів постійного струму (ДПС).

Аналіз робіт, присвячених технології виготовлення колекторних вузлів, у тому числі профільних пластин і електродвигунів, в цілому забезпечують необхідні їх експлуатаційні властивості для певних умов роботи [3; 12; 14; 17]. Проте технічний прогрес вимагає більш гнучкого підходу до виготовлення електричних машин за конкретними замовленнями і малими серіями. Оскільки колекторні профільні пластини з необхідними геометричними параметрами, точністю розмірів і високою електропровідністю виготовляють, як правило, із застосуванням тиску (прокатування, волочіння, екструзія, видавлювання тощо), тому через високу вартість технологічного оснащення витрати на виготовлення профілю малими партіями є нерентабельними.

У зв'язку з цим проєктувальникам та виробникам нових виробів припадає уніфікувати профілі, і тим самим, втрачати в технічних характеристиках електродвигунів. Варто зауважити, що надійність цього виробу часто визначає безпеку експлуатації технічної системи або машини, від якості експлуатації якого може залежати життя людей.

Здійснений аналіз вимог до технологічних та експлуатаційних властивостей колекторних вузлів встановив, що відсутні чіткі рекомендації до вибору технологічних параметрів обробки бічних поверхонь ламелей (рис. 1).

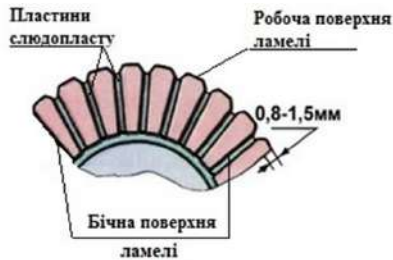


Рис. 1. Схема складання колекторного вузла

Розроблено загальний підхід створення функціонально-орієнтованої технології виготовлення профільних ламелей колектора ДПС [8; 15]. Розглянуто функціональне призначення профільних ламелей та їх елементів. Проведено об'єднання функціональних зон та елементів у модулі, для подальшої спільної їх обробки. Розроблено структуру експлуатаційних функцій ламелей колекторного вузла та граф функціональних елементів за рівнями поділу ламелі. Тому для компенсації похибок куткових розмірів профілю мідних ламелей необхідно реалізувати спеціальні схеми технологічного впливу на бічні поверхні ламелей.

2. Математичне моделювання та оптимізація параметрів процесу струменево-абразивної обробки

Було подано методику та результати теоретичних досліджень процесу струменево-абразивної обробки з використанням математичного моделювання та оптимізації параметрів.

Дискретна природа потоку абразивних частинок зумовлює можливість представлення його у вигляді послідовних одиничних актів контактної взаємодії на елементарну ділянку оброблюваної поверхні. Під елементарною ділянкою поверхні розуміємо досить малу квадратну площадку, що одночасно є досить надійним «представником» усієї поверхні. У випадку пласкої поверхні з прямолінійними межами такою елементарною ділянкою обрана квадратна площадка з розміром сторони, що дорівнює величині базової довжини при дослідженні шорсткості [3; 4; 5].

Отже, величина шорсткості поверхні може бути визначена:

$$R_a = \int r dS, \quad (1)$$

де S – площа оброблюваної поверхні; r – величина шорсткості з елементарної площадки. Тут:

$$r = \sum_{i=1}^N r_i, \quad (2)$$

де N – кількість одиничних актів контактної взаємодії на елементарній площадці; r_i – величина западини шорсткості після одиничного акту контактної взаємодії.

При цьому величина r_i визначається технологічними параметрами процесу, шорсткістю поверхні та її властивостями. Зміна шорсткості поверхні в процесі обробки не повинна бути пов'язана з величиною знімання матеріалу і це враховано при розробці математичної моделі.

В основу математичної моделі процесу обробки потоком абразивних частинок покладена модель одиничного акту контактної взаємодії [7], що дозволяє визначити величину r_i .

З огляду на складний характер процесів, що відбуваються під час обробки потоком абразиву, доцільно відокремити деякі сторони досліджуваного явища, використовуючи певну структуру математичної моделі. Як правило, математична модель має у своєму складі взаємопов'язані елементи, що описують оброблювану поверхню, потік абразивних часток, контактну взаємодію, зміну шорсткості з оброблюваної поверхні.

Особливістю моделі шорсткої поверхні є детермінований характер розташування сегментів на елементарній ділянці [3]. Це дозволяє істотно спростити подальшу побудову моделі контактної взаємодії.

Шорстка поверхня оброблюваного матеріалу моделювалася сукупністю сферичних сегментів, параметри яких підпорядковуються нормальному закону розподілу і визначаються в результаті аналізу профілограм поверхні.

Абразивні частинки потоку моделюються сферами, розміри яких є випадковими величинами, тому відтворюються відповідно до закону розподілу ймовірностей, що відповідає з відсотковим вмістом великій, основній та малій фракції абразивного матеріалу.

$$R = R_{k-1} + [(R_k - R_{k-1}) / (P_k - P_{k-1})] * (\alpha - P_{k-1}), \quad (3)$$

де R_k та R_{k-1} – граничні значення радіусів, відповідні певній фракції частинок;

P_k та P_{k-1} – ймовірності виникнення $(k-1)$ -ої та k -ої фракцій частинок, відповідно; α – псевдовипадкове число з рівномірним (на інтервалі $[0,1]$) законом розподілу ймовірностей.

Показники фізико-механічних властивостей матеріалу абразивних частинок (твердість, щільність, коефіцієнт Пуассона, модуль пружності, міцність на зріз) є випадковими величинами з нормальним законом розподілу ймовірностей, що відтворюються за допомогою датчиків випадкових чисел на комп'ютері. Параметри закону розподілу (математичне очікування та дисперсія) встановлюються за відомими методиками та довідковими даними.

Величина кута атаки α частинки залежить від технологічних особливостей змодельованого процесу обробки. Наприклад, у разі дослідження обробки потоком частинок, сформованим сопловим апаратом, приймаємо, що всі частинки потоку мають однаковий кут атаки. При цьому величина кута може змінюватися в широких межах (практично від 0° до 180°). Кут атаки визначається в обраній системі координат величинами трьох напрямних косинусів.

$$\alpha = \arcsin \frac{\cos z}{\sqrt{\cos^2 \alpha x + \cos^2 \alpha y + \cos^2 \alpha z}}, \quad (4)$$

де αz – кут траєкторії частинки з віссю OZ ; αy – кут траєкторії частинки з віссю OY ; αx – кут траєкторії частинки з віссю OX .

Реальні технологічні особливості процесу текстурування колекторних пластин, зокрема дискретна природа потоку частинок, вказують на необхідність виконання послідовно одиничних актів конкретної взаємодії на елементарній ділянці оброблюваної поверхні [4]. При такому підході зміна шорсткості та оброблюваної поверхні може бути визначена як:

$$Ra_i(Z, V) = \sum_{j=1}^N r(Z, V) \rightarrow \max, \quad (5)$$

де N – кількість одиничних актів контактної взаємодії на елементарній площадці; r – величина лунки після одиничного акту контактної взаємодії; Z – зернистість абразивної частинки; V – швидкість абразивного потоку.

При цьому знімання матеріалу, приймається як обмеження:

$$G_i(Z, V) \rightarrow \min \quad (6)$$

В основу математичної моделі процесу текстурування бічних поверхонь ламелей потоком абразивних частинок покладена модель одиночного акту їх контактної взаємодії.

Для опису контактної взаємодії абразивної частинки, у результаті якого збільшується шорсткість поверхні ламелі без знімання матеріалу – математична модель включає: властивості оброблюваної поверхні, параметри потоку абразивних частинок.

Моделювання контактної взаємодії абразивних частинок з оброблюваною поверхнею здійснювалося у два етапи. На першому етапі визначено положення точки контакту моделі абразивної частинки, розміри якої спочатку більші від шорсткості поверхні; на другому – проаналізовано напружений стан моделі шорсткості.

Проведена імітація величин зернистості абразиву та швидкості потоку за допомогою експериментального планування імітаційних експериментів з моделлю процесу текстурування. Критерій оптимізації – величина шорсткості поверхні елементарної площадки.

3. Експериментальні дослідження процесу струменево-абразивної обробки бічних поверхонь ламелей

Було висвітлено методику та результати експериментальних досліджень процесу струменево-абразивної обробки бічних поверхонь ламелей.

Дослідження здійснювалися в лабораторних і виробничих умовах на натурних зразках мідних профілів колекторних полос. У зв'язку з тим, що у відомих джерелах з досліджень струменево-абразивної обробки матеріалів відомості стосовно міді та її сплавів відсутні, були проведені додаткові експерименти [3] щодо визначення оптимальних параметрів текстурування (рис. 2) колекторних ламелей.

Результати досліджень шорсткості та кількісної металографії подано на рис. 3, 4.

Металографічний аналіз структури мідних зразків було виконано за допомогою оптичного мікроскопа AxioVertA1MAT у режимі світлого поля [7]. Мікроструктура досліджуваних зразків представлено на рис. 3.

Було проведено аналіз мікротвердості вихідного стану мідної ламелі та пластини слюдопласта за допомогою мікронанотвердоміру «Micron-gamma» [17], методом впровадження скретч-тестера рис. 5, 6.

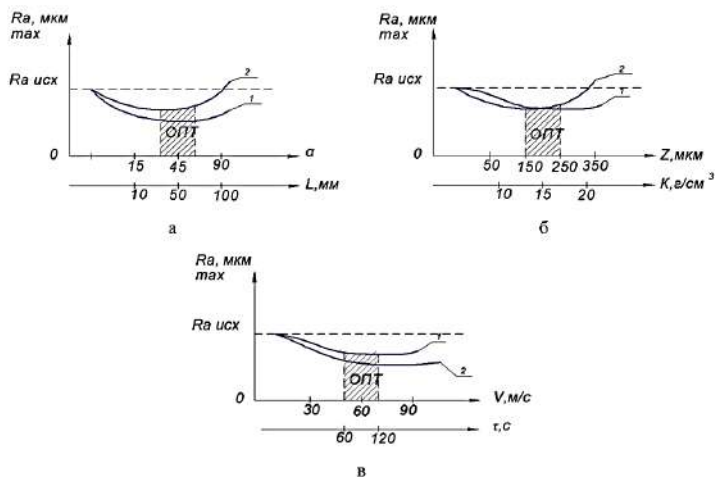


Рис. 2. Типові залежності шорсткості поверхні R_a від параметрів струменево-абразивної обробки: а – від довжини струменя L (1) та від кута нахилу α (2); б – від зернистості Z абразиву (1) та його концентрації K (2); в – від швидкості струменя V (1) та часу обробки τ (2)

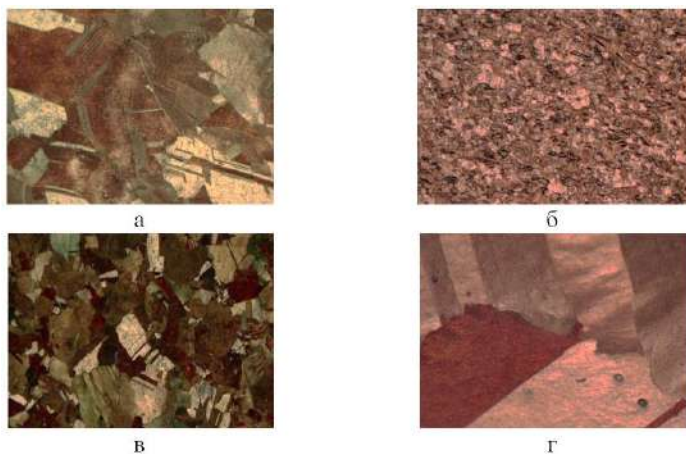


Рис. 3. Мікроструктура міді, $\times 100$: а, в – вихідний, б, г – мідний профіль, а, б – поздовжній напрям, в, г – поперечний напрям

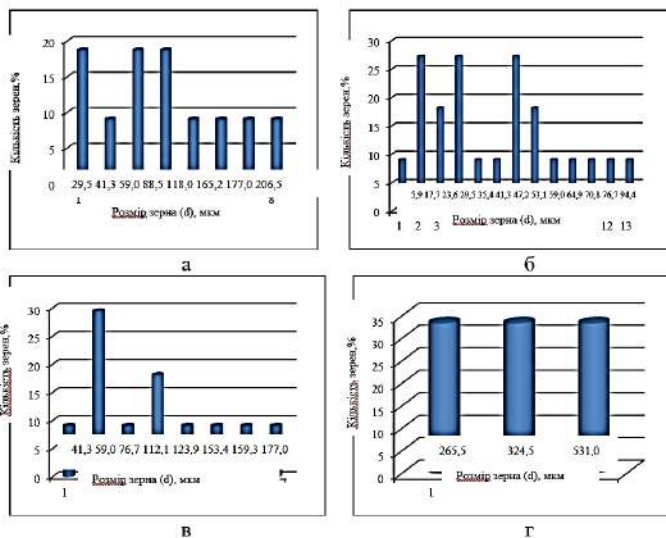


Рис. 4. Результати кількісної металографії за розміром зерна: а, в – вихідний, б, г – мідний профіль, а, б – поздовжній напрям, в, г поперечний напрям

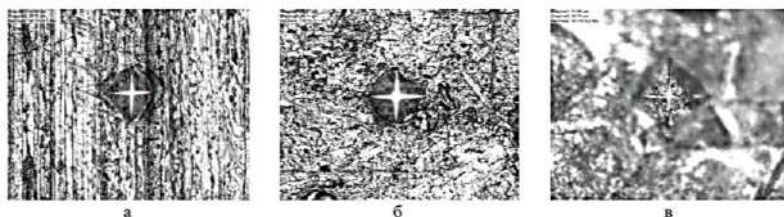
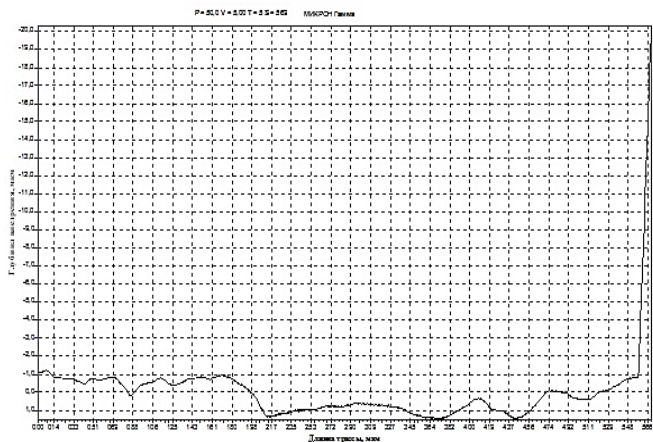
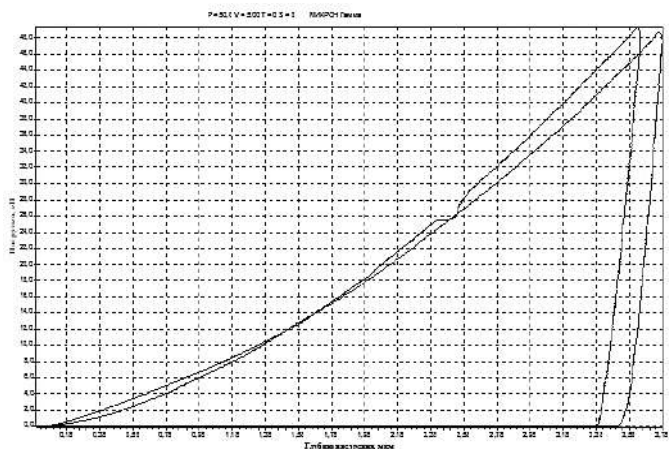


Рис. 5. Результати аналізу мікротвердості вихідного стану мідної ламелі та слюдопласта: а – поздовжній напрям (мідна ламель), б – поперечний напрям (мідна ламель), в – пластина слюдопласта

Здійснено морфологічний аналіз абразивних матеріалів (рис. 7). Чавунний дріб та сополімери представлено сферичною формою, а карбід кремнію чорний та зелений – уламковою.



а



б

Рис. 6. Графіки залежності результатів аналізу мікротвердості:
а – залежність глибинного проникнення від довжини траси, мкм;
б – залежність глибинного проникнення (мкм) від навантаження

Зі збільшенням зернистості абразивного матеріалу висота мікронерівностей різко зростає, оскільки збільшуються розміри лунок, що залишаються на оброблюваній поверхні ламелей абразивними частинками. Морфологічний скан-аналіз поверхні,

обробленої різним абразивним матеріалом ККЧ, ККЗ, ДЧЛП, КУ-2-8 подано на рис. 8.



Рис. 7. Морфологічний аналіз досліджуваних абразивних матеріалів: а – ККЧ, б – ККЗ, в – ДЧЛП (ЧС5), г – КУ-2-8 (фракція 1,5 мм), д – КУ-2-8 (фракція 0,5мм)

Підтвердженням цього слугують профілограми поверхонь, оброблених абразивними матеріалами різної зернистості (рис. 9).

4. Дослідження контактної взаємодії бічних поверхонь мідних ламелей з пластинами слюдопласту

Подано методику та результати досліджень контактної взаємодії бічних поверхонь з пластинами слюдопласта. Через відсутність єдиної методики випробувань контактної жорсткості, вирішення завдання підвищення монолітності колекторного вузла здійснювалося в лабораторних і виробничих умовах на натурних зразках методом безпосередніх вимірювань параметрів запресування пакета в кільце [6].

Зроблено розрахунок зусиль обтиску та питомих тисків між ламелями (рис. 10) колекторного вузла та ізоляційними пластинами при запресуванні набраного пакета в технологічне кільце.

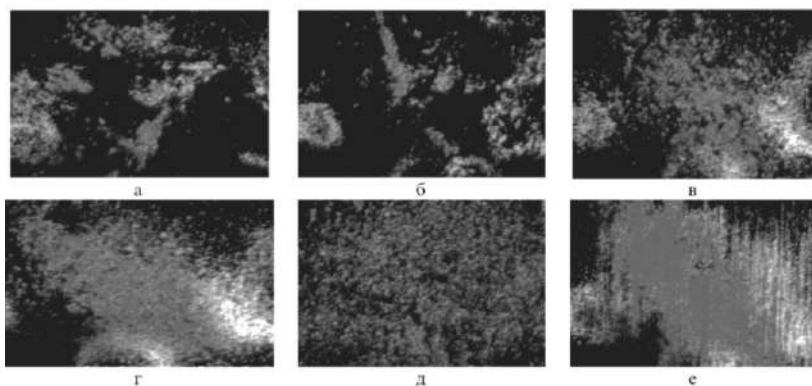


Рис. 8. Морфологічний скан-аналіз поверхні, що оброблена різним абразивним матеріалом: а – ККЧ, б – ККЗ, в – ДЧЛП (ЧС5), г – КУ-2-8 (фракція 1,5мм), д – КУ-2-8 (фракція 0,5мм); е – вихідна ламель

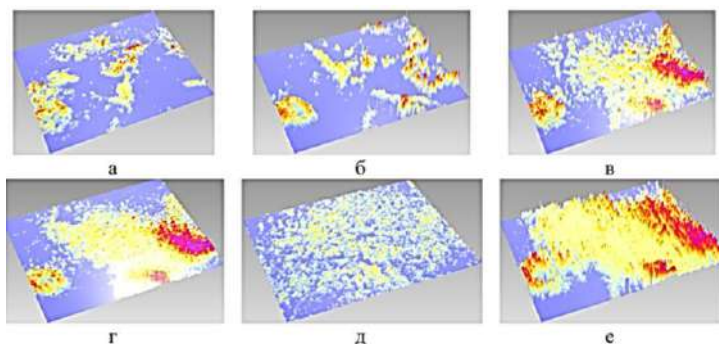


Рис. 9. 3D профілограми поверхні, що оброблена різним абразивним матеріалом: а – ККЧ, б – ККЗ, в – ДЧЛП (ЧС5), г – КУ-2-8 (фракція 1,5мм), д – КУ-2-8 (фракція 0,5мм), е – вихідна ламель

При складанні колекторного вузла та перевірку на контактну жорсткість і, відповідно на зрушення ламелей по ізоляційній пластині, вважають відхилення у товщині ламелі в межах допуску, так і похибки кутових розмірів. Набір у пакет великого числа ламелей призводить до значних відхилень від його розрахункового діаметра (рис. 11).

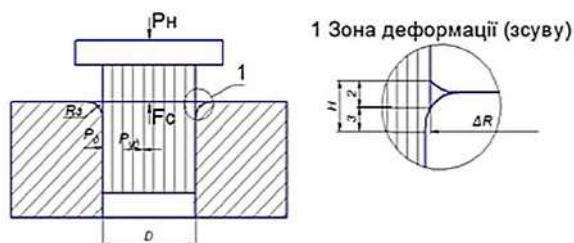


Рис. 10. Схема запресовування набраного пакета в технологічне кільце: 1 – технологічне кільце; 2 – пакет мідних ламелей та пластин слюдопласта

Для запресовування обираються технологічні кільця з розмірами, що забезпечують монолітне обтиснення з виникненням пластичної деформації на бічних поверхнях ламелей глибиною 0,1-0,2мм (рис. 12).

Від сили стиснення P_d при запресовуванні пакета в кільце шляхом розкладання по куту профілю α переходимо до питомому тиску між мідною ламеллю та ізоляційною пластиною, а також застосування сили тертя між ними, знаючи коефіцієнт тертя при заданій шорсткості бічної поверхні ламелі.

Забезпечення арочного розпору вздовж всієї висоти бічної поверхні ламелі з компенсацією допускового відхилення кута профілю, за рахунок змінання отриманої шорсткості подано на рис. 13.

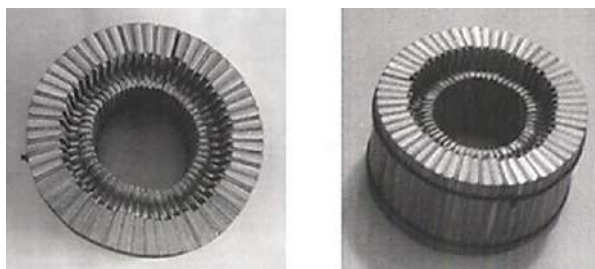


Рис. 11. Зібраний пакет колекторного вузла для запресовування

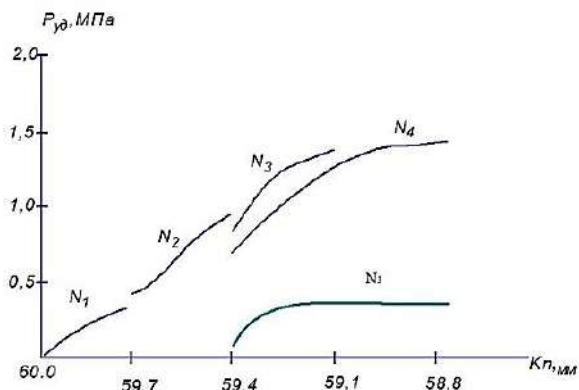


Рис. 12. Залежності сили стиснення при запресовуванні пакета в кільця різних діаметрів: P_{y0} – сила стиснення; N_1 - N_4 – номер кільця для експериментальних пакетів; N_3 – серійна технологія

У партії мідних ламелей відхилення α на $+01'03''$, збігається із зазначеним розрахунком та дозволяє зімкнути поверхні за рахунок зминання та проникнення виступів.

Умова жорсткості на відсутність зсуву ламелей: $F_{тр.бічних\ пов.} > F_{ц.б.} + F_{вибр.} + F_{темпер.}$ або $F_{тр} > K_v \cdot K_T \cdot F_{ц.б.}$, оскільки коефіцієнти сил, що обурюють мають емпіричний характер, пов'язаний із залишковим дисбалансом та робочою температурою.

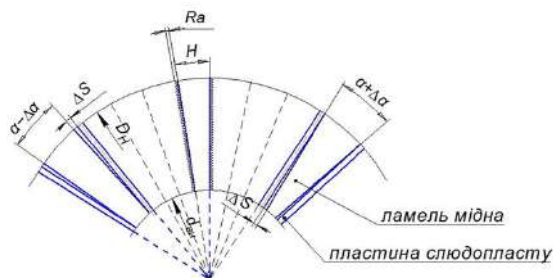


Рис. 13. Схема забезпечення арочного розпору: α – розрахунковий кут ламелі; H – ширина ламелі; R_a – величина шорсткості

Величина зближення двох шорстких поверхонь залежить не тільки від параметрів шорсткості R_a та R_z , а й від радіусів

заокруглення вершин і кутів профілю мікронерівностей, кроку поздовжньої і поперечної шорсткості, їх відношення до R_{max} , параметрів b та ν , характеризують початкову частину опорних кривих тощо.

Тому були проведені дослідження не тільки параметрів мікрогеометрії поверхні, а й форми профілю з використанням опорної лінії (кривої Аббота-Файрстоуна) та кривої щільності розподілу амплітуд (рис. 14).

Крива Аббота-Файрстоуна графічно відображує залежність значень відносної опорної довжини профілю (t_p) та рівня перетину [14].

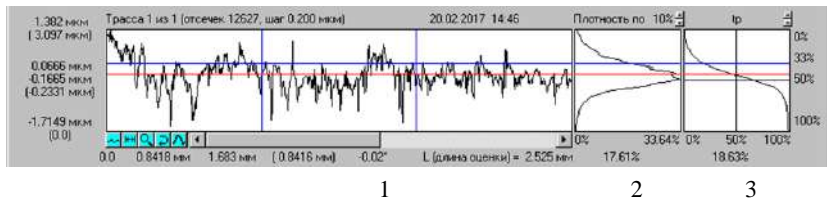


Рис. 14. Графічні елементи профілограми: 1 – довжина оцінки; 2 – крива щільності розподілу амплітуд; 3 – крива Аббота-Файрстоуна

Характеристика t_p містить найбільшу інформацію про висотні властивості профілю, оскільки є аналогічною до функції розподілу (розподіл Гауса).

У поздовжньому напрямі t_p характеризує фактичну площу контакту при контактуванні шорсткуватих поверхонь на заданому рівні перетину. Характеристика t_p досить повно описує форму нерівностей профілю на рівні p , що дозволяє нормувати найважливіші експлуатаційні властивості поверхні, які залежать від висотних властивостей профілю і визначаються формою нерівностей.

У роботі було проаналізовано дванадцять профілограм з визначенням для кожної t_p , R_a , $Щ$. За отриманими даними побудовані графіки розподілу, відповідно до кожного параметра (рис. 15).

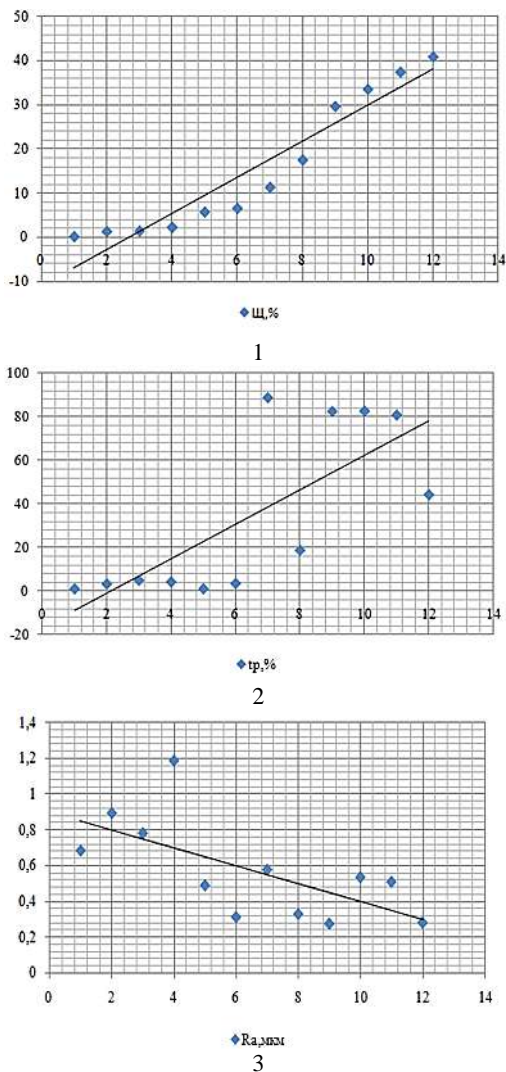


Рис. 15. Графіки розподілу: 1 – щільності розподілу амплітуд (Щ, \%); 2 – відносної опорної довжини ламелі ($t_p, \%$); 3 середнього арифметичного відхилення ламелі ($R_a, \text{мкм}$)

Згідно з отриманими результатами визначено, що при збільшенні щільності розподілу амплітуд збільшується коефіцієнт відносної опорної довжини ламелі та зменшується значення середнього арифметичного відхилення ламелі. Проте розподіл значень за кожним параметром свідчить, що більш-менш залежність мають параметри щільності розподілу амплітуд та середнє арифметичне відхилення ламелі.

На рис. 16 зображено схему з'єднання двох суміжних пластин колекторного вузла електричної машини, що складається з мідних колекторних ламелей 1, ізоляційних (слюдопластових) пластин 2, спресованих арочним розпором з компенсацією зазорів між ними за допомогою текстурованих бічних поверхонь ламелей 3.

Колектор електричної машини містить мідні колекторні ламелі 1 з текстурованою поверхнею довільного мікрорельєфу 3, шорсткість якого перебуває в межах $Ra=6,3-12,5\mu\text{m}$, що не перевищує 0,5 допуску на розмір профілю та стандартних слюдопластових пластини 2 [18].

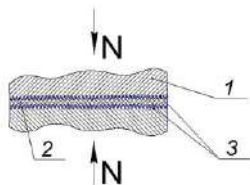


Рис. 16. Схема з'єднання двох суміжних мідних ламелей колекторного вузла

Під час запресування пакету текстурованих мідних колекторних ламелей з ізоляційними пластинами в колекторний вузол з арочним розпором відбувається впровадження виступів мікронерівностей мідних колекторних ламелей у слюдопластові пластини, їх зминання, заповнення западин, що сприяє підвищенню сили тертя спокою, яка забезпечує нерухомість між мідними колекторними ламелями та пластинами слюдопласта.

Сила тертя спокою зберігає взаємну нерухомість мідних колекторних ламелей та слюдопластових пластин і повинна бути більшою за динамічні впливи і механічні навантаження, що виникають внаслідок високих окружних швидкостей.

$$F \leq F_0 = f_0 N, \quad (7)$$

де F_0 – сила тертя спокою; N – сила тиску при арковому з'єднанні; f_0 – коефіцієнт тертя спокою.

Результати дослідження доводять, що бічні несучі поверхні мідних ламелей, профіль яких було отримано холодним деформуванням, мають коефіцієнт тертя спокою в середньому 0,247 при шорсткості поверхні $Ra=0,6\text{мкм}$. За таких умов зусилля запресовування мідних колекторних ламелей та шлюдопластових пластин у колекторний вузол становить 1,0МПа. При досягненні шорсткості бічних несучих поверхонь $Ra=6,3-12,5\text{мкм}$ та збереженні граничних розмірів товщини мідного профілю, коефіцієнт тертя спокою склав 0,7-0,9. У цьому випадку зусилля запресовування складо 2,0-2,5МПа.

Суттєва перевага мідних колекторних пластин з текстурованою бічною поверхнею полягає в тому, що вона допускає виготовлення профілю трапецеїдальної форми перетину з меншою точністю, що полегшує виробництво.

5. Практичне використання результатів дослідження у виробничих умовах

Висвітлено результати виробничих випробувань колекторних вузлів та зібраних електродвигунів постійного струму, розрахунок техніко-економічної ефективності використання електродвигунів та результати їх промислового впровадження.

На підставі аналітичних та експериментальних досліджень була виготовлена дослідна партія колекторних вузлів у виробничих умовах. У цій партії три вузли виготовлялися з текстурованих мідних ламелей, а три контрольних – відповідно по заводській технології. В результаті випробувань на розгін отримано збільшення монолітності дослідних колекторів на 50%.

З дослідними колекторами виготовлені якоря ДП-0,18.500-01 за серійною технологією, проведена збірка електродвигунів ДП-0,25 та проведені контрольні випробування електродвигунів на надійність, методом повторно-короткочасного включення-виключення, у кількості 40 000 циклів при номінальному навантаженні на валу. Перед початком випробувань проведено замір висоти щіток з точністю до 0,01мм. Після випробувань проведено перевірку на зсув (перепад) ламелей в колекторному вузлі рис. 17, що довело (по зрівнянню з серійними колекторними вузлами) зменшення перепаду ламелей на 25-35%.

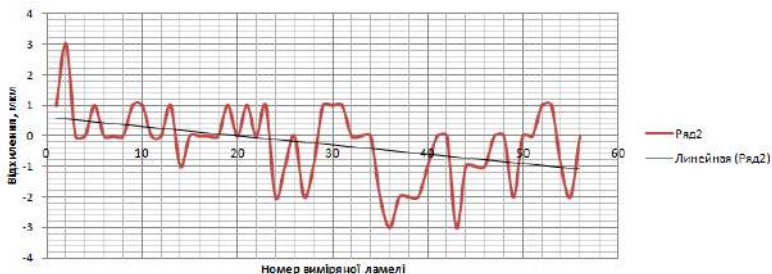


Рис. 17. Графік перепаду ламелей на колекторному вузлі після ресурсних випробувань

Дослідний електродвигун після ресурсних випробувань, розбирання та дефектації знаходиться в задовільному стані, відповідає в повному обсязі технічним умовам, що свідчить про збільшення життєвого циклу на 30%.

Висновки

У роботі вирішена актуальна наукова задача обґрунтування раціонального способу підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів на основі покращення технології виготовлення ламелей для збільшення життєвого циклу двигунів постійного струму.

1. Проведений аналіз вимог до технологічних та експлуатаційних властивостей колекторних вузлів встановив що відсутні чіткі рекомендації по вибору технологічних параметрів обробки. Результатом здійснених аналітичних досліджень обробок бічних поверхонь ламелей колекторних вузлів стало визначення оптимальних режимів, що дозволило отримати шорсткість поверхонь довільного мікрорельєфу величиною 0,5 допуску на розмір ламелі згідно з конструкторською документацією.

2. В роботі розроблена методика для створення функціонально-орієнтованої технології виготовлення профільних ламелей колектора ДПС. Розглянуто функціональне призначення профільних ламелей та їх елементів. Проведено об'єднання функціональних зон та елементів в модулі, для подальшої їх обробки, тому для компенсації похибок куткових розмірів профілю мідних ламелей реалізовані спеціальні схеми технологічного впливу на бічні поверхні ламелей.

3. Розроблено універсальний підхід, заснований на визначенні шуканих залежностей та вирішенні задачі оптимізації технологічних параметрів процесу обробки в результаті імітаційного моделювання. В основу математичної моделі процесу текстурування бічних поверхонь ламелей потоком абразивних частинок покладена модель одиничного акта їх контактної взаємодії. За допомогою моделювання потоку абразивних частинок визначено, що кількість відтворених при моделюванні абразивних частинок, тобто кількість актів одиничного контактної взаємодії обумовлено концентрацією абразивного матеріалу в потоці, величиною витрат в одиницю часу через зріз сопла, співвідношенням величин площ сопла і елементарної площадки, а також часом та маршрутом переміщення сопла по поверхні, яка оброблювалась.

4. За результатами порівняльного металографічного аналізу структури вихідної міді в поздовжньому і поперечному напрямках визначено відмінність в розмірі зерна мідного профілю в поздовжньому і поперечному напрямках пов'язана з наявністю зональної нерівномірності протікання процесів рекристалізації, що викликано нерівномірними температурними полями, неоднорідними умовами перебігу металу, локальним характером деформації. Дослідження експериментальних зразків, отриманих різними формоутворюючими технологіями, дозволили встановити вплив технологічних режимів формоутворення профілю на макрота мікрогеометричні відхилення, структуру матеріалу, твердість та інші показники якості.

За результатами фракційного та морфологічного аналізів абразивного матеріалу для текстурування поверхні мідних ламелей методом струменевої обробки запропоновано використання карбіду кремнію чорного.

Експериментальні підтвердження імітаційного моделювання дозволили внести корегування у конструкцію експериментальної струменево-абразивної установки для оздоблювально-формуєчої обробки бічних поверхонь колекторних ламелей, що в свою чергу дозволило збільшення коефіцієнта тертя спокою в початковому стані з 0,25 до отриманих значень на зразках 0,67-0,94 та підвищити жорсткість колекторного вузла при експлуатаційних навантаженнях.

Результати дослідження показали, що бічні поверхні мідних ламелей, профіль яких було отримано холодним деформуванням,

мають коефіцієнт тертя спокою в середньому 0,247 при шорсткості поверхні $Ra=0,6\text{мкм}$. При досягненні шорсткості бічних несучих поверхонь $Ra=6,3-12,5\text{мкм}$ та збереженні граничних розмірів товщини мідної ламелі, коефіцієнт тертя спокою склав 0,7-0,9 із зусиллям запресовування 2,0-2,5МПа.

5. В результаті проведених експериментальних та аналітичних досліджень струменево-абразивної обробки бічних поверхонь дослідних ламелей колекторних вузлів було визначено можливість компенсації відхилення кута колекторної ламелі та впровадження виступів шорсткості в межах 5-10мкм, що відповідає куту $0^{\circ}01'$ після текстурування та збільшенні шорсткості, при інших рівних вимогах, дозволило збільшення питомого тиску при запресовуванні між мідними ламелями та пластинами слюдопласту в 2 рази та отримати шорсткість поверхонь довільного мікрорельєфу з величиною 0,5 допуску на розмір ламелі, згідно конструкторській документації.

6. Дослідний електродвигун після ресурсних випробувань (відпрацювання 40000 включень-виключень при повному навантаженні на вал), розбирання та дефекації знаходиться в задовільному стані, відповідає в повному обсязі технічним умовам.

В результаті проведених промислових випробувань дослідних колекторних вузлів з ламелями, які оброблено струменево-абразивною технологією отримано збільшення монолітності дослідних колекторів на 50% та показав, що в дослідних двигунах радіальні переміщення ламелей, які призводять до виходу з ладу колекторного вузла значно менші, ніж в серійних двигунах, тим самим збільшується ресурс роботи електродвигуна майже на 25-35%.

Література:

1. Абрамов С.О. Підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів на основі покращення технології виготовлення ламелей: дис...канд. техн. наук: 05.02.08 / Національна металургійна академія України. Дніпро, 2019. 186 с.

2. Электротехнические материалы: справочник / В.В. Березин и др. М.: Высшая школа, 1983. 504 с.

3. Abramov Serhii, Serdiuk Tetiana, Synytsina Yuliia, Gryshin Volodymyr, Babiak Mykola. Texturing the lamellae of the collector of electrical machines. Conference Proceedings. *UKRCON-2019*: mater.

IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, m. Lviv, 02-06 July 2019. Lviv, 2019. S. 634-640.

4. Гришин В.С., Абрамов С.О. Моделювання текстурування поверхонь колекторних пластин. *Системные технологи.* 2019. № 3(122). С. 59-71.

5. Grishin V., Abramov S. The forming processing of copper profiles by method of hot extrusion as technical system. *Системные технологи.* 2015. № 2(97). С. 25-32.

6. Абрамов С.О. Обґрунтування абразивного матеріалу для активації поверхні мідної ламелі струменево-абразивним методом. *Наукові нотатки.* 2019. № 66. С. 10-17.

7. Пройдак Ю. Оценка микроструктуры медных профилей после формирующей обработки / Ю. Пройдак, С. Абрамов, В. Гришин *Inzynieria Produkcji strona spoleczna I przemyslowa: coll. monog.* Częstochowa. 2015. S. 137-144.

8. Пройдак Ю. Функционально-ориентированный подход к технологическим процессам изготовления профиля пластины коллектора / Ю. Пройдак, С. Абрамов, В. Гришин, Я Синицин *In ynieria procesów produkcji wybrane aspekty: coll. monog.* Częstochowa. 2016. S. 49-54.

9. Проволоцкий А.Е. Имитационное моделирование процесса обработки штоком абразивных частиц /А.Е. Проволоцкий, А.Г. Ясев, В.С. Гришин, И.А. Маринченко *Машиностроение.* 1987. № 4. С. 112-117.

10. Абрамов С.А., Гришин В.С. Особенности изготовления коллекторных пластин для двигателей постоянного тока, применяемых в авиастроении. *Машинобудування України очима молодих: зб. наук. праць всеукр. мол. наук.-техн. конф., м. Суми, 27-31 жовт. 2014р.* Суми, 2014. С. 3-4.

11. Гришин В.С., Абрамов С.А. Анализ точности формы коллекторных пластин с учетом технологической наследственности. *Актуальні питання аграрної науки: мат. VI міжн. наук.-практ. конф., м. Умань, 15 листоп. 2018 р.* Умань, 2018. С. 240-242.

12. Абрамов С.А., Гришин В.С., Морозенко Е.П. Синтез технологий, обеспечивающих долговечность коллекторного узла. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні: зб. наук. пр. міжн. наук.-техн. конф., Дніпро, 27-29 берез. 2018 р.* Дніпро, 2018. С. 4.

13. Абрамов С.А., Гришин В.С. Повышение эксплуатационных свойств коллекторных узлов за счет качества сопряжения. *Сучасні технології промислового комплексу*: зб. наук. пр. міжн. наук.-практ. конф., м. Херсон, 12-17 верес. 2017 р. Херсон, 2017. С. 261-263.

14. Абрамов С.О., Воронищева К.А. Взаємозв'язок між площиною контакту ламелей та гібридними параметрами шорсткості. *Механіка машин – основна складова прикладної механіки*: зб. наук. пр. всеукр. наук.-техн. конф. м. Дніпро, 11-13 квітня 2017 р. Дніпро, 2017. С. 255-256.

15. Абрамов С.А., Гришин В.С. Функционально-ориентированный поход к технологическим процессам обработки профиля пластины коллектора. *Сучасні наукові дослідження та розробки: теоретична цінність та практичні результати – 2016*: мат. міжн. наук.-практ. конф., м. Братислава, 15-18 берез. 2016 р. Братислава, 2016. С. 10-11.

16. Абрамов С.А., Гришин В.С. Влияние формирующей обработки на структуру медных ламелей. *Розвиток національної економіки: теорія і практика*: зб. наук. пр. міжн. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 03-04 жовт. 2015 р. Івано-Франківськ, 2015. С. 24-26.

17. Игнатович С.Р., Закиев И.М., Борисов Д.И., Закиев В.И. Методика исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов при усталости с использованием многофункционального прибора «Микрон-гамма». *Авиационно-космическая техника и технология*. 2004. № 8 (16). С. 163-166.

18. Колектор електричної машини: пат. 129087 Україна, МПК51 Н01R39/04, Н02К13/04, Н02К23/00. № u201802904; заявл. 22.03.18; опубл. 25.10.18, Бюл. № 20. 4 с.

Литвиненко В. М.

кандидат технічних наук, доцент

Херсонський державний аграрно-економічний університет

м. Херсон, Україна

Бабушкіна Р. О.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Херсонський державний аграрно-економічний університет

м. Херсон, Україна

ПОКРАЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КРЕМНІЄВИХ ДІОДІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАЦІЙ ГЕТЕРУВАННЯ ТА МЕТОДІВ ЗАПОБІГАННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВИХ ЕФЕКТІВ

У статті розглянуто дослідження, яке присвячене аналізу причин деградації зворотних характеристик кремнієвих діодів у технологічних процесах їх виготовлення та розробці технологічних методів, у тому числі і методів гетерування, направлених на підвищення виходу придатних приладів. З метою виявлення причин деградації зворотних характеристик діодів, проаналізовані технологічні маршрути виготовлення кремнієвих діодів Шотткі, варикапів та імпульсних діодів. Освітлені результати аналізу причин погіршення електричних параметрів діодів в процесі їх виготовлення. Розглянуті фізичні явища на поверхні напівпровідника та їх вплив на зворотні струми діодів. Приведені експериментальні результати використання методів гетерування в технології кремнієвих діодів. Встановлена природа можливих механізмів деградації зворотних характеристик діодних структур в залежності від виду структурних дефектів і небажаних домішок в їх активних областях. Особливу увагу в роботі приділено оптимізації технології виготовлення структур кремнієвих діодів, направленої на покращення їх електричних параметрів та підвищення виходу придатних приладів.

Вступ

Основним, базовим матеріалом електроніки є кремній. З використанням кремнієвих підкладок виготовляється близько 95% усіх напівпровідникових приладів. У реальних кристалах

є елементарні дефекти, що впливають на їх властивості. Структурні дефекти, особливо декоровані домішками, негативно впливають на електричні параметри напівпровідникових приладів і інтегральних схем і їх надійність.

Сучасні напівпровідникові прилади і інтегральні мікросхеми є надзвичайно складними пристроями, окремі компоненти яких мають розміри не більше за долю мікрметра. Виготовлення таких пристроїв здійснюється на монокристалічних напівпровідникових пластинах.

Найважливіші властивості напівпровідникових матеріалів і структур на їх основі визначаються наявністю домішок і структурної недосконалості в кристалах. Причому небажані домішки і дефекти можуть з'являтися не лише на стадії отримання матеріалів, але і в технологічних процесах виготовлення напівпровідникових приладів і інтегральних мікросхем на їх основі.

Вплив дефектів і домішок, в першу чергу, позначається на зворотній гілці ВАХ діода, тому що зворотні струми відносно малі. Рівень зворотних струмів кремнієвих діодів визначається багатьма чинниками, а саме: досконалістю епітаксимальної структури, технологічними режимами формування $p-n$ переходу, електричними характеристиками захисних покриттів, матеріалом і режимами отримання омічних контактів, станом поверхні $p-n$ переходу.

У сучасній технології виробництва напівпровідникових приладів для усунення структурних дефектів з активних областей приладів застосовують ефективні методи гетерування. Гетерування – процес витягування домішок з різних частин монокристала в області їх стоку. Такими областями можуть служити, приміром, ділянки скупчення дефектів, введені в кристал спеціальними способами.

Багато методів гетерування дефектів і домішок, приведені в літературі, не узгоджуються з технологічними маршрутами виготовлення напівпровідникових приладів, що утрудняє їх застосування. Інші, пропоновані методи гетерування, не дають високу результативність при їх використанні для усунення структурних дефектів з активних областей приладів. У зв'язку з цим з'явилася необхідність розробки ефективних і технологічних методів гетерування структурних дефектів і небажаних домішок в кремнії.

Поверхневі ефекти також істотно позначаються на деградації зворотних характеристик діодів. До теперішнього часу розроблено ряд методів для запобігання впливу поверхневих ефектів на зворотні струми кремнієвих діодів, проте завдання розробки таких методів набагато складніше і вимагає обліку як технологічних, так і конструктивних особливостей кожного конкретного типу діодів.

В результаті проведених досліджень, проаналізовані явища впливу структурних дефектів і домішок на зворотні характеристики кремнієвих діодів, розроблені методи зниження щільності структурних дефектів в активних областях діодів із застосуванням гетерування та методи запобігання впливу поверхневих ефектів на зворотні струми діодів.

1. Використання методів гетерування структурних дефектів і домішок в технології діодів Шотткі

1.1. Зниження рівня зворотних струмів структур діода Шотткі за рахунок імплантації іонів аргону в зворотну сторону пластини

Діоди Шотткі (ДШ) широко використовуються в багатьох областях електроніки в якості випрямних діодів малої та середньої потужності та в якості імпульсних діодів. Цілеспрямоване використання ДШ як імпульсного діода пояснюється тим, що ДШ – уніполярні прилади, в яких відсутнє явище інжекції неосновних носіїв заряду. Це дозволяє підвищити швидкодю діодів у порівнянні з імпульсними діодами на основі р-п переходів, у яких швидкодія обмежена явищем «розсмоктування» неосновних носіїв заряду при перемиканні його з прямого у зворотний напрям [1]. Однак слід відмітити, що вартість ДШ залишається порівняно високою, що пов'язано з низьким виходом придатних діодів. Це пояснюється високим рівнем зворотних струмів ДШ і низькими у порівнянні з р-п переходами пробивними напругами. Ці явища пов'язані із суттєвою залежністю зворотних струмів ДШ від якості поверхні діодних структур та впливом на них структурних дефектів та сторонніх домішок [2].

З метою зменшення щільності структурно-домішкових дефектів використовуються різні методи гетерування [3], але як показала практика, багато з існуючих методів гетерування

являються малоефективними при їх використанні для зниження рівня зворотних струмів діодів, а деякі з методів гетерування «не вписуються» в технологічний маршрут виготовлення напівпровідникового приладу. У зв'язку із цим доцільна розробка технологічних прийомів гетерування індивідуально для кожного типу технологічного маршруту виготовлення напівпровідникового приладу з обліком його індивідуальних особливостей. Це дозволяє істотно підвищити ефективність гетерування і, отже, значно збільшити вихід придатних діодів. Тому в цьому є й економічна вигода.

Структури досліджуваного діода Шотткі виготовлялись за ізопланарною технологією [4]. Базовий технологічний маршрут виготовлення діодних структур включав наступні основні технологічні операції: стандартну хімічну обробку; послідовне нанесення шарів нітриду і двооксиду кремнію, товщиною відповідно 0,1 і 0,3 мкм; формування методами фотолітографії меза-структур заввишки 0,5 мкм, використовуючи в якості маски круглі ділянки нітриду кремнію діаметром 50 мкм; окислення меза-структур при температурі 1050°C протягом 2,5 г з наступним чергуванням циклів окислюючого середовища: сухий O_2 (10 хв) – пари води (100 хв) – сухий O_2 (10 хв) і завершальним відпалом в атмосфері аргону протягом 30 хв при температурі окислення; товщина вирощеного захисного шару SiO_2 (рис. 1); видалення плівки нітриду кремнію з контактних майданчиків проводять триманням структур в киплячій ортофосфорній кислоті (час травлення 30 хвилин), заздалегідь витримавши структури в травнику $HF + H_2O = 1 : 20$ протягом 20с (на випадок наявності тонкої плівки SiO_2 на поверхні нітриду); осаження методом вакуумного термічного випаровування шару молібдена (Mo) товщиною 0,3 мкм і формування методами фотолітографії випрямляючого контакту діаметром 60 мкм; шліфівка пластини з боку підкладки до товщини 180...200мкм; формування омічного контакту зі зворотної сторони пластини послідовним нанесенням шарів титану (Ti), нікелю (Ni) (методом вакуумного термічного випаровування) і золота (Au) (методом гальванічного осадження).

У результаті було отримано структуру діода Шотткі, що наведена на рис. 1.

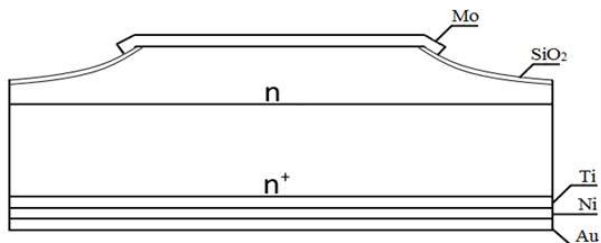


Рис. 1. Структура діода Шотткі, що виготовлена за базовою технологією

Проведені дослідження відбракованих непридатних по зворотному діодних структур показали наявність в їх активних областях окислювальних дефектів упаковки (ОДУ) щільністю 10^4 - 10^5 см⁻². Виявлення структурних дефектів проводилось за допомогою селективного травлення структур в реактиві Сіртла на протязі від 10 до 180 с.

Встановлення виду структурних дефектів і оцінка їх щільності проводились за допомогою металографічного мікроскопу МЕТАМ-1. Щільність дефектів визначалась за формулою:

$$N = n / S ,$$

де N – щільність дефектів;

n – середнє арифметичне кількості дефектів на п'яти ділянках;

S – площа поля зору в окулярі мікроскопа.

Мікрофотографія поверхні однієї із досліджувальних діодних структур після селективного травлення в реактиві Сіртла на протязі 30 с приведена на рис. 2.



Рис. 2. Поверхня діодної структури з виявленими ОДУ

Для запобігання утворення ОДУ необхідно було вибрати ефективний метод гетерування, який би органічно вписався в технологічний маршрут виготовлення діода. Так як ОДУ утворюються, починаючи з першої високотемпературної операції – термічного окислення, то очевидно, що необхідно використовувати гетерування уже з самого початку технологічного маршруту виготовлення діода. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним для подавлення ОДУ являється метод створення гетеруючої області на зворотній стороні пластини за допомогою імплантації іонів аргону в зворотний бік пластини з послідуєчим відпадом пластин в суміші азоту і кисню перед осадженням шарів нітриду кремнію [5].

Область гетера на зворотному боці пластини була сформована за допомогою імплантації іонів аргону в зворотну сторону пластини з енергією 100 кеВ, дозою $5 \cdot 10^{15} \text{см}^{-2}$ на установці «Везувій-5» і послідуєчий відпал пластин в суміші азоту (130 л/г) і кисню (6 л/г) при температурі $T=1100^\circ\text{C}$ на протязі 3г.

Для випробування запропонованого способу виготовлення діода Шоттки були сформовані експериментальні партії, кожна з яких ділилася на дві частини: одна частина партії була виготовлена відомим способом, інша – запропонованим способом. Ефективність використання запропонованого способу оцінювалася по відсотку виходу придатних діодних структур при їх розбраковці по зворотному струму ($I_{зв}$). Критерій придатності: $I_{зв} \leq 1 \text{ мкА}$ при зворотній напрузі 15 В. Залежність виходу придатних діодних структур по зворотному струму від способу їх виготовлення приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вплив гетерування на зворотні струми діодів

Спосіб виготовлення діода Шоттки	Номер експериментальної партії	Вихід придатних діодних структур по зворотному струму, %
Запропонований спосіб виготовлення	1	97
	2	98
	3	97
Відомий спосіб виготовлення	1*	89
	2*	90
	3*	89

Як видно використання запропонованого способу виготовлення діода Шотткі дозволяє підвищити вихід придатних структур по зворотному струму на 8 %. При цьому діодні структури, виготовлені запропонованим способом, мали рівень зворотних струмів в 3 – 10 разів нижчий у порівнянні із структурами, виготовленими відомим способом.

Ефективність розробленої технології полягає в тому, що у процесі високотемпературного відпалу на зворотній стороні пластини формується гетеруючий шар, який поглинає в собі небажані домішки металів та зародки структурних дефектів, які утворились в кремнії при вирощуванні злитків та в процесі епітаксії. В процесах осадження плівок нітриду та двоокису кремнію сформований на зворотній стороні пластини гетер продовжує очистку об'єму пластин від домішок металів та зародків окислювальних дефектів упакування. Це в великій мірі запобігає утворенню ОДУ при проведенні високотемпературних термічних операцій – термічного окислення та загонки бору. Також у процесі проведення високотемпературних процесів ліквідуються раніше утворені дефекти за рахунок дії сформованого на зворотній стороні пластини гетеруючого шару.

1.2. Розробка методу гетерування на основі сильнолегованих бором областей охоронного кільця в технології діодів Шотткі

Технологія виготовлення діода Шотткі з охоронним кільцем [6] дає можливість суттєво поліпшити захист переходу метал – напівпровідник від можливого поверхневого пробоя. Однак, незважаючи на використання сучасних технологій і високоякісних матеріалів для обробки структур діода, не вдається істотно підвищити їхній вихід. Причиною цього є неконтрольовані домішки, що попадають на структури діода Шотткі в процесах високотемпературних обробок [3].

Згідно базової технології виготовлення діода область охоронного кільця формується проведенням дифузії бору в дві стадії: загонка бору і розгонка бору для отримання необхідної глибини залягання p^+ - n переходу області охоронного кільця. Розгонка бору проводиться в окислювальному середовищі, тому в процесі проведення цієї операції є велика вірогідність утворення в кремнії ОДУ [7]. Крім того проведення розгонки бору в окислювальному середовищі призводить до значного погіршення якості раніше сформованого захисного шару двоокису кремнію

(тобто до збільшення позитивного заряду в ньому). Наслідком цього є значне зниження рівня пробивної напруги $p^+ - n$ переходу області охоронного кільця і збільшення рівня зворотних струмів діодних структур з бар'єром Шотткі.

Для з'ясування причини погіршення зворотних характеристик діодів після розгонки бору були проведені металографічні дослідження. З цією метою після проведення процесу розгонки бору і видалення оксиду з робочих вікон в розчині плавикової кислоти, пластини були піддані селективному травленню в реактиві Сіртла впродовж 12-15 сек. При використанні металографічного мікроскопа МИМ- 7 в активних областях діодних структур були виявлені ОДУ. Щільність дефектів складала $10^3 \dots 10^5 \text{ см}^{-2}$.

Багато з існуючих способів гетерування структурних дефектів і домішок в кремнії часто не вписуються в той або інший технологічний маршрут виготовлення напівпровідникового приладу і тому є для нього неефективними. У зв'язку з цим доцільна розробка технологічних прийомів гетерування індивідуальна для кожного типу технологічного маршруту виготовлення напівпровідникового приладу з урахуванням його індивідуальних особливостей [3]. Це дозволяє істотно підвищити ефективність гетерування і, значно збільшити вихід придатних діодів. Спираючись на результати аналізу базової технології виготовлення діода, необхідно було розробити ефективний метод гетерування домішок і структурних дефектів в активних областях діодів. У зв'язку з цим, було проведено коригування базової технології виготовлення діода Шотткі з охоронним кільцем.

Відомо [6], що пробивна напруга області охоронного кільця діода Шотткі визначається або товщиною епітаксійної плівки, або кривизною периферійних ділянок охоронного кільця. У значно меншому ступені величина пробивної напруги охоронного кільця (у ідеальному випадку без урахування дефектів) залежить від рівня його легування бором. З іншого боку, відомо [3], що області леговані бором можуть проявляти гетеруючі властивості. При цьому, чим вище рівень легування охоронних областей бором, тим краще їх гетеруючі властивості з точки зору захоплення і утримання швидкодіфундуючих домішок. В процесі загонки бору його поверхнева концентрація в легованому шарі дорівнює граничній розчинності бору в кремнії при температурі загонки і в приповерхневому шарі легованої області має місце механічна

напруга стискування. У таких шарах окислювальні дефекти упакування не утворюються, навіть якщо поверхня кремнію при цьому окислюється. У об'ємі кремнію на глибині близько мікрона починається область кремнію (у тому числі і легована бором), що знаходиться в стані механічного розтягування. У цій області є усі умови для утворення і зростання окислювальних дефектів упакування. Проте, в процесі загонки, приповерхневий механічно стислий шар p^+ – кремнію блокує відведення вакансій з об'єму кремнію і запобігає зростанню ОДУ в об'ємі легованої бором охоронної області. Якщо, згідно із стандартним технологічним процесом, видалити боросилікатне скло і виконати розгонку бору в окислювальному середовищі, то через 5-10 хвилин після початку процесу розгонки практично усі міжвузольні атоми бору перейдуть у вузли кристалічної решітки кремнію, усі атоми бору стануть електрично активними і приповерхневий механічно стислий шар кремнію зникне. В результаті уся охоронна область (по глибині) знаходитиметься в стані механічного розтягування. Після цього починають зароджуватися і рости ОДУ. Якщо ОДУ, що утворився, має розміри, сумірні з глибиною залягання p^+ - п переходу області охоронного кільця, то це призводить до збільшуватися рівня його зворотних струмів і зниженню пробивної напруги.

На основі викладених уявлень про фізичні процеси дефектоутворення в технології досліджуваної серії діодів Шоттки, було запропоновано [8] вести розгонку бору так, щоб поверхнева концентрація бору увесь час була близька до граничної розчинності бору в кремнії. Для цього найзручніше вести процес розгонки без попереднього видалення боросилікатного скла в середовищі аргону. В цьому випадку, в процесі розгонки, бор поступово випаровуватиметься з боросилікатного скла, що знижує вірогідність утворення важкорозчинних з'єднань бору з кремнієм. При правильно вибраних режимах, до кінця процесу розгонки, поверхнева концентрація бору має бути тільки на 20-25% нижче граничної розчинності. Механічно стислий приповерхневий шар, при цьому, зникне, але окислювальні дефекти упакування не встигнуть вирости до небезпечних розмірів. Іншою важливою особливістю запропонованої технології виготовлення діода Шоттки з охоронним кільцем являється те, що процес загонки бору можна виконувати з газової фази або з двостороннього джерела бору. В цьому випадку

сильнолегований бором шар утворюватиметься і із зворотного боку підкладки. При цьому різко зростає загальна ефективність гетерування швидкодифундуючих домішок з усього об'єму епітаксильної плівки і підкладки. Область охоронного кільця, незважаючи на підвищення гетеруючої здатності за рахунок надмірного легування бором, має нікчемно малий об'єм в порівнянні з тим об'ємом кремнію, що доводиться на один кристал. Тому області охоронного кільця швидко насичуються швидкодифундуючими домішками і надалі не очищають об'єм кремнію від небажаних домішок. Швидкодифундуючі домішки, які залишилися в об'ємі, осідають під бар'єром Шотткі, що призводить до збільшення зворотного струму діодів. Об'єм p^+ – гетерошару із зворотного боку підкладки в сотні разів перевищує об'єм охоронної області і забезпечує очищення об'єму кремнію від швидкодифундуючих домішок. Гетерошар із зворотного боку підкладки, виконавши свою місію, видається при шліфовці. Розроблена технологія виготовлення діода Шотткі має на увазі проведення розгонки бору без попереднього видалення боросилікатного скла шляхом відпалу пластин в середовищі аргону при температурі від 1000 до 1070°C впродовж 30-70 хв, а подальше видалення боросилікатного скла проводиться в дві стадії: 1) обробка пластин в р-травнику (складається з 15 мл плавикової, 10 мл азотної кислот, 300 мл води); 2) витримка пластин в концентрованій HNO_3 в діапазоні температур 95-115°C впродовж 5-10 хв і наступна обробка пластин в р-травнику.

Проведення процесу розгонки бору без попереднього видалення боросилікатного скла (тобто за наявності на поверхні пластин шару боросилікатного скла) в інертному середовищі практично виключає утворення окислювальних дефектів упакування в кремнії. В процесі розгонки бору, що проводиться в інертному середовищі, здійснюється ефективне гетерування шаром боросилікатного скла структурних дефектів, що раніше утворилися, і домішок, що забруднюють поверхню пластин. При цьому істотно покращуються електричні характеристики захисного шару двоокису кремнію і, як наслідок, покращуються зворотні характеристики $p^+ - n$ переходів областей охоронного кільця і структур діодів Шотткі.

В таблиці 2 приведені результати контролю партій діодів Шотткі виготовлених за базовою та запропонованою технологіями.

Таблиця 2

Результати контролю параметрів структур діода Шотткі

Метод виготовлення діода Шотткі з охоронним кільцем	Номер технологічної партії	Середній рівень напруги пробую р ⁺ - п переходів областей охоронного кільця в технологічній партії ($U_{проб}$), В	Вихід придатних діодних структур, %
Разроблена технологія	1	55	89
	2	53	86
	3	53	88
	4	54	90
	5	52	87
Базова технологія	6	48	83
	7	49	85
	8	45	79
	9	46	82
	10	47	82

Порівнюючи отримані результати, можна зробити висновок про істотне поліпшення зворотних характеристик структур діода Шотткі, виготовлених з використанням гетерування, в порівнянні із структурами діодів, виготовлених за базовою технологією. Застосування розробленої технології дає можливість підвищити рівень пробивної напруги р⁺- п переходів областей охоронного кільця в середньому на 6,4 В і збільшити вихід придатних діодних структур на 5,8%. За розробленою технологією були виготовлені експериментальні партії діода Шотткі і отриманий розподіл по рівнях зворотних струмів діодів (рис. 3). Критерій придатності по зворотному струму складає: $I_{зв} \leq 1 \text{ мА}$ при зворотній напрузі 40В.

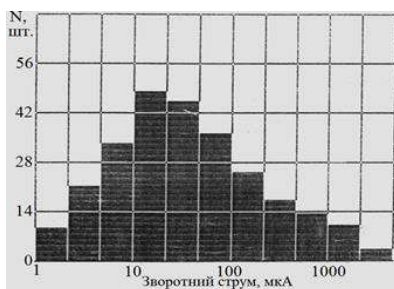


Рис. 3. Гістограма розподілу по рівнях зворотних струмів ДШ, виготовлених відповідно до розробленої технології ($U_{зв} = 40\text{В}$)

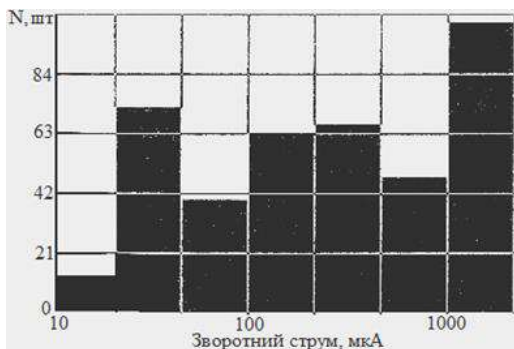


Рис. 4. Гістограма розподілу величини зворотного струму ДШ, виготовлених за базовою технологією, при зворотній напрузі 40В

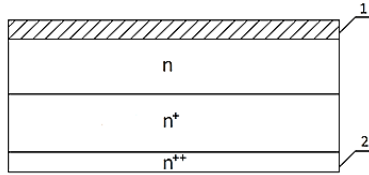
Порівнюючи отриману гістограму (рис. 3) з гістограмою для діодів Шотткі, виготовлених за базовою технологією (рис. 4), можна зробити наступні висновки. Тільки близько 5% випробовуваних діодів мають рівні зворотних струмів, що не задовольняють критерію придатності. Основна маса діодів (біля 2/3 загальної кількості діодів) мають порівняно невисокі рівні зворотних струмів : від 1 до 100мкА. Граничні рівні зворотних струмів (від 100 до 1000 мкА) мають тільки трохи більше 1/5 частини від загальної кількості діодів. Таким чином, розподіл по зворотному струму діодів, виготовлених за запропонованою технологією, значно краще (зменшився середній рівень зворотних струмів діодів), ніж розподіл діодів, виготовлених за базовою технологією, що визначило значне підвищення виходу придатних діодів при використанні розробленої технології.

1.3. Розробка методу гетерування за допомогою іонного легування зворотної сторони пластин фосфором в технології діодів Шотткі з охоронним кільцем

Застосування розробленої технологія виготовлення діодів Шотткі з охоронним кільцем, розглянутої в § 1.2, дає можливість істотно підвищити вихід придатних діодних структур. Проте вона має і істотні недоліки. Гетерування шаром боросилікатного скла структурних дефектів і небажаних домішок в процесі розгонки бору проводиться в середині технологічного маршруту виготовлення діода, а точніше в процесі проведення останньої

високотемпературної технологічної операції. Упродовж технологічного маршруту виготовлення приладу до розгонки бору проводилися такі високотемпературні технологічні операції як термічне окислення пластин і загонка бору. В процесі проведення кожної з цих технологічних операцій можуть утворюватися зародки структурних дефектів і самі дефекти, які призводять до збільшення рівня зворотних струмів діодів і істотного зниження виходу придатних приладів. Тому, очевидно, необхідно додатково проводити операції гетерування на більш ранніх стадіях виготовлення приладу.

Були випробувані різні методи гетерування структурних дефектів, а також були проведені роботи по вибору етапу технологічного маршруту виготовлення діодів Шоттки з охоронним кільцем, на якому слід було проводити процес гетерування. В результаті проведених експериментальних робіт, був вибраний оптимальний варіант гетерування. Розроблена технологія виготовлення діодів Шоттки з охоронним кільцем полягала в наступному [9]. Кремнієві структури n- типу провідності з епітаксійним шаром, легованим фосфором, завтовшки 5,5 мкм і питомим опором 1,1 Ом·см, сформованих на підкладці, легованій сурмою, яка має товщину 350 мкм і питомий опір 0,01 Ом·см, після стандартної хімічної обробки окислюють при температурі 1050°C з наступним чергуванням циклу : відпал в середовищі аргону (15 хвилин) – окислення в парах води (100 хвилин) – відпал в середовищі аргону (30 хвилин). Товщина вирощеного захисного шару двоокису кремнію 1 (рис. 5) складала 0,7 мкм. Далі на зворотному боці пластини проводять формування області гетера наступним чином. На робочу сторону пластин наносять фоторезист ФП383, видаляють плівку двоокису кремнію на зворотному боці пластини за допомогою травлення в плавиковій кислоті, проводять формування області гетера 2 методом іонного легування зворотної сторони пластин фосфором при дозі $7 \cdot 10^{14} - 10^{16} \text{см}^{-2}$ і енергії іонів 100 кеВ. При цьому плівка фоторезисту захищає робочу сторону пластин від забруднення іонами фосфору і інших домішок.



**Рис. 5. Кремнієва структура після формування області гетера:
1 – плівка двоокису кремнія; 2 – область гетера**

Після цього на робочій стороні пластин проводять I фотолітографію – відкривають вікна в шарі двооксиду кремнію під охоронне кільце. Далі після хімічної обробки пластин з метою формування p^+ - n переходу області охоронного кільця проводять першу стадію дифузії бору методом відкритої труби з джерела домішки B_2O_3 при температурі $1050^\circ C$ протягом 30 хвилин в суміші аргону (100 л/г) і сухого кисню (4 л/г) та другу стадію дифузії бору при тій же температурі в середовищі аргону (125 л/г) на протязі 65 хвилин.

Після завершення формування p^+ - n переходу області охоронного кільця проводять видалення боросилікатного скла в розчині плавикової кислоти і II фотолітографію для розкриття вікон під контакт Шотткі. Після хімічної обробки на робочу сторону пластин методом вакуумного термічного випару послідовно осаджують шари молібдену 3 завтовшки 0,08 мкм і нікелю 4 завтовшки 0,12 мкм і проводять за допомогою III фотолітографії формування випрямляючих контактів. Шліфують пластину з боку підкладки (зворотна сторона пластини), зменшивши її товщину до 180-200 мкм, і формують на ній омичний контакт послідовним нанесенням шарів титану 5 завтовшки 0,015 мкм, нікелю 4 завтовшки 0,035 мкм методом вакуумного термічного випару і золота 6 завтовшки 1,5 мкм методом гальванічного осадження, при цьому золото одночасно осідає на обидві сторони пластини.

У результаті виконання всіх цих операцій було отримано структуру діода Шотткі, що наведена на рис. 6.

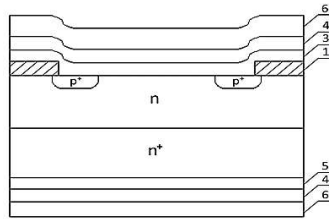


Рис. 6. Структура діода Шотткі з охоронним кільцем, що виготовлена за базовою технологією: 1 – плівка двоокису кремнію; 3 – шар молибдену; 4 – шар нікелю; 5 – шар титану; 6 – шар золота

Для випробування запропонованого способу виготовлення структур з бар'єром Шотткі були сформовані експериментальні партії, кожна з яких ділилася навпіл: одна частина партії була виготовлена відомим способом, інша – запропонованим способом.

Ефективність використання розробленого способу оцінювалася по відсотку виходу придатних діодних структур при їх контролі по зворотному струму ($I_{зв}$). Критерій придатності $I_{зв} \leq 1$ мА при зворотній напрузі 40 В. Порівняльні характеристики запропонованого і відомого способів виготовлення діодних структур приведені в таблиці 3. Отримані результати показали (таблиця 3), що використання запропонованого способу виготовлення діодів Шотткі з охоронним кільцем дозволяє підвищити вихід придатних діодних структур по зворотному струму приблизно на 10 %. При цьому діодні структури, виготовлені запропонованим способом, мали рівень зворотних струмів в 3 – 9 разів нижчий в порівнянні з діодними структурами, виготовленими за базовою технологією.

Ефективність застосування розробленої технології полягає в наступному. Після проведення хімічної обробки початкових кремнієвих пластин і термічного окислення на зворотному боці пластин додатково створюється високолегований фосфором геттерируючий шар проведенням іонної імплантації фосфору. В процесі подальших високотемпературних операцій (першої і другої стадій дифузії бору) відбувається ефективне гетерування домішок металів сформованим на зворотному боці пластин гетеруючим шаром, пригнічуються зародки дефектів упакування, які утворилися в процесах епітаксії і термічного окислення, що великою мірою запобігає утворенню ОДУ в кремнії.

Таблиця 3

Вплив гетерування на зворотні струми діодів

Технологія виготовлення структур діода Шотткі	Номер експериментальної партії	Вихід придатних діодних структур по зворотному струму, %
Розроблена технологія виготовлення	1	97
	2	95
	3	96
Базова технологія виготовлення	1*	85
	2*	87
	3*	85

Дія створеного на зворотному боці пластини гетеруючого шару полягає в тому, що міжвузольні атоми кремнію, які є складовими окислювальних дефектів упакування, що утворились в процесі термічного окислення кремнію, дифундують до утвореної області гетера і захоплюються нею. У результаті цього окислювальні дефекти упакування зменшуються в розмірах, або повністю зникають.

2. Використання методів гетерування структурних дефектів і домішок в технології кремнієвих варикапів

2.1. Покращання параметрів кремнієвого варикапа зі зворотним градієнтом концентрації фосфору в базі за рахунок використання лазерного гетерування

Варикапи широко використовуються в радіоелектроніці в якості змінної ємності, величина якої керується напругою [10]. Основними параметрами варикапа являються його добротність, номінальна ємність, зворотний струм і коефіцієнт перекриття по ємності, який визначає частотний діапазон використання варикапа. Проблемою технології виготовлення варикапів зі зворотним градієнтом концентрації домішки у базі являється значний розкид значень ємності варикапних структур по площі пластини і високі рівні їх зворотних струмів. Проведені дослідження непридатних по зворотному струму структур варикапів показали наявність в їх активних областях високої щільності ОДУ. Після проведення кожної високотемпературної операції на структурах виконувалися металографічні дослідження їх кристалічної структури. Виявлення структурних

дефектів в структурах варикапів проводилося за допомогою їх травлення в реактиві Сіртла на протязі 10...180 с. Встановлення виду структурних дефектів і оцінка їх щільності проводилася за допомогою металографічного мікроскопа МЕТАМ-1. Вже після термічного окислення кремнію в структурах варикапів були виявлені ОДУ щільністю до $10^2...10^3\text{см}^{-2}$. Після останньої високотемпературної операції – загонки бору щільність структурних дефектів зростає до $10^5...10^6\text{см}^{-2}$.

Мікрофотографія поверхні однієї з досліджуваних структур після селективного травлення в реактиві Сіртла впродовж 20 с приведена на рис. 7.

Наявність ОДУ в кремнії викликає в процесі дифузії бору з одного боку нерівномірність глибини залягання р – n переходу по площі пластини, що ще більше збільшує розкид значень ємності варикапних структур по площі пластини, і призводить до збільшення рівня зворотних струмів варикапів з іншого боку. З метою підвищення виходу придатних варикапних структур шляхом зменшення розкиду значень ємності варикапних структур по площі пластини і зменшення рівня їх зворотних струмів були випробувані різні методи гетерування структурних дефектів.



Рис. 7. Поверхня варикапної структури з виявленими ОДУ

Також були проведені роботи по вибору етапу технологічного маршруту виготовлення варикапу, на якому слід було проводити процес гетерування. В результаті проведених експериментальних робіт, був вибраний оптимальний варіант гетерування. Розроблена технологія виготовлення варикапу із зворотним градієнтом концентрації домішки у базі полягала в наступному [11]. На робочу сторону кремнієвої епітаксійної структури n-, легованої фосфором товщиною 8 мкм і питомим опором 20 Ом·см, сформованою на легованій сурмою підкладці n+, яка має товщину 350 мкм і питомий опір 0,01 Ом·см, після стандартної хімічної

обробки наносять плівку фоторезисту ФП383 1 (рис. 8) і проводять формування області гетера 2 на зворотному боці пластин. Плівка фоторезиста захищає робочу сторону пластини від забруднення домішками в процесі формування області гетера на зворотному боці пластини.

Область гетера була сформована за допомогою обробки зворотної сторони пластин лазером при щільності випромінювання 12 Дж/см^2 з подальшим відпалом пластин при температурі 1050°C в середовищі аргону (140 л/ч) і кисню (10 л/ч) упродовж 40 хв. Для обробки кремнієвих пластин використовувався Nd – лазер типу ЛТН- 102 [12]. Довжина хвилі лазерного випромінювання складала $\lambda=1,06 \text{ мкм}$, швидкість сканування лазерного променя по поверхні неробочої сторони пластин – $0,5 \text{ м/с}$.

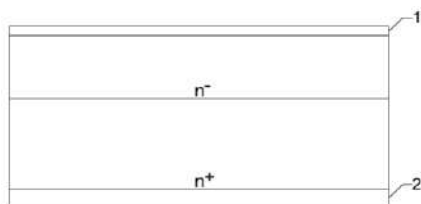


Рис. 8. Кремнієва епітаксіальна структура після формування області гетера 2 на зворотній стороні пластини

Обробка лазером проводилася в режимі теплового потоку при безперервному лазерному випромінюванні, що забезпечувало плавлення кремнію, виключивши його випар. Проведена лазерна обробка призводить до виникнення напруги розтягування в кремнієвій пластині [13]. Подальша термообробка при температурі 1050°C в середовищі аргону і кисню призводить до рекристалізації поверхні зворотної сторони пластини з утворенням сітки дислокацій в області дії лазерного випромінювання. Области порушень кристалічної структури на неробочій стороні пластини є стоком для точкових дефектів-вакансій і атомів швидкодифундуючих домішок металів. Ці дефекти, що мають коефіцієнти дифузії на декілька порядків вищі від коефіцієнтів дифузії легуючих домішок, таких як бор, фосфор або сурма, при термообробці мігрують по об'єму напівпровідникової пластини і, потрапляючи в шар з порушеною кристалічною структурою, осідають на структурних дефектах.

Після формування області гетера і високотемпературного відпалу пластин було проведено видалення захисної плівки фоторезисту, попередньо нанесену на робочу сторону пластин, в сірчано – перекисному розчині.

Для виготовлення варикапних структур проводились наступні основні технологічні операції. Стандартна хімічна обробка пластин і їх окислення при температурі 1323К в парах води впродовж 100 хв і послідовний відпал пластин в середовищі аргону впродовж 30 хв при температурі окислення. Товщина вирощеного шару двоокису кремнію 3 складала приблизно 0,7 мкм. Після цього проводять II фотолітографію для розкриття в оксидній плівці вікон діаметром 1040 мкм, іонне легування фосфором при дозі легування 35 мкКл/см² і прискорюючій напрузі 50 кВ, термообробку пластин при температурі 723К впродовж 50 хв в атмосфері: сухий кисень (20 хв) і аргон (30 хв). Далі після хімічного очищення пластин проводять розгонку фосфору при температурі 1373К впродовж 55 хвилин (10 хв в сухому кисні і 45 хв в аргоні) з утворенням на поверхні кремнієвих пластин плівки фосфоросилікатного скла 4. Проводять II фотолітографію для розкриття вікон в плівці фосфоросилікатного скла і двоокису кремнію діаметром 1050 мкм, хімічне очищення пластин, загонку бору при T=1343К впродовж 30 хвилин в атмосфері аргону і кисню, III фотолітографію для розкриття вікон в плівці боросилікатного скла 5 діаметром 1010 мкм, осадження плівки алюмінію 6 у вакуумі (товщина плівки алюмінію близько 1 мкм); IV фотолітографію по плівці алюмінію з діаметром вікна 1030 мкм і відпал кремнієвих пластин для отримання омичного контакту кремнію з алюмінієм. Шліфують пластини з боку підкладки (зворотний бік пластини), зменшивши її товщину до 175...190 мкм, і формують на ній омичний контакт послідовним нанесенням шарів титану 7, завтовшки 0,015 мкм і нікелю 8 завтовшки 0,035 мкм методом вакуумного термічного випару і золота 9 завтовшки 1,5 мкм методом гальванічного осадження.

У результаті проведених технологічних операцій одержують структуру варикапа, приведену на рис. 9.

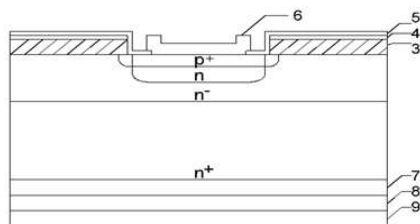


Рис. 9. Структура варикапа зі зворотним градієнтом концентрації домішки в базі: 3 – плівка двоокису кремнію; 4 – плівка фосфоросилікатного скла; 5 – плівка боросилікатного скла; 6 – плівка алюмінію (омічний контакт); 7 – шар титану; 8 – шар нікелю; 9 – шар золота

Ефективність застосування розробленої технології полягає в наступному. Перед проведенням термічного окислення на зворотному боці пластин додатково створюють гетеруючий шар способом обробки зворотної сторони пластини лазером.

В процесі наступних високотемпературних операцій (термічне окислення, розгонка фосфору, дифузія бору) відбувається ефективне гетерування домішок металів утвореним гетеруючим шаром, пригнічуються зародки дефектів упакування, які утворилися при вирощуванні зливків і в процесі епітаксії, що великою мірою запобігає що в великій мірі запобігає утворенню нових та ліквідації раніше утворених ОДУ в кремнії. Ефективне гетерування гетеруючим шаром домішок металів і структурних дефектів забезпечує значне зменшення розкиду значень ємності варикапних структур по площі пластини і зменшення рівня їх зворотних струмів. Для випробування розробленої технології виготовлення структур варикапа із зворотним градієнтом концентрації домішки у базі були виготовлені експериментальні партії, кожна з яких ділилася на дві частини: одна частина партії була виготовлена за базовою технологією, друга – за розробленою технологією. Ефективність використання запропонованої технології оцінювалася: 1) по відсотку виходу придатних варикапних структур на контролі зворотного струму ($I_{зв}$). Критерій придатності: $I_{зв} \leq 0,2$ мкА при зворотній напрузі 16 В. 2) по відсотку виходу придатних структур варикапів на контролі величини номінальної ємності (критерій придатності: номінальна ємність варикапної структури при зворотній напрузі 1 В повинна знаходитися в межах 510...608 пФ). Очевидно, що відсоток виходу

придатних структур обернено пропорційний до розкиду значень номінальної ємності структур по площі пластини.

У таблиці 4 приведені порівняльні результати контролю по рівню зворотного струму варикапів, виготовлених за базовою (партії №1, 2) і розробленою (партії №3, 4) технологіями. Видно, що використання розробленої технології виготовлення варикапів дозволяє підвищити вихід придатних структур по зворотному струму в середньому на 7,5%. При цьому структури варикапів, виготовлені із застосуванням розробленої технології, мали рівень зворотних струмів в 2...5 разу нижче в порівнянні зі структурами, виготовленими за базовою технологією.

Таблиця 4

**Порівняльні характеристики базової
і розробленої технологій**

Технологія виготовлення варикапних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних варикапів по зворотному струму, %
Без використання гетерування	1	91
	2	89
З використанням лазерного гетерування	3	97
	4	98

У таблиці 5 приведені порівняльні результати контролю за значенням номінальної ємності варикапів, виготовлених за базовою (партії № 5, 6) і розробленою (партії № 7, 8) технологіями. Видно, що використання запропонованої технології виготовлення варикапів дає можливість підвищити вихід придатних структур в середньому на 7,3%, що побічно підтверджує зменшення розкиду значень номінальної ємності структур варикапів по площі пластини.

Металографічні дослідження, виконані перед формуванням омичного контакту на робочій стороні пластин, на структурах, виготовлених за розробленою технологією, показали відсутність ОДУ.

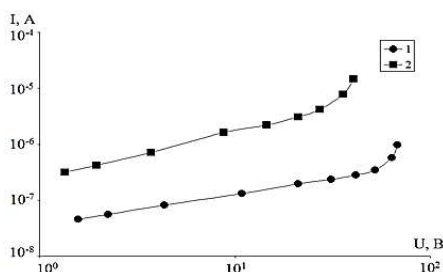
Таблиця 5

**Залежність виходу придатних структур варикапів
по значенням їх номінальної ємності
від технології їх виготовлення**

Технологія виготовлення варикапних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних варикапів по значенням номінальної ємності, %
Без використання гетерування	5	42,1
	6	43,8
З використанням лазерного гетерування	7	48,5
	8	51,9

На рис. 10 приведені зворотні гілки вольт-амперної характеристики (ВАХ) варикапів, виготовлених за базовою технологією, а також при використанні лазерного гетерування. Видно, що застосування гетерування дає можливість істотно знизити рівень зворотних струмів діодів.

Вплив створеного за допомогою лазера гетеруючого шару на параметри варикапної структури можна пояснити таким чином. В процесі проведення подальших після створення гетера високотемпературних операцій (термічне окислення, розгонка фосфору, дифузія бору) відбувається ефективно гетерування домішок металів створеним на зворотному боці пластин шаром гетера, усуваються зародки структурних дефектів, які утворилися при вирощуванні зливків і в процесі епітаксії, що великою мірою запобігає утворенню нових і ліквідації дефектів, що уже утворились.



**Рис. 10. Вольт-амперні характеристики структур варикапів:
1 – виготовленої з використанням лазерного гетерування;
2 – базова технологія**

При цьому міжвузольні атоми кремнію, які утворюють ОДУ, дифундують до створеної області гетера і захоплюються нею. В результаті цього ОДУ, що раніше утворилися, зменшуються в розмірах або повністю зникають. Ефективне гетерування домішок металів і структурних дефектів забезпечує значне зменшення розкиду значень номінальної ємності варикапних структур по площі пластини (за рахунок більш рівномірної дифузії фосфору по площі пластини в процесі формування зворотного градієнта концентрації домішки у базі структури варикапу і більш рівного фронту дифузії бору при створенні р-п переходу), а також значне зменшення рівня зворотних струмів варикапів, підвищення якого було пов'язане з впливом дефектів.

2.2. Проблеми формування нікелевого омичного контакту у виробництві варикапів

Для з'ясування причин аномально високих рівнів зворотних струмів у виробництві варикапів з нікелевим омичним контактом були запуснені експериментальні партії. Як вихідний матеріал використали кремнієві епітаксійні структури товщиною 11 мкм і питомим опором 1,7 Ом·см. Структури варикапів виготовляли за планарно – епітаксальною технологією [14]. Омичні контакти на варикапних структурах отримували шляхом хімічного осадження нікелю з подальшою термообробкою в інертному середовищі в діапазоні температур 400...700°C.

З метою виявлення причини різкого збільшення рівня зворотних струмів діодних структур після відпалу нікелевої плівки були проведені металографічні дослідження. Для цього після проведення розгонки бору і видалення оксиду в розчині плавикової кислоти пластини були піддані селективному травленню в реактиві Сіртла впродовж 15 с. Після такої обробки проводилося дослідження дефектів структури за допомогою металографічного мікроскопа. В активних областях діодних структур були виявлені ОДУ, щільність яких була в межах $10^4...10^5$ см⁻².

Для запобігання впливу процесу формування нікелевого омичного контакту на зворотні характеристики варикапів були випробувані різні методи гетерування дефектів та домішок. Найбільш ефективним виявився метод, який полягав в наступному: перед хімічним осадженням нікелю проводили додаткову дифузю бору в робочу сторону пластин при $T=1050^\circ\text{C}$ впродовж 30 хв [15].

Зворотні гілки ВАХ варикапних структур, виготовлених на частинах однієї пластини представлені на рис. 11. Видно, що після термообробки зворотна гілка ВАХ варикапної структури, виготовленої з використанням додаткової дифузії бору, практично не змінилася, а у структури, виготовленої за стандартною технологією, сталося різке "пом'якшення" ВАХ.

Механізм впливу ОДУ на зворотні струми досліджуваних варикапних структур можна пояснити таким чином. Недекоровані атомами домішок ОДУ не спричиняють істотного впливу на зворотні струми діодних структур, внаслідок їх слабкої електричної активності (криві 1 на рис.10, а і рис. 11, б). Відомо [16], що потік атомів домішки від поверхні в глиб твердого тіла пропорційний її коефіцієнту дифузії і величині граничної розчинності, принаймні, біля поверхні твердого тіла.

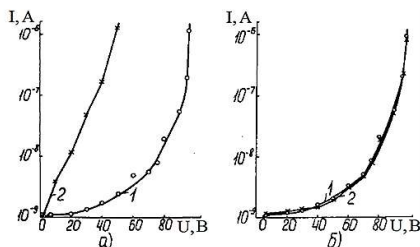


Рис. 11. Зворотні гілки ВАХ варикапних структур після хімічного осадження нікелю (1) і подальшої термообробки (2): а – виготовлених без використання гетерування (стандартна технологія); б – використання гетерування за допомогою дифузійного легування бором

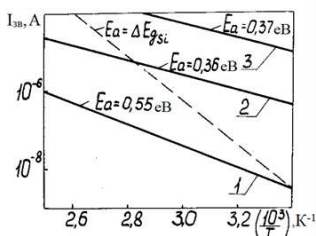


Рис. 12. Температурні залежності зворотного струму варикапної структури при різних тривалостях термообробки ($T=400^{\circ}\text{C}$) – t, с: 1– 0; 2 – 150; 3 – 360

Внаслідок високої концентрації ОДУ в кремнії, обидва ці параметри зростають, що призводить до збільшення дифузійного потоку атомів домішки (в даному випадку атомів нікелю) в глибоку зразка – до області p^+ - n переходу. При цьому атоми нікелю осідають на ОДУ, різко збільшуючи їх електричну активність, що доводить дослідження температурної залежності зворотного струму варикапних структур (рис. 12).

Як впливає з рис. 12, температурна залежність зворотного струму варикапної структури до проведення термообробки характеризується енергією активації рівній 0,55 еВ. Така величина енергії активації відповідає процесу генерації носіїв струму в області просторового заряду p^+ - n переходу через центри, пов'язані з дефектами дислокаційного типу. Зниження енергії активації носіїв струму до 0,36-0,37 еВ після термообробки варикапної структури (рис. 12) відповідає спільному впливу структурних дефектів і нікелю, що проникає в область об'ємного заряду p^+ - n переходу і декорує ОДУ [16]. Дослідження енергетичного спектру носіїв заряду методом DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) підтвердило присутність в варикапних структурах, які пройшли термообробку, глибоких центрів, що відповідають атомам нікелю.

Вплив нікелю на зворотний струм p^+ - n переходу пов'язаний з утворенням ним в забороненій зоні кремнію двох акцепторних рівнів, які викликають додаткову генерацію носіїв струму в області просторового заряду p^+ - n переходу [16]. З цим пов'язане різке збільшення після термообробки рівня зворотних струмів варикапної структури, виготовленої без використання гетерування (рис. 11, а, крива 2).

З метою коректного обґрунтування механізму впливу гетерування за допомогою проведення додаткової дифузії бору на зворотні струми варикапних структур, останні виготовлялися на половинках пластин. Причому на одній з половинок кожної пластини проводилася додаткова дифузія бору. Потім обидві половинки пластини піддавалися селективному травленню. На рис. 13 наведено мікрофотографії поверхні досліджуваних структур після травлення. Видно, що на варикапній структурі, виготовленій з використанням гетерування, щільність ОДУ істотно нижча. Отриманий результат можна пояснити наступним чином. В процесі проведення додаткової дифузії бору в приповерхневій області варикапних структур формується

сильнолегований бором r^+ – гетеруючий шар. При цьому міжвузольні атоми кремнію, що складають ОДУ, дифундують до створеної області гетера і захоплюються нею. В результаті цього раніше утворені ОДУ зменшуються в розмірах або повністю зникають (рис. 13, б). Крім того високолегований r^{+-} шар може поглинати в процесі термообробки надлишкові атоми нікелю з області r^+-n переходу. Це дозволяє запобігти зміні зворотної гілки ВАХ варикапних структур, що спостерігається після термообробки (рис. 11, б, крива 2).

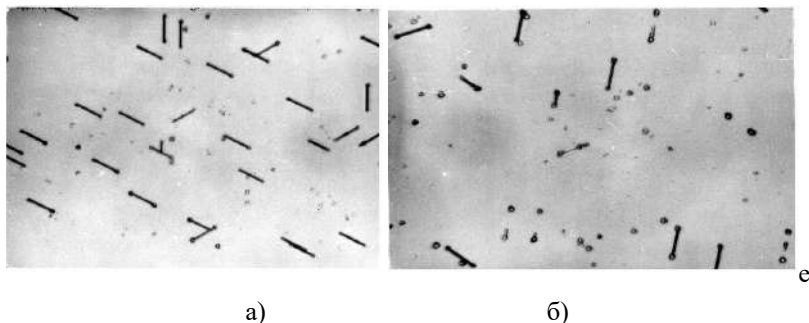


Рис. 13. Мікрофотографії поверхні структур варикапів після селективного травлення: а – структура варикапа, виготовленого за стандартною технологією; б – структура варикапа, виготовленого з використанням додаткової дифузії бору при $T = 1025^{\circ}\text{C}$

Таким чином, різке підвищення рівня зворотних струмів варикапних структур в процесі їх термообробки пов'язано зі збільшенням концентрації атомів нікелю в області r^+-n переходу за рахунок збільшення їх дифузійного потоку від поверхні в глибоку зразка, обумовленого ОДУ. Відсутність зміни зворотної гілки ВАХ після термообробки варикапних структур, виготовлених з використанням додаткової дифузії бору, пояснюється гетеруванням високолегованим r^+ – шаром ОДУ в процесі дифузії, а також поглинанням ним надлишкових атомів нікелю з області r^+-n переходу, в процесі термообробки.

2.3. Проблеми формування алюмінієвого омічного контакту у виробництві варикапів

В якості матеріалів для одержання омичних контактів до варикапних структур, зазвичай, використовуються нікель або алюміній. Алюміній має високу електропровідність, дешевий і пластичний (тобто добре переносить термоциклування). Цей метал легко напилюється, добре піддається травленню і забезпечує високу роздільну здатність при фотолітографії. Крім того, алюміній придатний для використання в радіаційно-стійких приладах. Але, як показала практика, при використанні омичного контакту на основі алюмінію може мати місце деградація зворотної гілки вольт-амперної характеристики варикапу. Встановлено [17; 18], що причиною частих відмов напівпровідникових приладів з алюмінієвою металізацією є прокол р-п переходів алюмінієм при термообробці після осадження півки алюмінію. Селективне видалення півки алюмінію з поверхні підкладки в області контактного вікна після термообробки при 470°C протягом 30 хв. виявляє катастрофічне погіршення морфологічної досконалості міжфазної межі контакту у вигляді глибоких порожнин в кремнії.

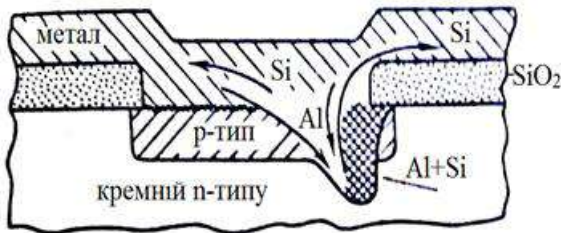


Рис. 14. Схема розчинення кремнію алюмінієвою півкою: неоднорідне розчинення кремнію півкою алюмінію, утворення пустот в кремнії, заповнення алюмінієм пустот, в результаті чого відбувається прокол р-п переходу [18]

Автори роботи [18] стверджують, що виникнення проколів р-п переходів пов'язано із зазначеними вакансійними порожнечами, що утворюються як результат неоднорідного розчинення кремнію в алюмінії (рис.14). Ці порожнечі заповнюються алюмінієм з розчиненим у ньому кремнієм і можуть призвести до короткого замикання р-п переходів.

Глибина проникнення вістря алюмінію вглиб кремнію, що оцінюється за глибиною пустот в локальних місцях області контакту, практично не змінюється в діапазоні 300-500°C і становить 40-90 нм [17]. У діапазоні температур 500-577°C відбувається різке зростання глибини проникнення до 1,25-1,45 мкм.

В роботі [17] зроблено припущення, що неоднорідне розчинення кремнію і заповнення пустот, що утворюються, алюмінієм, а також відзначене різке зростання глибини проникнення алюмінію вглиб кремнію в діапазоні температур 500-577°C викликані появою рідкої фази, яка «проплавляє» кремній, хоча температура термообробки нижча ніж, температура плавлення евтектики. Автори роботи [17] пропонують для запобігання в процесі термообробки активної взаємодії алюмінію з кремнієм проводити швидкий термічний відпал півки алюмінію після її осадження на поверхню варикапної структури, при якому температура виявляється досить високою, щоб утворилася рідка фаза, але тривалість – мала, щоб відбулося інтенсивне розчинення кремнію в алюмінії, і виникли проплавлення. Використання методу швидкого термічного відпалу, як вказують самі автори [17], не гарантує запобігання явищу проникнення алюмінію в область р-п переходу діода, так як на наступних операціях технологічного процесу, вже не пов'язаних з формуванням металізації, необхідно проводити довготривалі відпали, в результаті яких також ймовірно виникнення проплавлення. Як приклад можна привести операцію складання кристалів в корпуси, яка зазвичай відбувається при температурі $\geq 510^\circ\text{C}$.

Інший шлях вирішення проблеми взаємодії між алюмінієм і кремнієм, розглянутий в роботах [17; 18], полягає в додатковому легуванні півки алюмінію кремнієм до концентрацій в межах існування області твердого розчину. Цей спосіб дозволяє трохи знизити активність взаємодії між алюмінієм і кремнієм, проте не усуває саму взаємодію. Як результат, підвищення температури на наступних стадіях процесу може спричинити нерівноважний масоперенос і збільшити глибину проникнення алюмінію в кремній. Крім того, цей спосіб не може забезпечити рівновагу з локальними особливостями кристала, наприклад – дефектами і, таким чином, не може усунути міграцію алюмінію вздовж них.

Відповідно до сказаного вище, причина неоднорідного розчинення кремнію в алюмінії остаточно не встановлена.

Запропоновані способи запобігання глибокому проникненню алюмінію в кремній під час відпалу металізації алюмінію [17; 18] не є оптимальними для вирішення цієї проблеми.

У зв'язку з цим, необхідно було: 1) з'ясувати додаткові причини локального проникнення алюмінію в кремній в процесі формування алюмінієвого омичного контакту на варикапних структурах і, як наслідок, 2) розробити ефективний технологічний метод, направлений на запобігання негативного впливу процесу формування омичного контакту на основі алюмінію на зворотну гілку ВАХ варикапів.

Структури досліджуваних варикапів виготовлялися за стандартною планарно-епітаксальною технологією [14]. Для проведення епітаксального процесу використовувались кремнієві підкладки, леговані стибієм, з потовим опором 0,01 Ом·см, орієнтовані по площині (111). Для нарощування епітаксальних шарів на підготовлених підкладках використовувався хлоридний метод епітаксії. Температура епітаксального процесу склала 1150°C. Отримані епітаксальні структури мали питомий опір 1,3 Ом·см і товщину 7 мкм. Далі варикапні структури були проведені за стандартним технологічним маршрутом [14]. Формування омичного контакту на структурах варикапів з їх робочої сторони проводилось наступним чином: осадження плівки алюмінію (Al) в вакуумі, проведення фотолітографії по шару алюмінію і відпал контакту в інертному середовищі при $T=560^{\circ}\text{C}$ на протязі 14 хвилин.

У результаті виконання перерахованих операцій одержуємо структуру варикапа, приведено на рис. 15.

Для з'ясування причин деградації зворотних характеристик варикапів в процесі термообробки варикапних структур, зі сформованою за допомогою фотолітографії плівкою алюмінію, були проведені металографічні дослідження варикапних структур, відбракованих на контролі рівня їх зворотних струмів.

Для виявлення структурних дефектів використовувався реактив Сіртла, тривалість селективного травлення складала від 10 с до 20 хв. Встановлення виду структурних дефектів і оцінка їх щільності проводилися за допомогою металографічного мікроскопа «Метам-1».

На вихідних епітаксальних структурах ще до проведення першої високотемпературної операції – термічного окислення – були виявлені епітаксальні дефекти упакування (рис. 16), щільність яких

склала 10^4 - 10^5 см⁻² (час селективного травлення структур в реактиві Сіртла склав 1,5 хв) та дислокації (рис. 17), які мали щільність 10^3 - 10^4 см⁻² (час травлення в реактиві Сіртла склав 2 хв).

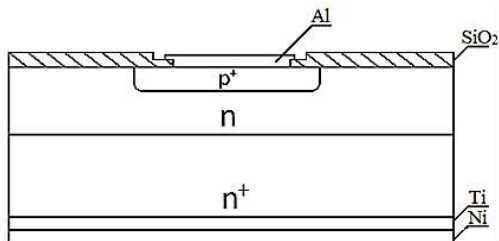


Рис. 15. Структура варикапа



Рис. 16. Поверхня кремнієвої епітаксильної структури з виявленими епітаксильними дефектами упаковки



Рис. 17. Поверхня кремнієвої епітаксильної структури з виявленими дислокаціями

Після термічного окислення і видалення шару SiO₂ в епітаксильних структурах були виявлені окислювальні дефекти

упакування щільністю до 10^5 см^{-2} , при цьому час травлення структур в реактиві Сіртла склав 20с (рис. 18).



Рис. 18. Мікрофотографія поверхні епітаксильної структури після термічного окислення і проведення селективного травлення

Можна зробити припущення, що виявлені структурні дефекти викликають підвищення граничної розчинності алюмінію при температурі відпалу плівки алюмінію, який проводиться після її осадження на поверхню варикапних структур і наступного проведення фотолітографії, та збільшення коефіцієнта дифузії алюмінію в кремнії вздовж дефектів. Ці два ефекти обумовлюють локальне проникнення алюмінію в область р-n переходу варикапу при відпалі плівки алюмінію під час формування контактів, що може бути причиною деградації зворотних характеристик. Підтвердженням цьому є результати дослідження процесів утворення і направленої міграції розплавлених зон типу метал-напівпровідник в монокристалічному кремнії в присутності поля градієнта щільності дислокацій [19]. В результаті досліджень встановлено, що виникнення розплавлених зон в обсязі матриці при відпалі пов'язано з процесами утворення сплавів домішок металеві плівки (тобто алюмінію) з монокристалом на границі розділу метал-напівпровідник. Як стверджують автори роботи [19], переміщення домішки в об'ємі напівпровідника здійснювалося у вигляді розплавлених включень за рахунок різниці хімічних потенціалів атомів на "тильній" і "лобовій" границях включення.

Для запобігання утворенню структурних дефектів необхідно було вибрати ефективний метод гетерування. Оскільки структурні дефекти утворюються, починаючи з процесу епітаксії,

очевидно, що область гетера необхідно створювати в підкладках, на які будуть осаджуватись епітаксialні шари. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксialних шарах є створення гетеруючої області на зворотному боці підкладок за допомогою імплантації в неї іонів фосфору [20]. Область гетера була сформована на зворотному боці підкладки імплантацією іонів фосфору з енергією 100 кеВ, дозою $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ на установці «Везувій-5». Далі на робочу сторону підкладок при $T=1150^\circ\text{C}$ осаджували епітаксialний шар хлоридним методом на установці УНЭС-2П-КА. Виготовлення епітаксialних структур було проведено по технологічному маршруту, наведеному вище.

Для дослідження ефективності розробленої технології були сформовані дві експериментальні партії варикапних структур, які були поділені на дві рівні частини. Одна частина структур в кожній партії була виготовлена за базовою технологією, інша – з використанням гетерування. Ефективність використання розробленої технології оцінювалася по виходу придатних варикапних структур на контролі зворотного струму $I_{зв}$, за результатами металографічних досліджень і за рівнем зворотного струму.

Критерій придатності: $I_{зв} \leq 0,5 \text{ мкА}$ при зворотній напрузі 30 В. В таблиці 6 приведені порівняльні результати контролю по рівню зворотного струму діодів, виготовлених за базовою і розробленою технологіями. Видно, що застосування гетерування дає можливість в середньому на 10,7% підвищити вихід придатних варикапів. При цьому варикапні структури, виготовлені з використанням гетерування, мали рівні зворотних струмів в 4-5 разів менше у порівнянні з виготовленими за базовою технологією.

Таблиця 6

**Порівняльні характеристики базової
і розробленої технологій**

Технологія виготовлення варикапних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних варикапних структур на контролі рівня їх зворотних струмів, %
Виготовлених за базовою технологією	1	83,9
Виготовлених з використанням гетерування	2	94,6

Проведені після розгонки бору металографічні дослідження на структурах варикапів, виготовлених із застосуванням гетерування, показали відсутність в них структурних дефектів, що впливають на взаємну дифузію алюмінію та кремнію (рис. 19).

На рис. 20 приведені зворотні ВАХ варикапних структур, виготовлених за базовою технологією та за технологією з використанням гетерування.



Рис. 19. Поверхня варикапної структури, виготовленої з використанням гетерування, після розгонки бору

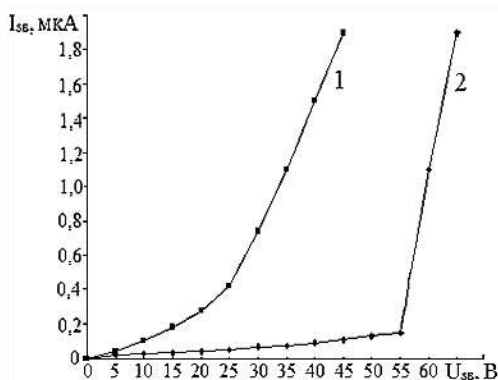


Рис. 20. Зворотні ВАХ варикапних структур: 1 – варикапна структура, виготовлена за базовою технологією; 2 – варикапна структура, виготовлена з використанням гетерування

Видно, що варикапна структура, виготовлена з використанням гетерування, має ВАХ (крива 2) типову для кремнієвого діода при відсутності в його активних областях структурних дефектів та небажаних домішок. І навпаки варикапна структура, виготовлена за базовою технологією, має так звану «м'яку» ВАХ (крива 1), вигляд якої вказує на наявність в активних областях варикапу структурних дефектів (дефектів упакування, дислокацій) та домішок металів або при наявності глибоко проникаючого в область об'ємного заряду р⁺-n переходу вістря алюмінію.

З порівняння кривих 1 і 2 видно, що варикапна структура, виготовлена за базовою технологією (крива 1), має набагато більший рівень зворотних струмів у порівнянні з варикапною структурою, виготовленою з використанням гетерування (крива 2).

Вплив створеної на зворотному боці підкладки області гетера перед осадженням на її робочу сторону епітаксialного шару на параметри діода можна пояснити наступним чином. У процесі епітаксії, яка проводиться при температурі 1150°C, на зворотному боці підкладки формується висока щільність дислокацій. Ці порушення призводять до дифузії домішок впровадження, міжвузольних атомів, вакансій, які являються зародками дефектів, в полі пружних напружень із об'єму підкладки і епітаксialного шару, що нарощується, до порушеного шару і поглинаються ним. Ліквідація зародків дефектів значно зменшує вірогідність утворення дефектів упакування і дислокацій в епітаксialному шарі в процесі його нарощування. Також, створена на зворотному боці пластини область гетера, в процесах проведення наступних високотемпературних операцій (термічного окислення, загонки і розгонки бору) поглинає неконтрольовані домішки, зародки дефектів упакування з об'ємної і приповерхневих областей пластини, запобігаючи утворенню окислювальних дефектів упакування при проведенні цих технологічних операцій. Ліквідація структурних дефектів в активних областях варикапу виключає локальне проникнення алюмінію в область р-n переходу варикапу за рахунок підвищення граничної розчинності алюмінію в кремнії при температурі відпалу півки алюмінію та прискореної дифузії алюмінію в кремній вздовж структурних дефектів.

Таким чином, низький вихід придатних варикапних структур, що асоціюється з локальним проникненням алюмінію в область

p-n переходу варикапу, пов'язаний зі структурними дефектами (епітаксialними і окислювальними дефектами упакування та дислокаціями), які утворюються в активних областях варикапів в процесах проведення високотемпературних технологічних операцій. Застосування розробленої технології виготовлення структур варикапів з використанням гетерування за допомогою області гетера, створеної на зворотній стороні пластини перед осадженням на її робочу сторону епітаксialного шару, дозволяє очистити активні області варикапів від зародків дефектів та небажаних домішок і запобігти утворенню в них структурних дефектів, що робить неможливим явище локального проникнення алюмінію в область p-n переходу та забезпечує суттєве зниження рівня зворотних струмів варикапів і підвищення виходу придатних приладів.

3. Покращання параметрів імпульсного діода при використанні гетерування

У схемах перемикання імпульсні діоди працюють у режимі насичення, для якого дуже важливо мати мінімальний час перерозподілу накопиченого заряду, що пов'язано з часом життя носіїв заряду [21]. Традиційним методом зменшення часу життя носіїв струму є введення в об'єм кристала діодної структури домішок, які мають великий переріз захоплення носіїв заряду. Найбільш часто в якості такої домішки використовується золото [22].

Відомо [23], що атоми золота, які знаходяться в міжвузлях кристалічної ґратки Si мають донорні властивості і, віддавши електрони в зону провідності, заряджаються позитивно. Атоми золота, які знаходяться в вузлах кристалічної ґратки Si, мають акцепторні властивості, тобто створюють у забороненій зоні Si акцепторні рівні, на які з валентної зони переходять електрони і заряджають їх негативно. Очевидно, що якщо акцепторні рівні створені в n-базі діода, то вони будуть ефективно захоплювати неосновні носії заряду – дірки, які інжектовані з p-області діода за час його прямого включення. Це дозволяє значно підвищити швидкодію діода.

Бар'єрна ємність діода розраховується за формулою [24]:

$$C_{ном} = S_{p-n} \sqrt{\frac{e\epsilon\epsilon_0 N_b}{2(\phi_k + U_{зв})}}, \quad (1)$$

де ϕ_k – контактна різниця потенціалів між p- і n- областями; e – заряд електрона; $U_{зв}$ – напруга зворотного зміщення;

N_b – концентрація легуючої домішки в базі, у даному випадку – фосфору; ϵ_0 , ϵ – діелектрична проникливість, вакууму і кремнію відповідно; S_{p-n} – площа р-п переходу.

Відповідно до формули (1) ємність діода визначається кількістю атомів фосфору, що заміщують атоми силіцію в вузлах кристалічної ґратки. При легуванні діодних структур золотом частина атомів фосфору заміщається атомами золота, що призводить до зменшення ємності діода і до збільшення його швидкодії.

Відомо [23; 25], що величина струму витоку, який протікає через зворотно зміщений р-п перехід діода, залежить від числа генераційно-рекомбінаційних центрів, що знаходяться в області його просторового заряду. Атоми золота служать досить ефективними центрами рекомбінації і, отже, процес дифузії золота, що застосовується для зменшення часу життя неосновних носіїв заряду, має істотний вплив на струм витоку діодів. Цей вплив значно підсилюється при наявності високої щільності структурних дефектів у активних областях діодних структур.

Струм витоку р-п переходу, що обумовлений виникненням носіїв заряду в центрах рекомбінації області просторового заряду р-п переходу, визначається за формулою [25]:

$$I_g = egWA, \quad (2)$$

де g – швидкість генерації носіїв заряду; W – товщина області просторового заряду р-п переходу при даній зворотній напрузі; A – стала, що залежить від властивостей кристалу напівпровідника.

Очевидно, що величина g залежить від концентрації структурних дефектів у кремнії. Збільшення концентрації структурних дефектів у активних областях діодних структур призводить до збільшення g і, як впливає з формули (2), до збільшення зворотного струму діодів.

У кремнії відбувається акумуляція атомів золота на структурних дефектах [2], що, за наявності високої концентрації останніх, призводить до нерівномірного легування пластин золотом, так як структурні дефекти зазвичай розподілені по площині пластини нерівномірно. Наслідком цього є, по-перше, збільшення зворотних струмів діодів і, по-друге, збільшення варіювання значень їх номінальної ємності по площині пластини. Обидва ці фактори призводять до зниження виходу придатних приладів.

Проведені дослідження були направлені на визначення механізму впливу структурних дефектів на параметри

імпульсного діода і можливості застосування гетерування для поліпшення його характеристик та підвищення виходу придатних приладів [26].

Досліджувані діодні структури виготовлялися за стандартною планарно-епітаксіальною технологією [14] на легованих фосфором кремнієвих епітаксійних структурах n-типу провідності з питомим опором 1 Ом·см і товщиною 15 мкм, вирощених на кремнієвій підкладці, орієнтованій за площиною (111). Для виготовлення діодних структур проводилися наступні основні технологічні операції: термічне окислення пластин при $T = 1150^{\circ}\text{C}$ з наступним чергуванням циклів: окислення в сухому кисні (15 хв) – окислення у вологому кисні (140 хв) – окислення в сухому кисні (55 хв); Товщина одержаної плівки SiO_2 (рис. 21) склала приблизно 0,65 мкм; (I) фотолітографія для розкриття вікон у шарі двоокису кремнію під дифузію бору; (I) загонка бору методом відкритої труби з джерела домішки B_2O_3 при $T = 1100^{\circ}\text{C}$ протягом 30 хвилин в суміші аргону (60 л/год) і сухого кисню (2 л/год); видалення боросилікатного скла в розчині плавикової кислоти; розгонка бору при $T = 1150^{\circ}\text{C}$ в середовищі сухого кисню (50 л / год) протягом 5г; видалення плівки двоокису кремнію на зворотному боці пластин травленням у плавиковій кислоті; осадження шару золота на зворотну сторону пластин за допомогою їх витримки в розчині на основі золото-хлористоводневої кислоти; дифузія золота при $T = 1100^{\circ}\text{C}$ в суміші азоту (130 л/год) і кисню (8 л/год) протягом 60 хв; (II) фотолітографія для розкриття вікон в шарі діоксиду кремнію для проведення загонки бору; (II) загонка бору при $T = 1050^{\circ}\text{C}$ протягом 25 хв у суміші аргону (100 л/год) і кисню (5 л/год); видалення шару боросилікатного скла з використанням розчину плавикової кислоти; шліфування тильної сторони пластин для зменшення її товщини до 190 ... 200 мкм; формування омічних контактів: хімічне осадження нікелю (Ni) з двох сторін пластини з подальшим відпалом плівки нікелю при $T = 740^{\circ}\text{C}$ у середовищі аргону (150 л/год) протягом 30 хв, проведення другої стадії хімічного осадження нікелю, нанесення шару золота (Au) на обидві сторони пластини методом гальванічного осадження.

У результаті виконання перерахованих операцій була отримана структура імпульсного діода, що наведена на рис. 21.

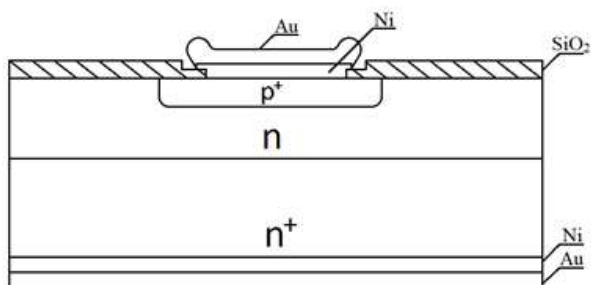


Рис. 21. Структура імпульсного діода, що виготовлена за базовою технологією

Для з'ясування причин низького відсотка виходу придатних діодів були проведені металографічні дослідження. Для виявлення структурних дефектів використовувався травник Сіртла. Вид структурних дефектів і їх щільність оцінювалися за допомогою металографічного мікроскопа МЕТАМ-1. На пластинках ще до проведення першої високотемпературної операції (термічне окислення) були виявлені епітаксіальні дефекти пакування, щільністю 10^4 - 10^6 см⁻². На рис. 22 наведена мікрофотографія поверхні епітаксіальної плівки перед операцією термічного окислення після селективного травлення в травнику Сіртла протягом 15 хв.



Рис. 22. Мікрофотографія поверхні епітаксіальної плівки перед операцією термічного окислення після селективного травлення

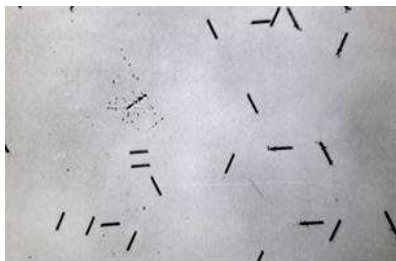


Рис. 23. Мікрофотографія поверхні епітаксiальної структури після термічного окислення і проведення селективного травлення

Після термічного окислення і видалення шару SiO_2 в епітаксiальних структурах були виявлені окислювальні дефекти пакування щільністю до 10^5 см^{-2} , при цьому час травлення структур у травнику Сіртла склав 20 с (рис. 23).

Для запобігання утворення структурних дефектів необхідно було обрати ефективний метод гетерування [3; 11]. Труднощі вибору полягали в тому, що для імпульсного діода, який виготовляється із застосуванням легування його структури золотом, не можна було використовувати гетер, що функціонує протягом усього маршруту виготовлення діодних структур через поглинання областю гетера атомів золота (наприклад, гетер, що створений на зворотному боці пластини за допомогою її шліфування, обробка зворотного боку пластини лазером, створення гетера на зворотному боці пластини за допомогою дифузії або іонного легування фосфором).

Були випробувані кілька методів гетерування дефектів, що пов'язані з передокислювальним і післяокислювальним відпалом в інертному середовищі [3]. Найефективнішим виявився передокислювальний відпал пластин в атмосфері аргону (120 л/год) при температурі $1170^\circ\text{C} \dots 1180^\circ\text{C}$ протягом 4 год.

Для випробування запропонованої технології виготовлення структур імпульсного діода були сформовані дослідні партії, кожна з яких ділилася на дві частини: одна частина партії була виготовлена за базовою технологією, друга частина – за розробленою технологією з гетеруванням. Передокислювальний відпал пластин проводився при температурі 1175°C протягом 4 год у атмосфері аргону.

Ефективність використання передокислювального відпалу оцінювалася за вольт-фарадними та вольт-амперними характеристиками зразків:

1) за відсотком виходу придатних діодних структур при їх розбракуванні за значенням номінальної ємності (критерій придатності: номінальна ємність діодних структур при нульовому зміщені $U_{зм} = 0$ повинна бути $C_0 \leq 2$ пФ). Очевидно, що відсоток виходу придатних діодних структур обернено пропорційний розкиду значень номінальної ємності діодних структур по площині пластини. У табл. 7 наведені порівняльні результати контролю за значенням номінальної ємності діодних структур, що виготовлені за базовою (партія №1) і розробленою (партія № 2) технологіями. Як видно з табл. 7, використання запропонованої технології дає можливість підвищити вихід придатних діодних структур на 8,9%, що непрямо підтверджує зменшення розкиду значень номінальної ємності цих структур по площині пластини.

2) за відсотком виходу придатних діодних структур за контролем зворотного струму ($I_{зв}$). Критерій придатності: $I_{зв} \leq 0,2$ мкА при зворотній напрузі 45 В.

Таблиця 7

**Залежність виходу придатних діодних структур
за значеннями їх номінальної ємності
від технології виготовлення**

Технологія виготовлення діодних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних діодних структур за значенням номінальної ємності, %
Без використання гетерування	1	77,9
З використанням передокислювального відпалу в атмосфері аргону при $T = 1175^{\circ}\text{C}$ протягом 4 год.	2	86,8

У таблиці 8 наведені порівняльні результати розбраковки за зворотним струмом діодних структур, що виготовлені за базовою (партії № 3-5) і розробленою (партії № 6-8) технологіям.

**Порівняльні характеристики
базової і розробленої технологій**

Технологія виготовлення діодних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних діодних структур за значенням зворотного струму, %
Без використання гетерування	3	86,7
	4	85,3
	5	84,6
З використанням передокислювального відпалу в атмосфері аргону при $T = 1175^{\circ}\text{C}$ протягом 4 год.	6	94,1
	7	95,2
	8	95,5



Рис. 24. Поверхня діодної структури, що виготовлена із застосуванням гетерування за допомогою проведення передокислювального високотемпературного відпалу, після селективного травлення

На рис. 25 і рис. 26 наведені вольт-фарадні характеристики діодних структур, що виготовлені за базовою технологією (рис. 24), а також при використанні передокислювального відпалу (рис. 25). Видно, що застосування гетерування за допомогою проведення передокислювального відпалу дає можливість істотно знизити розкид значень номінальної ємності діодних структур по площині пластини та зменшити середнє значення номінальної ємності (C_0) і, як наслідок збільшити відсоток виходу придатних приладів (див. табл. 7).

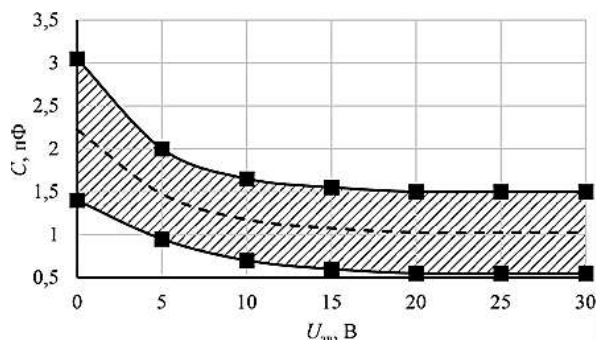


Рис. 25. Вольт-фарадні характеристики діодних структур, що виготовлені за базовою технологією

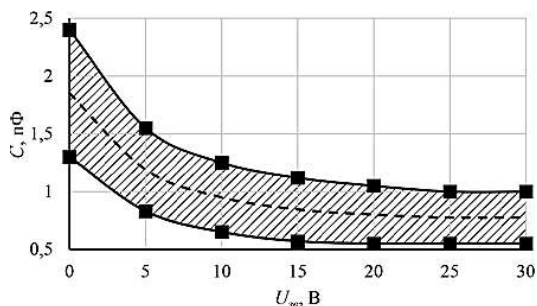


Рис. 26. Вольт-фарадні характеристики діодних структур, що виготовлені з використанням гетерування

На рис. 27 наведені зворотні гілки ВАХ діодних структур, що виготовлені за базовою технологією, а також при використанні передокислювального відпалу. Видно, що застосування гетерування за допомогою проведення передокислювального відпалу дає можливість істотно знизити рівень зворотних струмів діодів і, як наслідок збільшити відсоток виходу придатних приладів (див. табл. 8).

Вплив проведеного перед окисленням відпалу в середовищі аргону на параметри діода можна пояснити наступним чином.

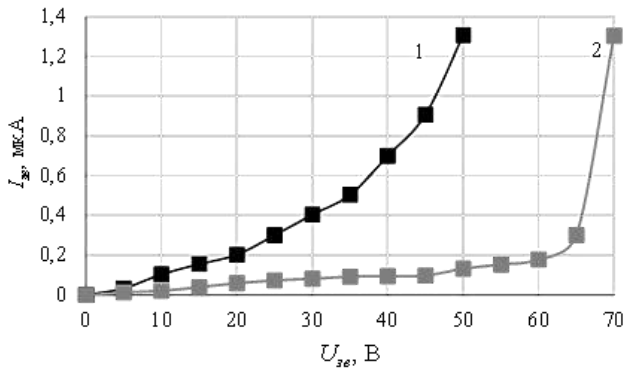


Рис. 27. Зворотні вольт-амперні характеристики діодних структур: **1** – виготовленої за базовою технологією; **2** – виготовленої з використанням передокислювального відпалу

У процесі відпалу відбувається розсмоктування епітаксіальних дефектів пакування, а також пригнічування зародків окислювальних дефектів пакування, які утворилися в кремнії як при вирощуванні зливків, так і в процесі епітаксії. Це у значній мірі запобігає утворенню окислювальних дефектів пакування на наступних високотемпературних операціях (термічне окислення, загонка та розгонка бору), що забезпечує рівномірний розподіл золота в базі діода, і, як наслідок, значне зменшення розкиду значень ємності діодних структур по площині пластини і зниження рівня їх зворотних струмів, високий рівень яких був пов'язаний з впливом дефектів.

Таким чином, причиною низького відсотка виходу структур імпульсного діода на операціях контролю зворотного струму і номінальної ємності діодів є дефекти пакування, що утворюються в активних областях діодів при епітаксії і в процесах проведення високотемпературних технологічних операцій. Розроблена технологія виготовлення структур імпульсного діода із застосуванням гетерування шляхом проведення передокислювального високотемпературного відпалу пластин в атмосфері аргону, дозволяє істотно зменшити щільність дефектів пакування в активних областях діодів, що дає можливість знизити рівень зворотних струмів і зменшити розкид значень номінальної ємності діодів по площині пластини і, як наслідок, підвищити відсоток виходу придатних приладів.

4. Розробка методів запобігання впливу поверхневих ефектів на зворотні характеристики структур кремнієвих діодів

Якість роботи активних напівпровідникових структур, до яких відносяться діоди, транзистори, інтегральні схеми і т. ін., багато в чому залежать від стану їх поверхневого шару в області виходу на поверхню р-п переходу [27]. Такі важливі характеристики діодів і транзисторів як величина зворотного струму і пробивна напруга р-п переходу в великій мірі визначаються обробкою поверхні. Обробка поверхні напівпровідника є дуже важливою технологічною операцією в процесі виготовлення напівпровідникових приладів і схем. У зв'язку з розвитком мікро- і наноелектроніки відбувається зменшення розмірів елементів і габаритів приладів і збільшується відношення поверхні до об'єму і, отже, росте міра впливу поверхні.

Причиною негативних явищ в напівпровідникових кристалах з р-п переходами можуть бути не лише рівні Тамма і Шоклі, які мають місце навіть на атомарно-чистій поверхні напівпровідника. На реальній поверхні напівпровідника осідає багатошарова плівка вологи і міститься багато сторонніх домішок, адсорбованих з травників і промивної води. Помітну частину цих домішок складають позитивні іони лужних металів. Під дією напруги, прикладеної до переходу, ці іони дрейфують в плівці вологи, створюючи іонний струм витоку, величина якого росте зі збільшенням вологості. Струм поверхневого витоку часто є основною складовою зворотного струму через р-п перехід.

Поверхня дуже сильно впливає на експлуатаційні характеристики напівпровідникових приладів: стабільність характеристик і, отже, вихід придатних приладів і їх надійність при експлуатації. З плином часу експлуатації починається деградація характеристик приладів, тобто вони змінюються, виходять за встановлені стандартом допуски, і прилад виходить з ладу. Зміна параметрів напівпровідникових приладів розпочинається з поверхні і пов'язана з процесами адсорбції-десорбції, дифузії і так далі. Тому в технології застосовуються спеціальні методи поверхневих обробок, спрямовані на поліпшення і збереження стану поверхні (пасивація поверхні шаром діелектрика, герметизація приладів і т. ін.).

4.1. Дослідження впливу хімічної обробки поверхні кремнієвих епітаксialьних структур на зворотні струми діодів, виготовлених на їх основі

Досліджувані зразки перед окисненням очищалися в наступних компонентах хімічної обробки [28]: 1) (HF:HNO₃ =1: 19) – обробка впродовж 20 с. 2) СМА – сульфамалиновий ангідрид (поверхнево – активна речовина) – обробка впродовж 25 хв. 3) HNO₃ – обробка кип'яченням впродовж 50 хв. 4) ПАР – перекисно-аміачний розчин (H₂O₂:NH₄OH:H₂O=1:1:4) – обробка впродовж 7 хв. 5) СМА+HNO₃ – обробка впродовж 25хв і 50хв відповідно. 6) СМА + (HF:HNO₃=1:19) + HNO₃ – обробка впродовж 25хв, 20с і 50 хв відповідно. Час обробки в кожному з досліджуваних компонентів підбирався експериментально. Окислення досліджуваних зразків проводилося в одному технологічному процесі по режиму: T=1045°C; час процесу – 10 хв; середовище – водяна пара. Товщина вирощеного оксиду складала 0,16 мкм. Після цього проводилася металізація кремнієвих структур і фотолітографія по шару металу з діаметром вікна D =1000мкм для отримання структур метал-оксид-напівпровідник (МОН-структур).

В результаті проведеного експерименту були зняті вольт-фарадні характеристики МОН-структур, оброблених приведеними вище хімічними реагентами.

Таблиця 9

Вплив різних методів хімічної обробки на зворотні струми діодних структур

Метод хімічної обробки	Вихід придатних діодних структур, %
Обробка в СМА+ (HF:HNO ₃ =1:19) + HNO ₃	63
Обробка в HNO ₃	69
Обробка в HNO ₃ + СМА	65
Обробка в СМА	70
Обробка в (HF:HNO ₃ =1:19)	73
Обробка в ПАР	76

Якість хімічних обробок оцінювали за величиною сумарного поверхневого заряду МОН-структур Q_{ss} і щільності поверхневих станів N_{ss} для кожного виду хімічної обробки, які розраховували з використанням побудованих вольт-фарадних характеристик МОН-структур [28]. Найменше значення сумарного поверхневого

заряду і щільності поверхневих станів (відповідно $Q_{SS} = 2,8 \cdot 10^{-10}$ Кл і $N_{SS} = 1,4 \cdot 10^{11}$ см⁻²) отримане при використанні обробки в ПАР.

Також якість досліджуваних хімічних обробок оцінювали по виходу придатних діодних структур, виготовлених за стандартною планарно – епітаксіальною технологією [14] на кремнієвих епітаксіальних структурах n- типу провідності з питомим опором 2 Ом·см і завтовшки 10мкм, очищення яких перед першим термічним окисленням проводилося з використанням цих хімічних компонентів (табл. 9).

Таким чином, оптимальною з точки зору забезпечення мінімальної величини сумарного заряду на поверхні діодних структур і найбільшого виходу придатних діодів (табл. 9) являється обробка в перекисно-аміачному розчині. Найбільш прийнятною з точки зору екології і економіки є обробка поверхні діодних структур в сульфо-малиновому ангідриді, в якому відсутні шкідливі для обслуговуючого персоналу складові, що виключає необхідність використання спеціального устаткування і захисних засобів. При цьому забезпечується досить високий вихід придатних діодів.

4.2. Дослідження впливу різних методів термічного окислення на зворотні характеристики кремнієвих планарних діодів

Були досліджені наступні методи термічного окислення [28]:

1. окислення в парах води (гідротермальне окислення);
2. окислення по циклу сухий – вологий – сухий кисень (комбінований метод);
3. окислення з використанням в якості джерела пари водного розчину 37% – ї HCl ($H_2O: HCl = 2: 1$).

Структури діодів виготовлялися на кремнієвих епітаксійних плівках за стандартною планарно-епітаксіальною технологією [14].

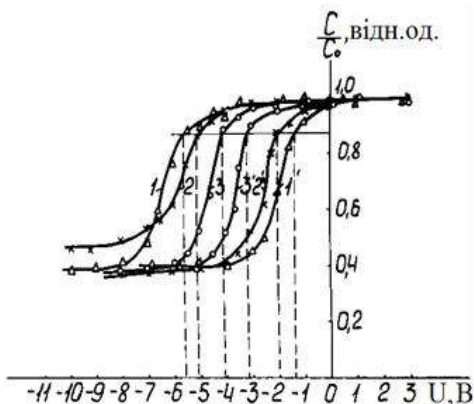


Рис. 28. Експериментальні С – U – характеристики МОН-структур: 1 – гідротермальне окислення; 2 – окислення з використанням в якості джерела пари водного розчину НСІ; 3 – окислення по циклу С – В – С кисень; 1, 2 і 3 – без відпалу; 1', 2' і 3' – після відпалу в середовищі аргону

Температура процесу окислення 1050°С. Після проведення окислення пластини відпалювали в атмосфері аргону при температурі процесу окислення.

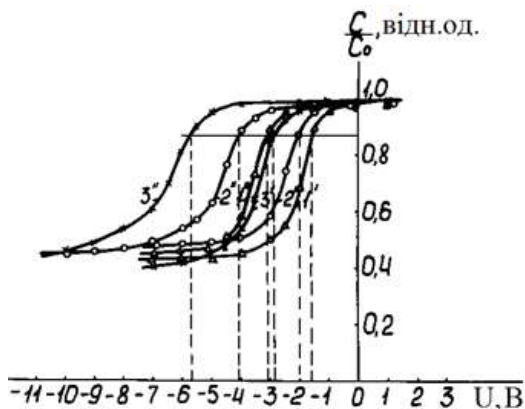


Рис. 29. С-U – характеристики МОН-структур: 1', 2', 3' – після відпалу в середовищі аргону; 1'', 2'', 3'' – після термопольової обробки

Якість отриманих захисних плівок оцінювалася за величиною і стабільністю сумарного заряду в них, а також за результатами контролю готових діодних структур по зворотному струму на установці типу "Зонд" (критерій придатності: $I_{зв} < 0,3\text{мкА}$ при $U_{зв}=35\text{В}$). Для визначення величини сумарного заряду оксиду і його стабільності використовувалися вольт-фарадні характеристики (ВФХ), виміряні на виготовлених МОН-структурах А1-SiO₂-Si (рис. 28).

Стабільність заряду в оксиді оцінювали, здійснивши термопольову обробку досліджуваних МОН-структур ($T=1050^\circ\text{C}$, $U_{зм}=30\text{В}$, $t=1\text{час}$) і оцінивши величину зрушення ВФХ в порівнянні з початковою (рис. 29). Порівняльні параметри кожного з досліджуваних методів окислення, одержані після проведення експериментальних партій, наведені в таблицях 10 і 11.

Відпал кремнієвих структур в середовищі аргону, який проводиться після завершення процесу окислення, призводить до зрушення вольт-фарадних характеристик МОН-структур управо (рис. 28). Це свідчить про зменшення сумарного позитивного заряду на межі розділу Si – SiO₂.

Таблиця 10

Залежність "зарядових" характеристик оксиду від методу його одержання

Метод окислення	Номер експериментальної партії	$Q_{ss} \cdot 10^{-10}$, Кл	$N_{ss} \cdot 10^{11}$, см ⁻²
Гідротермальне окислення	1	2,80	1,75
	2	2,25	1,41
	3	3,20	2,00
Окислення по циклу С-В-С кисень	4	6,20	3,88
	5	5,10	3,19
	6	5,55	3,47
Окислення з використанням в якості джерела пари водяного розчину HCl	7	3,21	2,01
	8	3,20	2,00
	9	2,79	1,74

Примітка: Q_{ss} і N_{ss} – сумарний заряд і щільність поверхневих станів на межі розділу Si – SiO₂; $N_{ss} = Q_{ss}/qS$, де q – заряд електрона; S – площа металевого контакту структури А1-SiO₂-Si.

Причому найбільше зрушення ВФХ спостерігається для МОН-структур, виготовлених з використанням гідротермального

окислення, що можна пояснити за допомогою моделі аутодифузії натрію і інших швидкодифундуючих домішок з оксиду при високотемпературних термообробках.

Згідно цієї моделі ефективність видалення швидкодифундуючих домішок шляхом дифузії з оксиду в газову фазу в процесі високотемпературних обробок в інертному середовищі залежить від концентрації силанольних ОН-груп, наявних в оксиді.

Таблиця 11

**Вплив різних методів термічного окислення
на зворотні струми діодних структур**

Метод окислення	Вихід придатних діодних структур, %
Гідротермальне окислення	75
Окислення по циклу С-В-С кисень	68
Окислення з використанням в якості джерела пари водяного розчину НС1	63

У плівці двоокису кремнію, отриманого за допомогою гідротермального окислення, концентрація ОН-груп найбільш висока в порівнянні з плівками, отриманими іншими досліджуваними методами, що і забезпечує найбільш глибоке очищення оксиду від домішок.

Термопольова обробка МОН-структур викликає зрушення ВФХ вліво (рис. 29), що вказує на збільшення сумарного позитивного заряду в окисній плівці. Найменший дрейф заряду в гідротермальному оксиді після термопольової обробки (рис. 29) можна пояснити кращим очищенням оксиду від швидкодифундуючих домішок в процесі високотемпературного відпалу в середовищі аргону.

Таким чином, оптимальним можна рахувати метод гідротермального окислення з подальшим відпалом в середовищі аргону, що дозволяє отримувати окисні плівки з низькими значеннями сумарного заряду і хорошою його стабільністю, що забезпечує значне підвищення відсотка виходу придатних діодних структур за рахунок зменшення рівня їх зворотних струмів (табл. 10, табл. 11).

4.3. Дослідження впливу процесу відпалу в атмосфері аргону структур випрямно-імпульсного діода Шотткі на його зворотні характеристики

Для проведення експерименту були використані структури діода Шотткі, технологією виготовлення якого була ізопланарна технологія [14]. Перед напиленням Мо, що формує бар'єр Шотткі, кремнієві пластини піддавалися відпалу в атмосфері аргону при 750°C впродовж 30 хв [29].

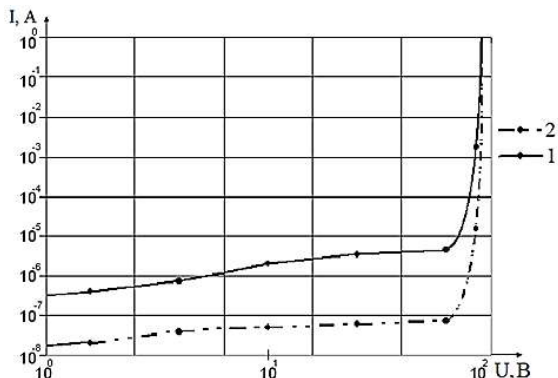


Рис. 30. Зворотні гілки ВАХ діодів: 1 – без відпалу; 2 – після відпалу в середовищі аргону при $T = 750^{\circ}\text{C}$ впродовж 20 хв

На рис. 30 приведені зворотні гілки ВАХ діодів, виготовлених за базовою технологією, а також діодів, виготовлених при використанні відпалу в середовищі аргону. З рис. 30 видно, що відпал структур діодів дає можливість істотно знизити рівень зворотних струмів діодів. Поліпшення зворотної гілки ВАХ структур діода Шотткі, в результаті їх відпалу в середовищі аргону, можна пояснити збільшенням висоти бар'єру Шотткі і зменшенням щільності поверхневих станів як на межі розділу метал-напівпровідник, так і на межі розділу Si – SiO₂.

Зменшення щільності поверхневих станів, очевидно, пов'язане з випаром небажаних домішок (наприклад, домішок металів Na, K, Fe, Ni, Cu) з поверхні діодних структур в процесі їх відпалу в середовищі аргону. Для стабілізації поверхні діодних структур необхідно забезпечити її надійний захист від негативної дії навколишнього середовища.

Висновки

Проведено оптимізацію технології виготовлення різних видів діодів Шоттки за рахунок використання гетерування. Область гетера формувалась зі зворотної сторони пластин методом іонного легування іонами фосфору або аргону, а також з використання гетеруючого шару боросилікатного скла з робочої сторони пластини. Використання гетерування дало можливість суттєво зменшити рівень зворотних струмів діодів та підвищити їх напругу пробою.

Використання лазерного гетерування в технологічному маршруті виготовлення варикапа зі зворотним градієнтом концентрації домішки в базі дало можливість значно зменшення розкид значень ємності варикапних структур по площі пластини та зменшити рівень їх зворотних струмів, що забезпечило суттєве збільшення виходу придатних приладів.

Експериментально досліджено вплив процесів формування омичних контактів на основі алюмінію і нікелю на електричні параметри варикапів та розроблені методи гетерування, впровадження яких дало можливість запобігти деградації зворотних характеристик варикапів в процесі формування омичних контактів.

Оптимізовано технологію виготовлення структур імпульсного діода. Показано, що проведення перед термічним окисненням високотемпературного відпалу кремнієвих пластин в середовищі аргону, забезпечує істотне підвищення виходу придатних приладів на операціях контролю рівня зворотного струму і значень номінальної ємності діодів.

Проведено дослідження впливу поверхневих ефектів на зворотні характеристики р-п структур. Показано, що застосування розроблених методів покращання стану поверхні структур забезпечує значне підвищення відсотка виходу придатних діодних структур за рахунок зменшення рівня їх зворотних струмів.

Література:

1. Дроздов А. В., Данилов Д.С., Юнусов И.В., Гошин Г.Г. Моделирование диодов с барьером Шоттки для применения в монолитных интегральных схемах СВЧ. Доклады ТУСУР. 2018. Т. 21. № 1. С. 28–31.

2. Kveder V., Khorosheva M., Seibt M. Interplay of Ni and Au atoms with dislocations and vacancy defects generated by moving dislocations in Si. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 242. P. 147-154.

3. Литвиненко В.Н., Богач Н.В. Дефекты и примеси в кремнии и методы их геттерирования. *Вісник ХНТУ*. 2017. №1(60). С. 32-42.

4. Круглов А.И., Крусъ А.П., Беляев А.А. Оптимизация технологий изготовления диодных структур с целью уменьшения процессов дефектообразования и улучшения параметров приборов с барьером Шоттки. *Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания*. 1989. Вып. 2(134). С. 70-74.

5. Litvinenko V. N., Vikulin I.M., Gorbachev V.E. Improvement of the reverse characteristics of schottky diodes using gettering. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*. 2019. № 1-2. P. 34-39.

6. Солодуха В.А., Ланин В.Л., Соловьев Я.А. Повышение устойчивости структур диодов Шоттки с охранным кольцом к разрядам статического электричества. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: фундаментальные науки*. 2015. № 12. С. 72-81.

7. Khorosheva M. A., Kveder V. V., Seibt M. On the nature of defects produced by motion of dislocations in silicon. *Physica Status Solidi A*. 2015. Vol. 212. iss. 8. P. 1695-1703.

8. Богач М.В., Бежан П.Л., Литвиненко В.М., Самойлов М.О., Шутов С.В. Покращення зворотних характеристик діода Шоттки з охоронним кільцем. *Електроніка та зв'язок*. 2013. № 4. С. 9-13.

9. Спосіб виготовлення діода Шоттки з охоронним кільцем. пат. на корисну модель. 111697 Україна. Литвиненко В.М. № u201603906; заявл. 11.04.2016; опубл. 25.11.2016, Бюл. №22. 5с.

10. Тимошенко С. П., Бойко А. Н., Гаев Д. С., Калмыков Р. М. Интегральный варикап повышенной емкости на основе пористого кремния. *Известия вузов. Электроника*. 2017. Т. 22. № 1. С. 15-19.

11. Vikulin I. M., Litvinenko V. N., Shutov S. V., Maronchuk A. I., Demenskiy A. N., Glukhova V. I. Enhancing parameters of silicon varicaps using laser gettering. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*. 2018. No. 2. P. 29-32.

12. Бохан Ю. И., Каменков В. С., Толочко Н. К. Доминирующие факторы лазерного геттерирования кремниевых пластин. *Физика и техника полупроводников*. 2015. Т. 49. Вып. 2. С. 278-282.

13. Харченко В.А. Геттеры в кремнии. *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*. 2018. Т. 21. № 1. С. 5-17.

14. Воротынцев В.М., Скупов В.Д. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники : учебное пособие. Москва: Проспект, 2017. 519 с.

15. Литвиненко В.М., Волос О.О., Шутов С.В., Самойлов М.О. Оптимізація технології виготовлення варикапів з омичними контактами на основі Ni та Al. *Биомедицинская инженерия и электроника*. 2017. № 5. С. 120-131.

16. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Москва: Мир, 1984. 472 с.

17. Громов Д. Г. А. И. Мочалов, А.Д. Сулимин, Шевяков В.И. Металлизация ультрабольших интегральных схем: учебное пособие. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 280 с.

18. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции / Дж. Поут та ін. Москва: Мир, 1982. 576 с.

19. Скворцов А.А., Корячко М.В. Миграция расплавленных включений Al-Si в поле структурной неоднородности кремния. Материалы Международного симпозиума «Физика кристаллов 2013», посвященный 100-летию со дня рождения профессора М. П. Шаскольской. Москва, 2013. С. 207-209.

20. Litvinenko V. N., Baganov Ye. A., Vikulin I. M., Gorbachev V. E. Influence of gettering on aluminum ohmic contact formation. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*. 2020. No. 1-2. С. 45-50.

21. Huang Hao, Shen Zheng, Wang Jun, Wang Da-Ming. Review of the Development of Fast Recovery Diode. *Progress in physics*. 2014. Vol. 34. P. 226-234.

22. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. Москва: Радио и связь, 1990. 264 с.

23. Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Ленинград, Наука, 1972. 384 с.

24. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы. Москва: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.

25. Климанов Е.А. О механизмах геттерирования генерационно-рекомбинационных центров в кремнии при диффузии фосфора и бора. *Успехи прикладной физики*. 2015. Т. 3, № 2. С. 121-124.

26. Литвиненко В.М., Баганов Є.О., Вікулін І.М., Горбачов В.Е. Показання параметрів планарного імпульсного діода при

використанні гетерування. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*. 2021. № 3-4. С. 50-56.

27. Горшков А.П., Тихов С.В. Физика поверхности полупроводников: учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. 101 с.

28. Литвиненко В.М., Вікулін І.М. Вплив властивостей поверхні на зворотні характеристики напівпровідникових приладів. *Вісник ХНТУ*. 2018. № 1(64). С. 46-56.

29. Литвиненко В.Н. Повышение надежности диодов Шоттки. *Вісник ХНТУ*. 2007. № 3 (29). С. 313-315.

Літвак О. А.

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

ЗЕЛЕНА ЕНЕРГЕТИКА ЯК КЛЮЧОВИЙ ЕЛЕМЕНТ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОГО РОЗВИТКУ: СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІ І ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ

Дослідження присвячено аналізу процесів формування низьковуглецевого розвитку в країнах світу та в Україні. Визначено, що низьковуглецевий розвиток може бути досягнутий за рахунок скорочення частки джерел енергії на основі викопного палива і збільшення обсягів використання відновлювальних джерел енергії, а також за допомогою заходів енергоефективності. Останні роки простежується світова тенденція щодо підвищення конкурентоздатності відновлюваної енергетики, особливо в секторі вітрової та сонячної енергії. Обґрунтовано, що державна політика відіграє важливу роль у трансформації енергетичних систем розвинених країн світу. Шляхом застосування фіскальних інструментів, формування галузевих стандартів уряд здатний стимулювати розвиток зеленої енергетики.

Визначено, що для України низьковуглецевий розвиток має стати основною моделлю національної економіки і сприяти економічному та соціальному розвитку. В Україні прийнято ряд законодавчо-нормативних актів в енергетичній сфері, які відповідають вимогам Паризької угоди про зміну клімату і визначають політики і заходи зі скорочення питомого споживання вуглеводневого палива і підвищення енергоефективності економіки. Сприятливі природно-кліматичні умови України, ефективне залучення та використання інвестицій нададуть можливість в повній мірі реалізувати потенціал відновлюваної енергетики в Україні з метою забезпечення кліматичної стійкості і формування процесу економічного зростання.

Вступ

Сучасний економічний розвиток характеризується високим споживанням енергії, інтенсивним забрудненням навколишнього середовища і значним рівнем викидів парникових газів внаслідок використання викопних видів палива, що призводить до ряду екологічних проблем, таких як глобальне потепління, дефіцит енергетичних ресурсів і загроза екологічній безпеці. При цьому виникають гострі суперечності між екологічними проблемами та економічним розвитком. Такі протиріччя є обмежувачим фактором соціально-економічного розвитку, і зумовлюють необхідність переходу на шлях низьковуглецевого розвитку, скорочення глобальних викидів парникових газів з метою пом'якшення наслідків зміни клімату. Така тенденція поступово стає новою точкою зростання світової економіки.

В умовах глобальних кліматичних викликів країни світу змушені планувати свій розвиток з урахуванням кліматичних ризиків і завдань боротьби зі зміною клімату. У світі стрімко розвиваються екологічно і кліматично чисті інноваційні технології виробництва електроенергії. У зв'язку з реалізацією Паризької угоди питання ефективності використання енергії та її виробництво на основі низьковуглецевих або безвуглецевих джерел є вельми актуальними.

Важливість низьковуглецевого розвитку обумовлена не тільки екологічними проблемами, а також і тим, що це основа, яка дозволяє з економічної точки зору подивитися на такі питання, як пом'якшення наслідків зміни клімату, енергозбереження, енергоефективність та раціональне використання природних ресурсів.

Основи концепції низьковуглецевого розвитку були закладені у 1992 р. в Рамковій конвенції ООН про зміну клімату (United Nations Framework Convention on Climate Change), метою якої є стабілізація концентрацій парникових газів в атмосфері [1]. Досить часто використовують взаємозамінні терміни такі, як «низьковуглецевий розвиток», «низьковуглецева економіка», «низьковуглецева стратегія розвитку», «стратегія розвитку з низьким рівнем викидів» або «низьковуглецевий план розвитку».

Поняття низьковуглецевого розвитку отримало в останні роки широке поширення як в офіційних документах, так і в дослідженнях. В деяких джерелах низьковуглецевий розвиток розглядають як

варіант концепції сталого розвитку, націлений на запобігання катастрофічних наслідків глобальної зміни клімату.

За визначенням Європейської Ради з відновлювальної енергетики (European Renewable Energy Council, EUREC) низьковуглецевий розвиток – це заміна викопного палива низьковуглецевою енергією на основі збереження економічного зростання і підвищення добробуту населення [2]. У дослідженні Міжнародної організації праці (International Labour Organization, ILO) низьковуглецевий розвиток визначено як спосіб розвитку, який спрямований на досягнення низьковуглецевої економіки за рахунок процесу декарбонізації, одночасно сприяючи сталому розвитку та боротьбі зі зміною клімату [3].

У Четвертій доповіді «Зміни клімату, 2014» Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) під низьковуглецевим розвитком (низьковуглецевою економікою) розуміється нова соціально-економічна і технологічна система, націлена на скорочення викидів парникових газів (в порівнянні з традиційною економікою) без шкоди для темпів соціально-економічного розвитку [4].

Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату було визнано, що для того, щоб глобальне збільшення середньої приземної температури повітря в порівнянні з доіндустріальним значенням було обмежено 2°C, необхідно знизити глобальні викиди CO₂ до 2050 р. на 50% в порівнянні з 1990 р. і стабілізувати їх концентрацію на рівні 450 ppm. В цьому випадку рівень концентрації всіх парникових газів буде приблизно 550 ppm в CO₂-еквівалента.

Використовуючи результати дослідження Ніколаса Стерна, що наведені у доповіді «Економіка зміни клімату», можна визначити принципи, на яких спирається низьковуглецевий розвиток:

- відокремлення економічного зростання від зростання споживання енергії та викидів парникових газів і інших забруднюючих речовин, завдяки технологічним інноваціям, зміні інфраструктури та моделі поведінки. В якості індикатора ефекту розмежування (ефекту декаплінга) може служити показник зниження енергоемності та вуглецеємності ВВП;

- досягнення ключових цілей сталого розвитку, що передбачає економічне зростання, створення робочих місць та інші соціально-економічні цілі, скорочення споживання ресурсів і посилення науково-технічного прогресу [5].

Таким чином, основну роль у формуванні низьковуглецевого розвитку на глобальному рівні і в більшості країн світу має відігравати зниження споживання вуглецевмісного викопного палива, розвиток відновлюваних джерел енергії і заходи енергоефективності в різних галузях виробництва і споживання. При цьому конкретні шляхи формування і впровадження низьковуглецевих стратегій можуть відрізнятися в залежності від рівня соціально-економічного розвитку, ресурсних та інших особливостей окремих країн.

1. Світові тенденції переходу до низьковуглецевого розвитку

Одним з важливих інструментів переходу до низьковуглецевого розвитку є регулювання викидів парникових газів. Це пов'язано з інтересами енергетичної, екологічної та кліматичної політики, що є одним з визначальних чинників сталого соціально-економічного розвитку.

Питання зміни клімату і глобального потепління є важливою проблемою для всіх країн світу і вимагає серйозних рішень. Явище парникового ефекту дуже складне і є одним з істотних кліматичних факторів. Завдяки присутності парникових газів створюються умови для існуючого на Землі біологічного різноманіття. За багато мільйонів років вміст газів, що викликають парниковий ефект, встановився на значенні, що дозволяє підтримувати теплову рівновагу на планеті. До основних парникових газів відносять CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ та фреони [6]. Ці гази сильно розрізняються своєю концентрацією в атмосфері. Підвищення сумарної концентрації парникових газів в атмосфері призводить до посилення парникового ефекту і, як наслідок, до підвищення глобальної температури. В парниковому ефекті важливу роль відіграє вуглекислий газ, обсяг якого за останній час збільшився до 20-26%.

Три чверті вкладу в глобальну емісію парникових газів дає вуглекислий газ. Основним джерелом антропогенної емісії CO₂ в атмосферу є енергетика. Більшу частину енергії, необхідної для виробництва електроенергії, опалення будинків, роботи транспорту, забезпечує викопне паливо: нафта, природний газ і вугілля, при спалюванні якого в атмосферу надходить 95% всіх антропогенних викидів вуглекислого газу. Значна кількість CO₂ виділяється при згорянні й розкладанні деревини, при

вирубіванні лісів, в результаті змін в землекористуванні, ерозії ґрунтів і в процесі ведення сільського господарства.

В рейтингу країн з найбільшими обсягами викидів вуглекислого газу від спалювання палива за 2020 рік Китай знаходиться на першому місці. На другому місці – США. Викиди вуглекислого газу в цих двох країнах забезпечують 45,5% загальносвітового обсягу. Китай та США є найбільшими споживачами викопного палива для виробництва теплової енергії, але останні роки обсяги викидів скорочуються завдяки подальшому переходу до використання природного газу, що вважається меншою загрозою для кліматичних змін і екологічної безпеки (табл. 1).

Таблиця 1

Країни з найбільшими обсягами викидів вуглекислого газу від спалювання палива за 2020 рік [7]

Країна	Обсяги викидів, млн. тонн	Питома вага у світовому обсязі викидів, %	4.1.1.1 Вуглецевий коефіцієнт, т CO ₂ /т н.е.
Китай	9717	31,3	2,87
США	4405	14,2	2,15
Індія	2191	7,1	4,41
Росія	1619	5,2	2,21
Японія	979	3,2	2,54
Іран	619	2,0	2,31
Германія	617	2,0	1,54
Південна Корея	570	1,8	2,02
Індонезія	566	1,8	2,52
Канада	516	1,7	1,02
Саудівська Аравія	492	1,6	2,35

Згідно даних Щорічника світової енергетичної статистики Enerdata в 2020 р. показник викидів вуглекислого газу в світовому енергетичному секторі складає 31,06 млрд тонн. Обсяги викидів вуглекислого газу в світі знизилися порівняно з попередніми роками. Стабільний рівень викидів відбувається, завдяки зусиллям, які вживаються розвиненими країнами для відмови від вироблення енергії на основі викопного палива та переходу на ввідновлювані джерела енергії і природний газ. Згідно інформації Міжнародного енергетичного агентства (International Energy Agency,

IEA), більше 80% нового попиту на викопне паливо припадатиме на Китай та інші азіатські країни (рис. 1).

Внаслідок специфіки структури енергоресурсів Китаю і деяких країн Азії (переважання запасів вугілля або нафтогазових родовищ) ще довгий час буде дуже складно перевести структуру енергоспоживання, засновану на використанні викопного палива на низьковуглецеве виробництво.

У 2020 р. відбулося скорочення викидів CO₂ в енергетичному секторі країн світу на 4,9 % порівняно з 2019 роком. В першу чергу, це пов'язано зі спалахом COVID-19, особливо в першій половині року, коли карантинні заходи, обмеження в сфері транспорту та уповільнення темпів економічного зростання в багатьох регіонах світу призвели до істотного скорочення споживання нафти в транспортному секторі. Падіння споживання нафти становило приблизно три чверті загального падіння попиту на енергію. Викиди CO₂ також зменшилися в енергетичному секторі через зниження попиту на електроенергію і в результаті зниження вуглецевого коефіцієнту (обсяг викидів CO₂ на спожиту тонну нафтового еквівалента), що переважно зумовлено переходом з вугілля на газ і збільшенням частки відновлюваних джерел енергії в світовому енергетичному балансі.

Зниження енергоспоживання і неухильне зростання в сфері виробництва електроенергії з відновлюваних ресурсів сприяли скороченню вироблення з теплових джерел (особливо з вугілля) і зменшення споживання викопного палива в енергетичному секторі. В основному обсяг викидів зменшився в США (-11%) і Європі (-11%, спад в Німеччині, Іспанії та Великобританії). У Китаї ж, навпаки, викиди CO₂ ростуть вже четвертий рік поспіль (+1,6%) через швидке відновлення попиту на електроенергію і стабільний рівень її виробництва на вугільних електростанціях [7].

Зростання матеріального виробництва світової економіки обумовлене збільшенням споживання паливно-енергетичних ресурсів, які відносяться до стратегічних видів мінеральної сировини. Ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в економіці країн – один з найважливіших показників рівня розвитку економіки держави, фактор задоволення постійного зростання потреб у паливі, тепловій та електричній енергії, забезпечення енергетичної безпеки, поліпшення екологічної обстановки.

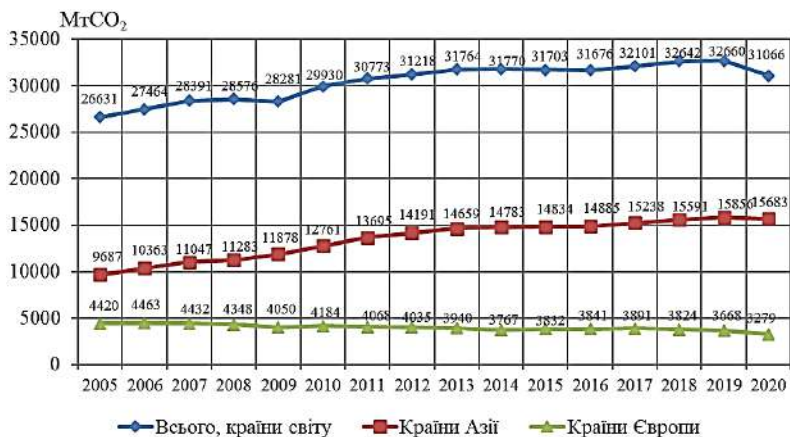


Рис. 1. Динаміка викидів CO₂ в енергетичному секторі країн світу за 2005-2020 роки

Неефективне використання паливно-енергетичних ресурсів призводить до значних втрат в економіці, погіршує екологічну обстановку на місцевому, регіональному і глобальному рівнях. В якості одного з показників, що характеризують на макрорівні ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в світовій практиці, застосовується енергоємність валового внутрішнього продукту.

Енергоємність визначається шляхом ділення обсягу первинних енергоресурсів, що споживаються за певний період в країні, на обсяг валового внутрішнього продукту, виробленого за той же період. Тобто це інтенсивність використання енергії на одиницю ВВП. При цьому всі види енергоресурсів призводять до умовної одиниці виміру, в якості якої може бути прийнята або тонна (кілограм) умовного палива, або тонна (кілограм) нафтового еквівалента. ВВП визначається у доларах при за постійним паритетом купівельної спроможності.

У 2020 р. енергоємність в світі скоротилася на 0,4%, що набагато менше, ніж в попередні кілька років (в середньому -1,5% на рік в період з 2000 по 2019 роки). За таких обставин досить складно утримати підвищення світової температури в межах 2°C знову. Оскільки для досягнення цієї мети потрібно домогтися скорочення до 3,5% на рік. Основною причиною такого

уповільнення є економічний спад у 2020 р., який негативно вплинув на економічну активність і не дозволив пропорційно скоротити споживання електроенергії. Показники енергоємності ВВП в країнах світу сильно розрізняються, що відображає різницю в економічній структурі та досягнення в сфері підвищення енергоефективності. За період з 2000-2020 роки країни Європейського Союзу і США скорочують енергоємність приблизно до 2% на рік. Цьому сприяють заходи щодо підвищення енергоефективності і впровадження промислових технологій з меншим питомим енергоспоживанням. Китай має більш високий показник енергоємності порівняно з середнім світовим значенням. Хоча у 2020 р. ця країна спожила на 43% електроенергії менше, ніж у 2000 р., але все одно на 27% більше середнього світового показника (рис. 2).

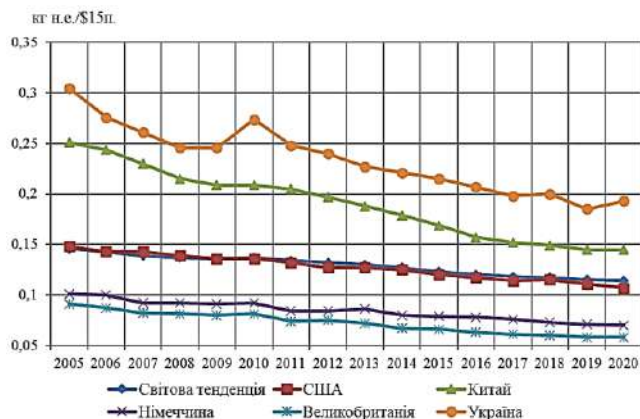


Рис. 2. Динаміка енергоємності економік країн світу

Високий показник енергоємності ВВП в країнах Близького Сходу, в Росії, Китаї та ряді азіатських країн (Тайвань, Південна Корея) пояснюється переважанням енергоємних галузей, спрямованістю економіки на експорт ресурсів і низькими цінами на енергію (відсутні стимули підвищувати енергоефективність) [8].

Процеси декарбонізації виробництва передбачають використання енергетичних ресурсів з низькими обсягами викидів CO₂ протягом всього життєвого циклу. Порівняння емісії вуглекислого газу при використанні різних первинних

енергоресурсів для вироблення електроенергії і для опалення наведені в табл. 2.

Таблиця 2
Викиди вуглекислого газу при використанні різних енергетичних ресурсів [9]

Енергетичний ресурс	Обсяг викидів CO ₂ , г/кВт·год
Буре вугілля (для виробництва електроенергії)	1153
Кам'яне вугілля (для виробництва електроенергії)	949
Буре вугілля (опалення)	729
Кам'яне вугілля (опалення)	622
Природний газ (для виробництва електроенергії)	428
Біомаса	409
Природний газ (для виробництва електроенергії та опалення)	148
Атомна енергія (для виробництва електроенергії)	32
Сонячна енергія (для виробництва електроенергії)	27
Енергія вітру (для виробництва електроенергії)	24

Найвищий показник за обсягами викидів протягом життєвого циклу на кВт·годину електроенергії, що виробляється паливом, становить для вугілля 1153 г CO₂ і для газу 428 г CO₂. На відміну від цього, сонячна фотоелектрична енергія виділяє 27 г CO₂, а енергія вітру до 24 г CO₂.

Існує дискусія про те, чи можна вважати природний газ «низьковуглецевим» енергетичним ресурсом. Незважаючи на те, що природний газ вважається більш екологічно чистим паливом в порівнянні з вугіллям і нафтою, при його спалюванні виділяється в 15 разів більше CO₂, ніж при використанні сонячної енергії, і в 18 разів більше CO₂, ніж виділяють вітряні електростанції. Тому, природний газ досить часто розглядають як «перехідне паливо» від вугілля до відновлюваних джерел енергії, оскільки його життєвий цикл викидів вуглекислого газу в два рази нижче, ніж у вугілля.

Існують суперечливі погляди і дослідження щодо реальних викидів парникових газів при використанні ядерної енергії протягом всього життєвого циклу. Так, Ітан Уорнер і Гарвін Хіт у своєму дослідженні виявили, що життєвий цикл ядерної енергетики коливається від 4 г до 220 г CO₂/кВт·год [10]. При

цьому враховувалися всі фактори: починаючи з видобутку уранової руди, збагачення урану і закінчуючи поводженням з радіоактивними відходами. Тому, на нашу думку, атомна енергія не може розглядатись у якості джерела зеленої енергії, оскільки при її використанні існує небезпека аварій і радіоактивного забруднення, яке може охопити значні території і бути причиною негативних екологічних наслідків як для навколишнього середовища так і для здоров'я населення.

Таким чином, низьковуглецевий розвиток може бути досягнутий:

- за рахунок скорочення частки джерел енергії на основі викопного палива і збільшення обсягів використання джерел зеленої енергетики, тобто відновлювальних джерел енергії;

- а рахунок зниження попиту на енергію, засновану на джерелах викопного палива, за допомогою заходів і напрямків політики з енергоефективності.

Зелена енергетика є одним з ключових елементів низьковуглецевого розвитку. Конкурентоздатність відновлюваної енергетики істотно збільшується останні роки. Незважаючи на кризу, спричинену COVID-19, відновлювана енергія на чолі з вітровою та сонячною енергією продовжувала активно зростати. Примітно, що вітрові та сонячні потужності у 2020 році зросли на колосальні 260 ГВт, що на 50% більше, ніж будь-який попередній період і більш ніж у чотири рази перевищує потужність з інших джерел (рис. 3, рис. 4).

За останні роки в країнах світу щорічно до електромережі додавалося більше відновлюваних джерел енергії, ніж викопного палива та ядерної енергії разом узятих. Технології відновлюваної енергії зараз домінують на світовому ринку нових виробничих потужностей, оскільки вони стали більш дешевими джерелами електроенергії на багатьох ринках [11]. Це сприяє активним процесам декарбонізації енергетичного сектору.

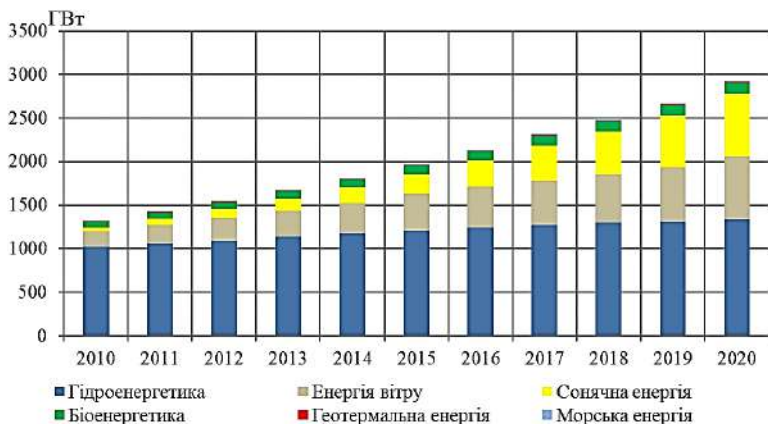


Рис. 3. Динаміка встановлених потужностей відновлювальних джерел енергії у світі, ГВт



Рис. 4. Порівняння питомої ваги видів відновлювальних джерел енергії за 2010 і 2020 роки

У 2020 р. вироблення електроенергії з відновлюваних ресурсів (в тому числі гідроенергії) збільшилася більш ніж на 6% завдяки постійному зростанню виробництва вітрової та сонячної енергії, а частка гідроенергії в світовому енергетичному балансі з 2000 р. стабільно становить близько 16%. Таким активним темпам в галузі вироблення електроенергії з відновлюваних ресурсів в ЄС, США, Китаї, Індії, Японії, Чилі та Австралії сприяли масштабні

програми по боротьбі зі змінами клімату і зниження вартості технологій в вітровій і сонячній енергетиці [12]. Сприятливі гідрологічні умови також привели до збільшення вироблення електроенергії з поновлюваних джерел в Китаї, Європі (особливо в Швеції і Норвегії), Бразилії і Японії. На частку відновлюваних джерел енергії сьогодні припадає 38% енергетичного балансу в ЄС, 28% в Китаї, 23% в Індії і 20% в США та Японії (рис. 5).

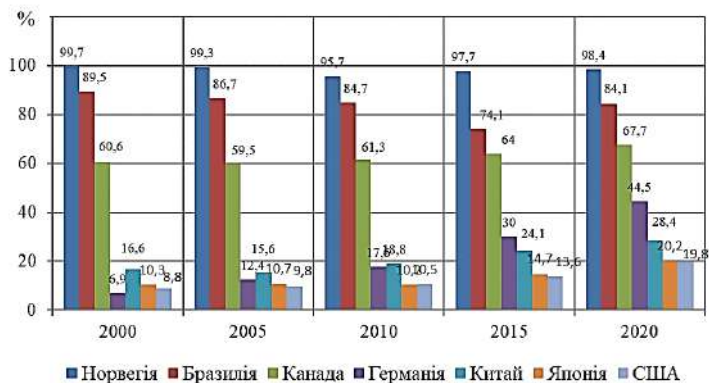


Рис. 5. Частка відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії в деяких країнах світу у 2020 році [12]

Країни ЄС висувають все більш високі вимоги до стандартів екологічної безпеки, їх зусилля спрямовані на пошук альтернативи традиційному викопному паливу. Залежність від імпорту енергоносіїв, високі ціни на них, політичний фактор, кліматичні зміни стимулюють використання альтернативних видів палива. Питома вага відновлюваних джерел енергії значно зросла і сформувала 38% європейського електроенергії у 2020 році (порівняно з 34,6% у 2019 році), вперше випередивши виробництво газу, яке впало до 37%. Це важлива віха на шляху переходу Європи до зеленої енергетики та низьковуглецевого розвитку. На рівні окремих країн Німеччина та Іспанія (та окремо Велика Британія) також вперше досягли цієї мети.

Активне використання вітрової і сонячної енергії сприяє розвитку зеленої енергетики в Європі. Вітрогенерація зросла на 9% у 2020 році, а сонячна – на 15%, що разом складає п'яту частину електроенергії Європи. З 2015 р. вітрова та сонячна енергія

забезпечують зростання відновлюваних джерел енергії в Європі, оскільки розвиток біоенергетики призупинився, а виробництво гідроенергії залишається незмінним (рис. 6).

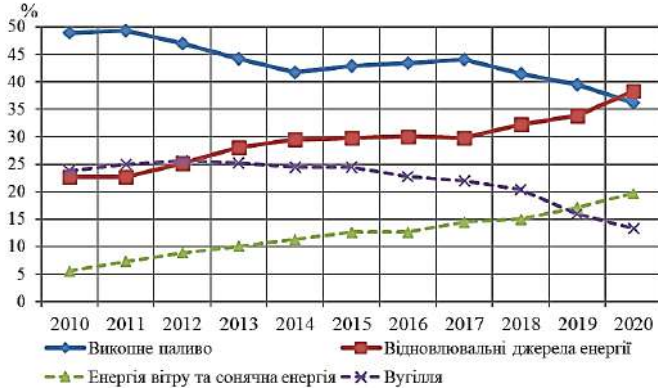


Рис. 6. Динаміка питомої ваги різних видів первинної енергії в виробництві електроенергії в ЄС-27 [13]

Виробництво вугілля скоротилося на 20% у 2020 р. і зменшилося вдвічі з 2015 р. Незважаючи на пандемію, видобуток газу в 2020 р. впав лише на 4%. Атомна енергетика знизилася свої потужності на 10% у 2020 р., що є найбільшим падінням за багато років.

Це означає, що електроенергія в Європі в 2020 р. була на 29% чистішою, ніж у 2015 р. Вуглецева інтенсивність знизилася з 317 грамів CO₂ за кіловат-годину в 2015 р. до 226 грамів у 2020 р. Хоча за цей час видобуток вугілля скоротився, зниження компенсувалося збільшенням видобутку газу, що сповільнювало зменшення вуглецеємності енергетичного сектору.

Країни-лідери Європи у використанні енергії вітру та сонячної енергії – це Данія (61 % вироблених потужностей за рік), Ірландія (35 %), Німеччина (33 %) і Іспанія (29 %). Тоді як деякі країни продовжують відставати, незважаючи на чудові сонячні та вітрові умови. В цих країнах майже не спостерігалось зростання потужностей зеленої енергетики з 2015 року – це Португалія, Румунія, Австрія, Італія, Чехія, Словаччина та Болгарія.

Що стосується Німеччини, то хоча ця країна і володіє значними потужностями відновлюваних джерел енергії, її електроенергія все ще залишається набагато бруднішою за середній показник у ЄС через відносно високу частку використання вугілля [13].

Енергетичний сектор, відомий своїми повільними темпами змін, зараз переживає динамічний перехід. Навіть в умовах потрясінь, спричинених пандемією COVID-19, системи на основі відновлюваних джерел енергії продемонстрували надзвичайну стійкість і технічну надійність

Наразі низьковуглецевий розвиток став пріоритетом в політичних програмах багатьох країн світу. У грудні 2019 р. Європейська комісія розробила «Європейський зелений курс» (European Green Deal) – в основі якого передбачається досягнення «вуглецевої нейтральності» до 2050 року (скільки емітували CO₂, стільки і поглинули) і забезпечення стійкості економіки ЄС. В документі зазначено, що подальша декарбонізація енергетичної системи має вирішальне значення для досягнення кліматичних цілей у 2030 та 2050 роках. Виробництво та використання енергії у різних секторах економіки становлять понад 75% викидів парникових газів ЄС. Енергоефективність повинна бути у пріоритеті. Необхідність розвитку енергетичного сектору, який базуватиметься переважно на відновлюваних джерелах, доповнюючись швидким припиненням видобутку вугілля та декарбонізації газу. Водночас енергопостачання ЄС має бути безпечним і доступним для споживачів та бізнесу. Для того, щоб це сталося, важливо забезпечити повну інтеграцію європейського енергетичного ринку, дотримуючись технологічного нейтралітету [14].

Згідно розробленого «Європейського зеленого курсу» передбачається підвищення частки відновлюваних джерел енергії в енергобалансі до 38-40% (в електроенергії – до 65%). При цьому до 2030 р. ЄС передбачає скоротити споживання вугілля на 70%, а нафти і газу – на 30 і 25% в порівнянні з 2015 р. На реалізацію поставлених цілей заплановано держане фінансування в розмірі 1 трлн євро на найближчі 10 років.

Одна з ключових вимог Паризької угоди зі змін клімату передбачає розробку і реалізацію національних стратегій довгострокового розвитку з низьким рівнем викидів парникових газів для зниження ризиків кліматичних змін для населення і економіки [15]. За даними ООН більше ніж 14 країн світу і ЄС-27 розробили стратегії довгострокового низьковуглецевого розвитку. Стратегія США передбачає зниження викидів парникових газів на 80% або більше до 2050 (від рівня 2005 року), Японії – на 80% до 2050 року від рівня 1990 року, а мета Європейського Союзу – вуглецева нейтральність до 2050 року (табл. 3).

Наразі національні енергетичні та кліматичні плани складають лише близько 72 ТВт-год нових генерацій вітрової та сонячної енергії на рік, а не 100 ТВт-год/рік, які необхідні для низьковуглецевого розвитку. Перехід від вугілля до зеленої енергії все ще занадто повільний, щоб досягти 55% скорочення викидів парникових газів до 2030 року та кліматичної нейтральності до 2050 року. Очевидно, що країнам ЄС необхідно значно посилити свої зобов'язання щодо боротьби зі зміною клімату до 2030 року [16].

Розумна інтеграція відновлюваних джерел енергії, енергоефективності та інших стійких рішень у різних секторах допоможе досягти декарбонізації за найменші можливі витрати. Паралельно буде сприяти декарбонізації газового сектору, в тому числі шляхом посилення підтримки розробки декарбонізованих газів, за допомогою перспективного планування конкурентоспроможного ринку декарбонізованого газу та вирішення проблеми викидів метану, пов'язаного з енергоспоживанням.

Таблиця 3

**Заявлені цілі країн світу у досягненні
низьковуглецевого розвитку [17; 18; 19]**

Країна	Ціль до 2030 р.	Ціль до 2050 р.
Китай	Скорочення вуглецеємності ВВП на 60-65 % від рівня 2005 р.	Довгострокова стратегія відсутня
США	Скорочення викидів парникових газів на 26-28 % до 2025 р. від рівня 2005 р.	Скорочення викидів парникових газів на 80 % від рівня 2005 р.
Індія	Скорочення вуглецеємності ВВП на 33-35 % від рівня 2005 р.	Довгострокова стратегія відсутня
Японія	Скорочення викидів парникових газів на 25 % від рівня 2005 р.	Скорочення викидів парникових газів на 80 % до 2050 р. від рівня 2013 р.
Південна Корея	Скорочення викидів парникових газів на 37 % до 2030 р. за сценарієм мінімальних витрат ВАУ («Business as Usual»)	Скорочення викидів парникових газів до рівня 396 млн т CO ₂ -екв.
Канада	Скорочення викидів парникових газів на 30 % до 2030 р. від рівня 2005 р.	Скорочення викидів парникових газів на 80 % до 2050 р. від рівня 2005 р.
Германія	Скорочення викидів парникових газів на 55 % до 2030 р. від рівня 1990 р.	Скорочення викидів парникових газів на 80-95 % до 2050 р. від рівня 1990 р.
Країни ЄС-27	Скорочення викидів парникових газів на 40 % до 2030 р. від рівня 1990 р.	Досягнення вуглецевої нейтральності.

Перехід до кліматичної нейтральності також потребує відповідної інфраструктури. Посилення транскордонного та регіонального співробітництва допоможе досягти переваг переходу на низьковуглецеву енергію за доступними цінами. В пріоритеті розвиток інноваційних технологій і формування інфраструктури на базі розумних електромереж, збирання, зберігання та використання вуглецю, зберігання енергії [20].

На думку багатьох дослідників, розвиток глобальної енергетичної системи увійшов в новий етап фундаментальної трансформації. Такі зміни прийнято називати «Енергетичним переходом» (Energy Transition), однак уявлення про швидкість і глибину цього процесу значно відрізняються.

Важливим чинником енергетичного переходу вважається технічний прогрес і поява абсолютно нових технологічних рішень, які здатні значно підвищити ефективність енергетичного сектора і змінити традиційний спосіб його функціонування. Таким чином світова економіка вступає в етап 4-го енергетичного переходу, пов'язаного з широким використанням відновлюваних джерел енергії та витісненням викопних видів палива.

Термін «енергетичний перехід» був запропонований канадським вченим Вацлавом Смілом і використовується «для опису зміни структури первинного енергоспоживання і поступового переходу від існуючої схеми енергозабезпечення до нового стану енергетичної системи» [21]. Розподіл енергетичних переходів, запропонований В.Смілом наведено нижче (табл. 4; рис. 7).

Енергетичний перехід – це радикальний зсув енергетичної системи від існуючої моделі до нової парадигми. Це досить складний процес і він виходить за рамки лише заміни одного джерела енергії іншим. На думку британського професора Бенджаміна Совакула, енергетичний перехід включає зміни в трьох взаємопов'язаних вимірах [25]:

- матеріальні елементи енергетичної системи, які включають технології, інфраструктуру, ринок, виробниче обладнання, моделі споживання та ланцюги розподілу енергетичних ресурсів;
- нові стратегії та моделі інвестування, зміна виробників енергії, зміна поведінки бізнесу;
- соціально-технічні режими, які містять офіційні правила, стандарти та політику, а також систему мислення та переконань.

Таблиця 4

**Характеристика енергетичних переходів у зміні структури
первинного енергоспоживання [22]**

Енергетичний перехід	Характеристика
Перший енергетичний перехід	Перехід від використання біомаси до вугілля. Частка вугілля в загальному обсязі споживання первинної енергії з 1840 по 1900 роки збільшилася з 5% до 50%. Вугілля стало основним джерелом енергії індустріального світу
Другий енергетичний перехід	Активний видобуток і поширення використання нафти. Частка нафти і нафтопродуктів в первинному енергоспоживанні зростає з 3% в 1915 р. до 45% у 1975 р. Найбільш інтенсивний період переходу з вугілля на нафту припав на роки після Другої світової війни. Почалося «століття моторів» і переважання нафти. Період завершився в кінці 1970-х років нафтовою кризою.
Третій енергетичний перехід	Активне використання природного газу. Його частка в первинному енергоспоживанні зростає з 3% в 1930 р. до 23% в 2017 р. за рахунок часткового витіснення як вугілля, так і нафти.
Четвертий енергетичний перехід	Останні роки відбувається початок четвертого енергетичного переходу. Відбувається активний розвиток широкого спектру відновлюваних енергетичних ресурсів і технологій: вітрові електростанції, сонячні батареї, використання біомаси та відходів споживання і виробництва. Частка відновлюваних джерел енергії (без урахування гідроенергії) в світовому загальному обсязі споживання первинної енергії стрімко зростає

Державна енергетична політика відіграє важливу роль у трансформації енергетичної системи. Шляхом застосування фіскальних інструментів (податків, субсидій), формування галузевих стандартів відносно палива і транспортних засобів, а також за допомогою специфічних регулятивних заходів уряд

здатний істотно стимулювати або, навпаки, дестимулювати споживання того чи іншого виду палива і управляти попитом на енергоносії. При цьому найчастіше механізми державної підтримки виявляються настільки потужним драйвером для зміни енергобалансу, що переважають об'єктивні економічні показники [26].

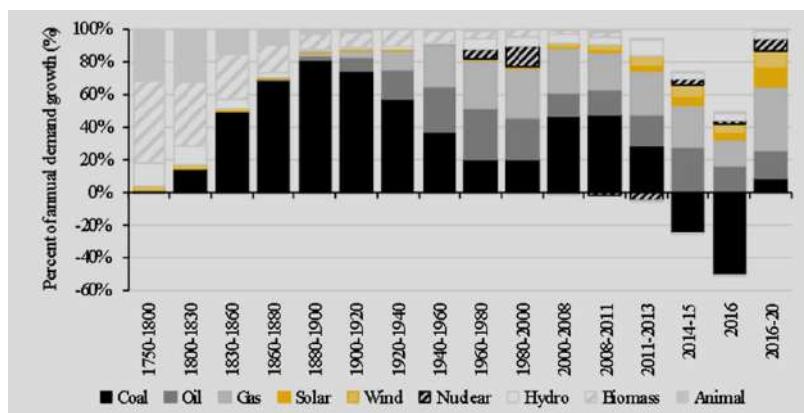


Рис. 7. Глобальна енергія та первинні енергетичні ресурси [23; 24]

На етапі четвертого енергетичного переходу, на відміну від попередніх трьох, основним спонукальним чинником стає не економічна привабливість нових джерел енергії, а декарбонізація виробництва і боротьба з глобальною зміною клімату (табл.5).

Безперечним є прагнення урядів всіх країн забезпечити конкурентоспроможність національних економік і прискорити їх зростання за рахунок універсального доступу до енергії, а також прагнення підвищити енергетичну безпеку, знижуючи залежність від імпорту вуглеводнів і нарощувати поставки від місцевих ефективних низьковуглецевих джерел енергії.

З боку суспільства до паливно-енергетичних ресурсів висуваються вимоги: доступність енергії в достатніх обсягах і за прийнятними цінами; надійність і безпека енергопостачання; екологічність, тобто мінімізації антропогенного впливу енергосистем на навколишнє середовище і здоров'я населення.

Таблиця 5

Державні інструменти енергетичної політики в напрямку низьковуглецевого розвитку і боротьби зі зміною клімату

Інструменти		Пояснення
Економічні	Податки	Податок на вуглець (стосовно виробництва електроенергії або палива).
	Продаж дозволів на допустимий обсяг викидів	<ul style="list-style-type: none"> – Торгівля викидами парникових газів. – Кредити на викиди в рамках механізму – чистого розвитку (Clean Development Mechanism, CDM), який визначений у Кіотському протоколі. – Продаж зелених сертифікатів.
	Субсидії	<ul style="list-style-type: none"> – Відмова від субсидій на викопне паливо. – Пільгові тарифи для стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії.
Нормативно-правові	Підходи до регулювання діяльності у секторі енергетики	<ul style="list-style-type: none"> – Стандарти енергоефективності, енергетичного та екологічного менеджменту. – Стандартизований портфель відновлюваних джерел енергії. – Рівний доступ до електромережі. – Правовий статус довгострокового зберігання CO₂.
Соціальні	Надання державою суспільних благ та послуг	<ul style="list-style-type: none"> – Наукові дослідження і інноваційні розробки – Розширення інфраструктури сектора зеленої енергетики (автономні котельні, розвиток громадського електротранспорту тощо) – Інвестиції в інфраструктуру транспорту на базі альтернативного палива; – Підготовка кадрів і формування екологічної свідомості населення.
Інформаційні	Інформаційні програми	<ul style="list-style-type: none"> – Енергетичний аудит. – Програми консультування з питань енергетики. – Аналіз статистичних даних.

Важливо і те, що в різних секторах економіки декарбонізація стає ключовим параметром конкурентоспроможності. Глобальні кліматичні проблеми стимулюють компанії брати на себе зобов'язання щодо повного переходу на відновлювані джерела енергії, інвестори по всьому світу відмовляються від

фінансування секторів, пов'язаних з високими викидами CO₂ і інших шкідливих речовин.

Таким чином, зелена енергетика та енергоефективність є ключовими елементами успішного енергетичного переходу та низьковуглецевого економічного розвитку. Але інтеграція енергетичних технологій декарбонізації в світову енергетичну систему як з технічної, так і з ринкової точки зору містить певні складності.

Сучасний перехід світового енергетичного сектору потребуватиме значних інвестицій. Кліматична політика вимагатиме збільшення масштабу інвестицій щодо технологічного переоснащення енергосистеми до 3,8 трильйонів доларів США на рік у всьому світі в середньому за період 2020–2050 роки [27].

Енергетичний перехід буде надзвичайно складним, так як потрібно вирішувати ряд політичних, економічних та технічних проблем та викликів. В реальних умовах, дуже важко передбачити розвиток процесу енергетичного переходу, оскільки при цьому відбувається взаємодія інституцій, технологічних рішень, бізнесу і суспільства.

2. Пріоритети переходу до низьковуглецевого розвитку енергетичного сектору в Україні

Експертами всього світу оцінюються ризики, пов'язані з глобальною зміною клімату, його політичні, соціально-економічні, демографічні наслідки.

Згідно досліджень українських вчених, основними негативними наслідками зміни клімату в Україні є: підвищення ризиків для здоров'я людини, пов'язаних практично з усіма проявами гідрометеорологічних явищ; значне зменшення врожаїв основних сільськогосподарських культур; загострення проблем з водопостачанням вже не тільки південних і південно-східних регіонів; посилення деградації земель та опустелювання; зменшення продуктивності, життєздатності та стійкості лісів; пришвидшення деградації екосистем; виникнення аварій і нестабільного функціонування електричних мереж та централізованих систем теплопостачання, інших об'єктів інфраструктури та багато іншого [28].

У липні 2016 року Україна ратифікувала Паризьку угоду про зміну клімату і відповідно взяла на себе зобов'язання утримати підвищення середньої температури в межах 2°C, а також поряд з

іншими країнами була покликана розробити довгострокову стратегію низьковуглецевого розвитку.

Низьковуглецевий розвиток має стати основною моделлю національної економіки та сприяти економічному та соціальному розвитку нашої країни. Тому у грудні 2016 року Кабінетом Міністрів України була схвалена «Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року». Метою Концепції є вдосконалення державної політики у сфері зміни клімату для досягнення сталого розвитку держави, створення правових та інституційних передумов для забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку за умови економічної, енергетичної та екологічної безпеки і підвищення добробуту громадян. Одним з результатів Концепції передбачено забезпечення дотримання усіх зобов'язань України за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату та іншими міжнародними угодами у сфері зміни клімату і забезпечення досягнення у 2030 році очікуваного національно визначеного внеску, який не перевищуватиме 60 % рівня базового 1990 року (тобто зниження викидів парникових газів на 40% до 2030 року) [29].

У липні 2021 року Кабінетом Міністрів України було схвалено Оновлений (другий) національно визначений внесок України в Паризьку угоду, відповідно до якого викиди парникових газів мають скоротитися на 65% до 2030 року від рівня 1990 року [30]. Досягнення кліматичної нейтральності передбачено в Україні не пізніше 2060 року, як це визначено в «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року» [31].

Показник скорочення викидів на 65% до 2030 р. було отримано з огляду на розрахунок, що в 1990 р. викиди оксиду вуглецю в Україні з урахуванням землекористування та лісівництва становили 884 млн тонн. При цьому в 2019 р., згідно з кадастром, викиди CO₂ становили 332 млн тонн – 37,6% від рівня 1990 року.

У липні 2018 року була затверджена Кабінетом міністрів України «Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року» у її фокусі знаходиться розгляд і оцінка різних сценаріїв низьковуглецевого розвитку і визначення політик і заходів переходу економіки України до моделі економічного зростання, що поєднується зі зниженням викидів парникових газів (рис. 8) .

Важливими рисами такого економічного зростання є: низькі вуглецеві викиди; ефективне використання природних ресурсів; збереження, збільшення і відновлення природного капіталу;

запобігання втрати біорізноманіття та екосистемних послуг; зростання доходів і зайнятості.

Таким чином, в Україні прийнято ряд законодавчо-нормативних актів в енергетичній сфері, які відповідають вимогам Паризької угоди про зміну клімату та Кіотського протоколу. Політики і заходи за даними нормативними актами відповідають дотриманню обмежень по викидах парникових газів і стали основою при проведенні в країні роботи зі скорочення питомого споживання вуглеводневого палива і підвищення енергоефективності економіки.

Україна виробляє близько двох третин необхідних енергоресурсів самостійно, проте, при цьому, для задоволення внутрішнього попиту вона продовжує імпортувати газ, неочищену нафту та нафтопродукти [33]. В останні роки відбувається зниження обсягів виробництва енергії. Загальне постачання первинної енергії в Україні у 2019 році дорівнювало 89072 тис. т н.е., що 32, 8 % менше ніж у 2010 році (рис. 9).

За даними Державної служби статистики України у структурі загального постачанні первинної енергії у 2019 р. перше місце займає вугілля і торф (28,9 %), за ними слідує природний газ (26,3%), третє місце належить атомній енергії (24,4 %), четверте – нафті і нафтопродуктам (15,3 %). Відповідно частка викопного паливо у складі первинної енергії у 2019 р. складає – 70,5 %. За десять років (2010-2019 рр.) знизилася питома вага природного газу на 15,5 в.п. і збільшилася частка відновлюваних джерел енергії з 2 % (з гідроенергією) у 2010 році до 4,9 % у 2019 році, в основному за рахунок використання біопалива та відходів (рис. 10).

При цьому відбувається нарощування потужностей сонячних та вітрових електростанцій. Обсяг виробництва сонячної енергії у 2018-2019 роках збільшився з 948,2 до 2 640,4 МВт та обсяг виробництва вітрової енергії – з 515,4 до 776,4 МВт відповідно [34].

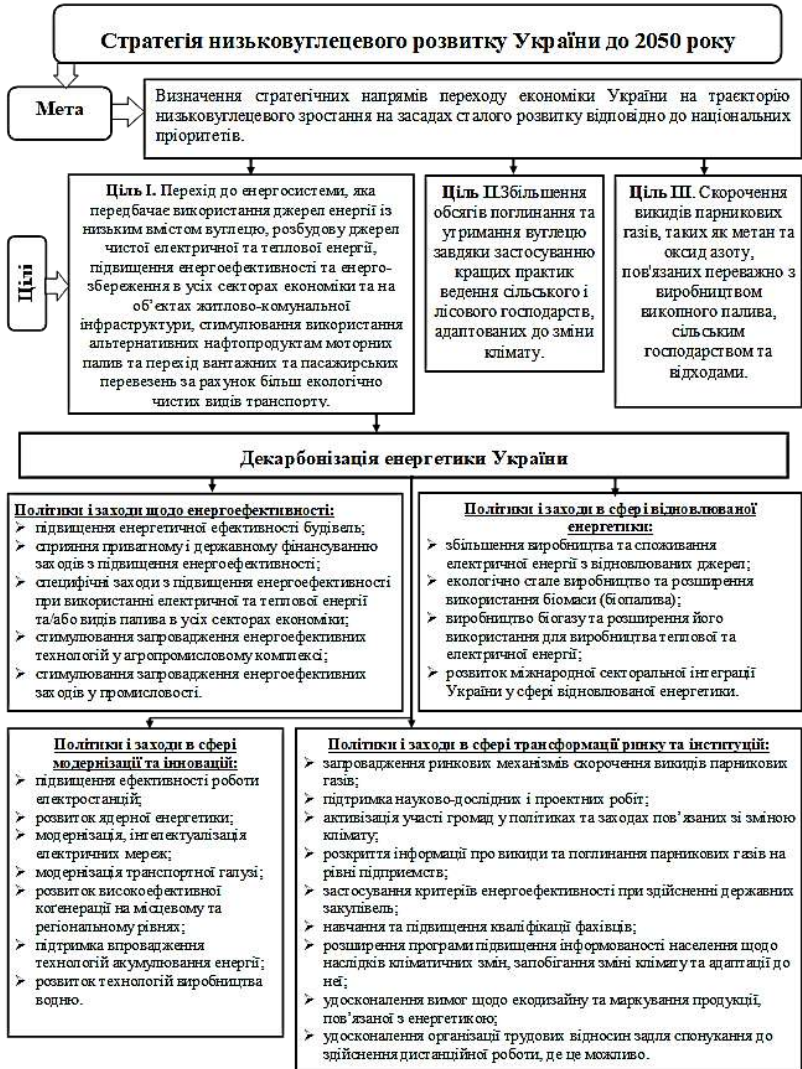


Рис. 8. Цілі, політики і заходи Стратегії низько вуглецевого розвитку України до 2050 року [32]

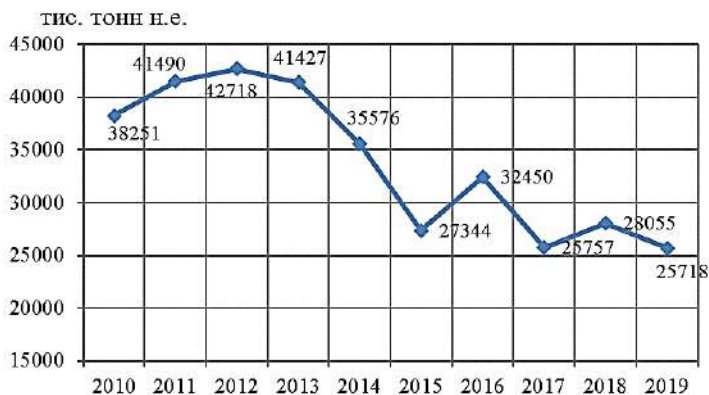


Рис. 9. Динаміка загального постачання первинної енергії в Україні за період 2010-2019 роки

Одним з важливих інструментів переходу до низько-вуглецевого розвитку є регулювання викидів парникових газів в секторах економіки. Треба відзначити, що процес декарбонізації енергетичного сектору України відбувається, але потребує інтенсифікації. При цьому обсяг викидів вуглекислого газу в атмосферне повітря в 2020 р. склав 170 млн т CO₂, це в 4 рази менше ніж даний показник у 1990 р. (690 млн т CO₂). Таке скорочення, в основному, є наслідком зменшення використання енергетичних ресурсів через спад ВВП, зниження чисельності населення та соціальних стандартів життя людей. Але протягом останніх років тенденція до зниження емісії вуглекислого газу є досить незначна. Головним чином, викиди CO₂ є результатом спалювання вугілля, газу та мазуту на електростанціях і в котельнях. Джерелами більшої частини викидів є централізоване вироблення тепла та виробництво електроенергії (рис. 11).

Показники вуглецеємності ВВП (інтенсивності викидів CO₂) і вуглецевого коефіцієнту (обсяги викидів CO₂ на спожиту тунну нафтового еквівалента) також мають тенденцію до зниження. В першу чергу це пов'язано зі зниженням обсягів споживання енергії, особливо в період карантинних заходів під час пандемії і обмежень в транспортному секторі у 2020 році. (рис. 12). Але порівняно з вуглецеємністю і вуглецевим коефіцієнтом розвинених країн світу, де активно впроваджуються державна

низьковуглецева енергетична політика, показники України досить високі. Так, у 2020 р. вуглецеємність секторів економіки України складала 0,379 кг CO₂/\$15 п., що в 5,9 разів більше ніж у Швеції (0,064) і в 2,7 рази більше ніж в середньому в країнах Європейського Союзу (0,139). Вуглецевий коефіцієнт в Україні за 2020 р. складає 1,96 т CO₂/т н.е., що в 2,8 рази ніж в Швеції (0,69) і в 1,3 рази більше ніж в Німеччині.

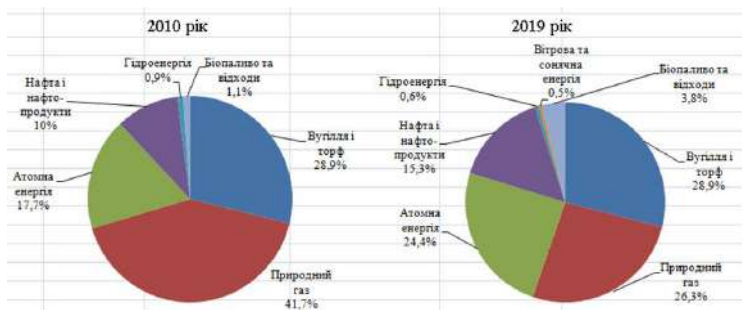


Рис. 10. Порівняння структури загального постачання первинної енергії в Україні у 2010 та 2019 роках

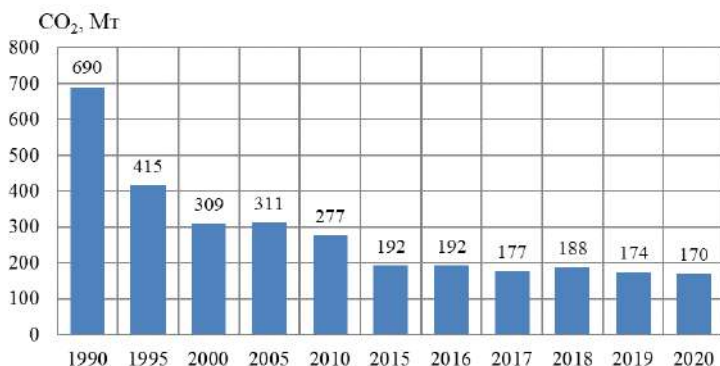


Рис. 11. Динаміка обсягів викидів CO₂ від спалювання палива в Україні [35]

У порівнянні з розвиненими країнами світу в Україні енергоємність ВВП має дуже високий показник. У 2020 році Україна

знаходилася на восьмому місці серед країн з максимальним показником енергоємності. Інтенсивність використання енергії на одиницю ВВП (за постійним паритетом купівельної спроможності) України у 2020 році становила 0,193 кг н.е./\$15п., що в 1,7 рази більше ніж середній світовий показник і в 3,3 рази більше ніж енергоємність Великої Британії, яка має один з самих низьких показників (див. рис. 2). Наша країна знаходиться на 5-му місці серед країн з максимальною енергоємністю.

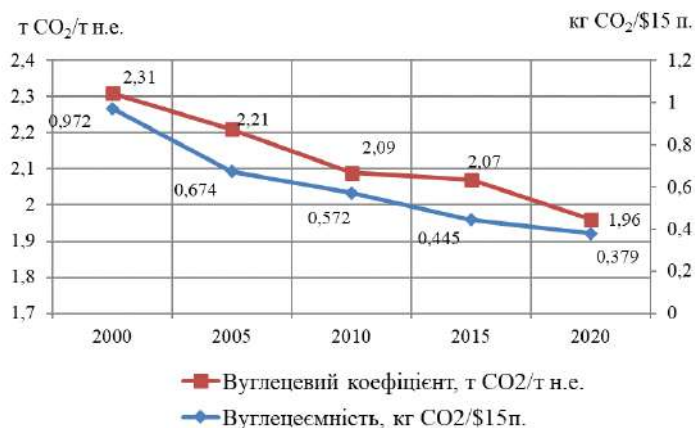


Рис. 12. Динаміка зміни вуглецевого коефіцієнта та вуглецеємності економіки України [36]

Питання забезпечення енергетичної безпеки країни напряму пов'язані з екологічними і природоресурсними проблемами. Переважна більшість використовуваних енергетичних ресурсів в Україні відноситься до вичерпних. Встановлена потужність енергосистеми України складає станом на кінець 2020 р. 54 365,30 МВт. Більше половини встановленої енергетичної потужності вироблено на теплових електростанціях і теплових теплоцентралях (51,34 %), які працюють переважно на викопному паливі (табл. 6).

Таким чином, ризики, пов'язані зі зміною клімату, а також загострення проблем загального доступу до енергетичних ресурсів спонукають до активних процесів декарбонізації і розвитку зеленої енергетики.

Україна володіє значним потенціалом зеленої енергетики. Загальний економічно-доцільний потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні оцінюється приблизно в 454,4 млрд. кВт·год., або 59,2 млн. т у. п. на рік [37].

Таблиця 6

**Встановлена потужність енергосистеми України
станом на кінець 2020 року**

Тип електростанції	Потужність, МВт	Питома вага у загальній встановленій потужності, %
Атомні електростанції	13 835	25,45
Теплові електростанції	21 842	40,18
Теплові електроцентралі	6 069,6	11,16
Гідроелектростанції	4 812,5	8,85
Гідроакumuлюючі електростанції	1 487,8	2,74
Сонячні електростанції	5 061,6	9,31
Вітрові електростанції	1 070,7	1,97
Біоенергетичні електростанції	186,1	0,34

Сонячна енергія вже відіграє важливу роль в енергетичній системі країни, від невеликих побутових установок до масштабних проектів. В останні роки вартість сонячних панелей знижується. Через зменшення витрат та низькі викиди CO₂ обсяги сонячних панелей будуть продовжувати зростати на основних ринках України та у всьому світі, сприяючи зростанню частки низьковуглецевої електрифікації.

Використання сонячної енергії можливе в трьох основних напрямках: великомасштабні сонячні електростанції, особливо там, де є потенціал для використання наявної інфраструктури; децентралізовані рішення для сонячної енергії та приватні клієнти, які встановлюють сонячні панелі на дахах своїх будинків.

Завдяки великій кількості сонячних днів і помірній температурі повітря, встановлені на території України сонячні станції працюють максимально ефективно. Розвиток альтернативної енергетики стимулює також високий зелений тариф – для промислових сонячних електростанцій, побудованих у 2017-2019 рр., він становить 15 євроцентів; для сонячних

електростанцій цивільного зразка – 18 євроцентів. Завдяки цьому та відносній доступності сонячних електростанцій їхній приблизний термін окупності в Україні становить 5-8 років [38].

Вітрова енергетика розвивається в Україні повільніше за сонячну. Головним чинником є те, що вітрові електростанції в декілька разів дорожче за сонячні і мають більш складну технологію встановлення. При цьому вітрові електростанції потребують спеціального обслуговування і більших фінансових затрат.

Все більшу роль в паливному балансі України відіграє біоенергетика. Як відновлюване джерело енергії, біомаса при спалюванні виділяє лише стільки CO₂, скільки вона зв'язала під час фази зростання. Окрім біогазу та біометану, під терміном «біомаса» також розуміють пожнивні рештки сільськогосподарських рослин, залишки деревини з лісових господарств, побічні продукти деревообробної промисловості, такі як тирса та необроблені деревні залишки, а також швидкозростаючі енергетичні рослини.

Для того, щоб біомаса для виробництва енергії призводила до значного скорочення викидів CO₂, її вирощування, виробництво та транспортування повинні бути контрольованими та екологічно безпечними.

Оцінка сумарних викидів парникових газів вимагає аналізу емісії протягом всього життєвого циклу біопалива. Вплив біопалива на зміну клімату залежить від сировини, з якої виробляється і яка справляє визначальний вплив на його хімічний склад і експлуатаційні характеристики. Значна роль в справі забезпечення енергетичної безпеки і запобігання зміні клімату відводиться розвитку біотехнологій, що не пов'язані з ризиками аграрного виробництва і не спричиняють загрозу продовольчій безпеці країни.

Використання біопалива з лігноцелюлозної сировини, може бути більш ефективним в плані зменшення викидів парникових газів, ніж сільськогосподарські культури. Значні перспективи має також біопаливо, отримане при переробці мікроводоростей. Висока здатність мікроводоростей до зв'язування атмосферного вуглекислого газу може позитивно впливати на вирішення проблеми парникового ефекту [39].

Згідно прогнозного сценарію «Енергетичної стратегії України до 2035 року» передбачається, що у структурі загального

первинного постачання енергії частка відновлюваних джерел енергії буде становити 25 % к 2035 року, а саме:

- біомаса, біопаливо та відходи – 11,5 %;
- сонячна та вітрова енергія – 10,4 %;
- гідроелектростанції – 1 %;
- термальна енергія – 2,1 %.

Отже, на сьогоднішній день, питання енергонезалежності України, раціонального споживання енергії і відповідно переходу до низьковуглецевого розвитку напряду залежать від нарощування потужностей зеленої енергетики.

Енергетичний перехід і розвиток нових засобів виробництва електроенергії вимагає інвестицій та створює додаткові витрати. У цьому контексті варто зазначити, що в Україні потрібні нові інвестиції в сектор електроенергетики у середньостроковій перспективі через значну зношеність основних фондів [40]. Інвестиції в сучасне обладнання, в розвиток технологій зеленої енергетики також мають потенціал до створення робочих місць і стимулювання економічного зростання

Крім цього використання відновлюваних джерел енергії і процеси декарбонізації виробництва, що призводять до зниження емісії парникових газів, дають також додатковий ефект у вигляді зменшення викидів інших шкідливих речовин. Це в першу чергу оксиди азоту, оксиди сірки, важки метали, неметанові органічні сполуки, тверді частки, які виділяються при споживанні бензину або при виробництві електроенергії з викопного палива. Скорочення викидів шкідливих речовин будуть сприяти покращенню екологічної обстановки, збереженню довкілля і здоров'я населення.

Висновки

Формування низьковуглецевої економіки є викликом ХХІ століття і важливою умовою сталого розвитку. Досягнення цілей низьковуглецевого розвитку є складним економічним, політичним, соціальним і технологічним процесом. Необхідними найважливішими умовами успішного рішення цього завдання є наявність достатніх фінансових інвестицій, освоєння нових ефективних технологій, довгострокова плідна взаємодія та співробітництво країн світу.

Зараз в Україні починається етап активного впровадження технологій з відновлюваними джерелами енергії, тому дуже важлива ефективна державна політика і державна підтримка.

Сприятливі природно-кліматичні умови України, ефективне залучення та використання інвестицій нададуть можливість в повній мірі реалізувати потенціал відновлюваної енергетики з метою забезпечення кліматичної стійкості і формування процесу економічного зростання та конкурентоспроможності в умовах низьковуглецевого розвитку.

За рахунок підвищення рівня інноваційних технологій і широкої підтримки заходів енергоефективності виникає можливість зниження обсягів викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин, активного розвитку зеленої енергетики, поступової зміни енергетичної ситуації щодо надмірної залежності від викопного палива. Прискорення розвитку вітроенергетики та сонячної енергетики, а також використання біоенергетичного потенціалу без шкоди для продовольчої безпеки, буде сприяти диверсифікації енергоносіїв і поступовому збільшенню частки відновлюваних джерел енергії в енергобалансі країни. Що, відповідно є запорукою енергетичної незалежності країни та буде спрямоване на забезпечення екологічної безпеки і сталий розвиток.

Література:

1. United Nations Framework Convention on Climate Change. Rio de Janeiro: United Nations, 1992. 24 p.
2. European Renewable Energy Council. URL: <https://eurec.be/Policy-Papers> (Last accessed: 27.09.2021).
3. International Labour Organization. URL: <https://www.unaids.org/en/resources/publications/all> (Last accessed: 28.09.2021).
4. Изменение климата, 2014. Обобщающий доклад. Межправительственная группа по изменению климата. Женева: МГЭИК. 2014. 163 с.
5. Stern N. The Economics of Climate Change. The Stern Review. UK: Cabinet Office–HM Treasury, 2006, URL: https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20100407172811/https://www.hm-reasury.gov.uk/stern_review_report.htm (Last accessed: 28.09.2021).

6. Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), 2019. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> (Last accessed: 28.09.2021).

7. Статистический Ежегодник мировой энергетики 2021. URL: <https://yearbook.enerdata.ru/co2/emissions-co2-data-from-fuel-combustion.html> (дата звернення: 28.09.2021).

8. International Energy Agency. Global Energy Review 2020: the Impacts of the Covid-19 Crisis on Global Energy Demand and CO2 Emissions. April 2020. URL: <https://webstore.iea.org/download/direct/2995> (Last accessed: 29.09.2021).

9. Гао М. Низкоуглеродное производство: проблемы и выбор пути (на примере провинции Цзянси). *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2015. № 4 (40). С. 171–179.

10. Warner E., Heath G. Life cycle greenhouse gas emissions of nuclear electricity generation: Systematic review and harmonization. *Journal of Industrial Ecology*. 2012. Vol. 16, № S1. P. S73-S92.

11. Renewable capacity statistics 2020. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, IRENA, 2020. 66 p.

12. Statistical Review of World Energy 2021. 70th edition. British Petroleum. London, 2021. 72 p.

13. Agora Energiewende and Ember. The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition. Berlin. 2021. URL: <https://static.agora-energiewende.de> (Last accessed: 29.09.2021).

14. The European Green Deal. European Commission. Brussels, 11.12.2019. 24 p.

15. United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/2015/ L.9/ Rev.1 URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> (Last accessed: 29.09.2021).

16. United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2020. Nairobi. UNEP. 2020. 128 p.

17. United Nations Framework Convention on Climate Change. Intended Nationally Determined Contributions (INDCs). 2021. URL: <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Submission%20Pages/submissions.aspx> (Last accessed: 30.09.2021).

18. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Green growth and sustainable development. URL: <https://www.oecd.org/greengrowth/>.

19. Макаров И.А., Степанов И.А. Перспективы реализации стратегий низкоуглеродного развития ведущих стран. 08.04.2020. URL: <https://we.hse.ru/climate/briefs> (дата звернення: 30.09.2021).
20. BP Energy Outlook 2035. London, United Kingdom, January 2014. 96 p.
21. Smil V. Energy Transitions: History, Requirements, Prospects. Santa Barbara, Calif.: Praeger, 2010. 178 p.
22. Smil V. Energy and Civilization: a History. Cambridge, MA: The MIT Press, 2018. 568 p.
23. Smil V. Energy Transitions: Global and National Perspectives, Santa Barbara, CA: Praeger. 2016. 282 p.
24. Fattouh B., Poudineh R, West R. The rise of renewables and energy transition: what adaptation strategy for oil companies and oil-exporting countries? Oxford Institute for Energy Studies. 2018. 25 p.
25. Sovacool B.K., Geels, F.W. 'Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics', *Energy Research & Social Science*. 2016. 22. P. 232–237.
26. Agora Energiewende Energiewende 2030: The Big Picture. Megatrends, Targets, Strategies and a 10-Point Agenda for the Second Phase of Germany's Energy Transition. 2018. 82 p.
27. World Bank Group, State and Trends of Carbon Pricing. Washington DC, 2018. 62 p.
28. Концепція «Зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/34424.html> (дата звернення: 01.10.2021).
29. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 07.12.2016 № 932. URL: <https://mepr.gov.ua/news/32001.html> (дата звернення: 01.10.2021).
30. Проект розпорядження Кабінету Міністрів України Про схвалення Другого національного визначеного внеску України до Паризької Угоди. Взято з: <https://mepr.gov.ua/files/images/2021/29042021> (дата звернення 02.10.2021).
31. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017, № 605-р. 73 с.
32. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. Рішення Кабінету Міністрів України 18.07.2018 № 28. Київ. 53 с.

33. Огляд енергетичного сектору України. Інституції, управління та політичні засади. ОЕСД, 2019. URL: <https://oe.cd/energy-sector-reform-ukraine> (дата звернення: 04.10.2021).

34. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 04.10.2021).

35. CO2 emissions from fuel combustion. Global Energy Statistical. Yearbook 2021. Enerdata. URL <https://yearbook.enerdata.net> (Last accessed: 06.10.2021).

36. Average CO2 emission factor. Global Energy Statistical. Yearbook 2021. Enerdata. URL <https://yearbook.enerdata.net> (Last accessed: 06.10.2021).

37. Кучерява І.М., Сорокіна Н.Л. Відновлювана енергетика в світі та Україні станом на 2019 р. – початок 2020 р. *Гідроенергетика України*. 2020. № 1–2. С. 38–44.

38. Українська альтернативна енергетика: повільно, але стабільно. URL: <https://bakertilly.ua/news/id44270> (дата звернення: 07.10.2021).

39. Litvak O., Litvak S. Some Aspects of Reducing Greenhouse Gas Emissions by Using Biofuels. *Journal of Ecological Engineering*, 2020. Vol. 21, iss. 8. P. 198–206.

40. Економічні наслідки поступової відмови від використання вугілля в Україні до 2030 року / М. Пройс, О. В. Михайленко, І. Сабака, Б. Пробст; за заг. ред. П. Баума та О. Р. Алієвої. Київ: 7БЦ, 2021. 140 с.

РОЗДІЛ 2. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-247-3-4>

Шевченко С. М.

*кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук і математики
Київський університет імені Бориса Грінченка
м. Київ, Україна*

Жданова Ю. Д.

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук і математики
Київський університет імені Бориса Грінченка
м. Київ, Україна*

Фіщук Т. О.

*студент VI курсу магістратури
факультету інформаційних технологій та управління
Київський університет імені Бориса Грінченка
м. Київ, Україна*

ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ В ЕКОНОМІЧНІЙ ГАЛУЗІ ТА МЕТОДИКА ЇХ НАВЧАННЯ В УМОВАХ ОНЛАЙ-НАВЧАННЯ

Дане дослідження присвячене методичним аспектам навчання теорії ймовірностей та математичної статистики (ТЙМС) в умовах онлайн-навчання як основного інструментарію багатьох спеціальностей економічної галузі. Шляхом аналізу нормативної, математичної та методичної літератури досліджено особливості вивчення ТЙМС студентами економічного профілю з метою визначення застосування методів даної науки для подальшої навчальної та професійної діяльності. Представлено історичний ракурс розвитку ТЙМС, що є необхідним елементом для підвищення рівня мотивації студентів до навчально-пізнавальної діяльності. Описано елементи методичної системи та навчальної

взаємодії студентів економічного профілю у процесі вивчення ТЙМС в умовах онлайн-навчання. Серед них виділено: комплекс умов, що активізують пізнавальні мотиви (переконування, викликання інтересу, делегування, закріплення позитивного враження); створення проблемних ситуацій; розв'язання класичних задач ТЙМС від найпростішого рівня до складного; впровадження задач прикладної спрямованості і використання міждисциплінарних зав'язків; використання функцій платформ Zoot, Google Meet, середовища Moodle на різних етапах навчальної діяльності (дошка, рука, розподіл на групи, тести, Google Forms, презентації не лише викладача та інші). Обґрунтовано та експериментально перевірено, що дана технологія є ефективною в умовах онлайн-навчання. Перспективність дослідження полягає в тому, що викладені теоретичні положення та практичні рекомендації можуть надати допомогу викладачам в побудові навчального процесу вивчення ТЙМС в нових умовах (онлайн-навчання, змішаний формат навчання, дистанційне навчання).

Вступ

У природі людство не знайшло жодного явища, в якому б не був наявний елемент випадковості. «У житті немає гарантій, існує тільки ймовірність» (Том Кленсі (1947-2013), американський письменник, експерт в галузі озброєнь, геополітики та секретних спецслужб). Економічні процеси здійснюються під впливом значної кількості недетермінованих чинників. При цьому з величезної кількості цих чинників виділяється найголовніший, впливом решти другорядних нехтують. А можливо, навпаки, другорядні чинники у великій кількості переплітаються між собою, утворюючи при цьому помітний вплив на дане явище. Розглядаючи у сукупності множини однорідних випадкових явищ, можна виявити певні закономірності, або їх ще називають «стійкості частот», властиві саме масовим випадковим явищам. Тоді усереднений масовий результат множини випадкових явищ вже практично не буде випадковим, а передбачуваним. Стан невизначеності, складності, багатофакторності, що притаманний випадковим явищам, обумовлює створення спеціальних методів для їх вивчення. Цим інструментом є апарат теорії ймовірностей та математичної статистики.

Ймовірісно-статистичні методи стрімко проникли і у професійну діяльність економіста, фінансиста, менеджера.

«Істотною особливістю сучасних економічних теорій є те, що вони аналітичні та математичні» [1]. Економіка більш за все використовує ймовірнісно-статистичні методи. Цей факт і реалії ринкової конкуренції зумовлюють відповідні вимоги до освіти майбутніх фахівців економічного профілю, формування та розвитку фахових компетенцій, складовою яких є ймовірнісно-статистичні.

Теорія ймовірностей та математична статистика займає важливе місце у навчальному процесі, оскільки формує базові знання у сфері застосування ймовірнісно-статистичного апарата, вивчення закономірностей у масових випадкових явищах, визначення їх ймовірнісних характеристик з метою застосування до аналізу економічних явищ та прогнозування.

Проблема ймовірнісно-статистичної освіти студентів економічних спеціальностей не нова, про що свідчить велика кількість навчальних та методичних посібників, наукових статей, монографій та дисертаційних розробок. Проте, з розповсюдженням вірусу COVID-19 всі країни почали запроваджувати карантинні заходи, що призвело до закриття навчальних закладів на невизначений час. Постало питання формування методичної системи навчання – онлайн-навчання. Це підтверджує актуальність даного дослідження і визначає мету: створення методичного забезпечення та взаємодії в онлайн-навчанні студентів економічної галузі у процесі вивчення ТЙМС.

1. Теорія ймовірностей та математична статистика в системі підготовки студентів економічних спеціальностей

Теорія ймовірностей та математична статистика, як і інші математичні науки, розвилися з потреб практики і пройшли низку етапів свого становлення. Історично ТЙ має такі етапи свого розвитку [2]:

- I. Передісторія теорії ймовірностей (давні віки – XVI ст.);
- II. Поява теорії ймовірностей як науки (XVII – XVIII ст.);
- III. Поява роботи Якоба Бернуллі “Мистецтво припущень” (XIX ст.);
- IV. Створення російської (Петербурзької школи) (XIX – XX ст.).
- V. Сучасний період розвитку теорії ймовірностей (XX – ...)

У зародковому стану ймовірнісні методи застосовувалися в XVI столітті в роботах Ніколо Тарталья і Джузеппе Кардано. У наступному XVII столітті Галілео Галілей вивчав помилки фізичних вимірювань, розглядаючи їх як випадкові і оцінюючи їх ймовірності. До цього ж часу відносяться перші спроби створення

загальної теорії страхування, яка ґрунтувалася на аналізі таких масових випадкових явищ, як захворюваність, смертність, статистика нещасних випадків.

Простим матеріалом для вивчення закономірностей випадкових явищ виявилися азартні ігри (підкидання монети, грального кубика, карткові ігри). Саме на базі азартних ігор були введені поняття ймовірності і математичного сподівання і визначені властивості і прийоми їх обчислення. Тому XVII століття вважають часом виникнення теорії ймовірностей як науки і пов'язують його з іменами таких вчених як Блез Паскаль (1607-1648), П'єр Ферма (1601-1665), Христіан Гюйгенс (1629-1695). Великий успіх теорії ймовірностей пов'язаний з ім'ям швейцарського математика Якоба Бернуллі (1654-1705), який встановив закон великих чисел для схеми незалежних випробувань з двома наслідками.

Наступний етап розвитку теорії ймовірностей, який відбувався на рубежі XVII-XVIII століть, відносять до досліджень Абрахама де Муавра (1667-1754) (Великобританія), П'єра Лапласа (1749-1827) і Сімеона Пуассона (1781-1840) (Франція), Карла Фридриха Гаусса (1857-1918) (Німеччина). Їх роботи значно розширили сферу застосування ймовірнісних методів.

Найважливіший період розвитку теорії ймовірностей пов'язаний з Петербурзькою математичною школою XIX століття. Завдяки працям П.Л. Чебишова (1821-1894), В.Я. Буняковського (1804-1889), А.А. Маркова (1856-1922), А.М. Ляпунова (1857-1918) основні поняття теорії ймовірностей було поставлено на чітку логічну і математичну основу.

Радянська школа теорії ймовірностей представлена видатними вченими, серед яких С.Н. Бернштейн (1880-1968), А.М. Колмогоров (1857-1918), О.Я. Хінчін (1894-1959), Б.В. Гнеденко (1912-1995), Н.В. Смірнов (1900-1966) та ін. Слід відмітити фундаментальну працю «Основні поняття теорії ймовірностей» (1933) Андрія Миколайовича Колмогорова, в якій було представлено систему аксіом теорії ймовірностей, визначивши тим самим її законне місце серед інших математичних дисциплін.

Яскравими представниками іноземної теорії ймовірностей є Карл Пірсон (1857-1936), Рональд Фішер (1890-1962), Норберт Вінер (1894-1964), Уільям Феллер (1906-1970), Джозеф Дуб (1910-2004), Карл Крамер (1893-1985) та інші.

До української школи вчених-ймовірнісників радянського і пострадянського періодів, засновником якої є Б.В. Гнеденко, належать А.В. Скороход (1930-2011), В.С. Корольок (1925-2020), М.Й. Ядренко (1932-2004), В.В. Булдігін (1946-2012), М.І. Портенко, А.Ф. Турбін та інші.

Історія розвитку математичної статистики добре досліджена у роботі [3]. Термін «статистика» в перекладі з латинської мови означає стан речей, явищ. Спершу це поняття вживалось і перекладалось як «державознавство» – сума знань про державу. Пов'язано це з тим, що статистика як господарський облік виникла з утворенням держави. Епоха Відродження змінила характер господарського обліку. Крім державного з'явився облік з ініціативи банкірів, торговців, власників майстерень. Щоб керувати, треба мати інформацію. У цей час Лука Пачолі («Сума арифметики, геометрії, вчення про пропорції і відношення», 1495) заклав основи бухгалтерського обліку. Поширення його і первинної реєстрації фактів, накопичення масових даних про суспільні явища, необхідність їх узагальнення, розвиток фундаментальних наук – математики, філософії, що допомогли усвідомити значення статистики як засобу соціального пізнання, – все це зумовило виникнення науки статистики (середина XVII ст.). Статистика як наука почала розвиватися у двох напрямках – державознавство і політична арифметика. Державознавство – це описова статистика, її представники основним завданням статистики вважали систематизований опис фактів, що визначають майбутнє держави. Математичні методи недооцінювались, був відсутній аналіз закономірностей і взаємозв'язків, притаманний суспільним явищам. Політична арифметика, або математичний напрям статистики, засновником якого був англійський статистик та економіст В. Петті (1623–1687), спиралась на інший спосіб доведення. Замість словесних порівнянь, похвали та абстрактних аргументів вона використовувала мову чисел, ваги, мір, тобто переважали кількісні характеристики. Відповідно до математичного напрямку основним завданням статистики вважалося виявлення закономірностей економічних явищ, причому свої висновки представники цього напрямку базували на числових даних (В. Петті, В.С. Порошин (1811–1868), Д.П. Журавський (1810–1856), О.О. Чупров (1874–1926)). Математичний напрям в цілому правильно визначав сутність статистики, її завдання і значення як методу соціального пізнання. У XIX ст. зросли обсяги офіційної інформації, кількісні

характеристики поступово заступили текстові описи. Подальший розвиток статистики вимагав вдосконалення методів збирання, оброблення, узагальнення масових даних. Фундатором теорії статистики став бельгійський математик, соціолог А. Кетле (1796–1874). Його праці («Соціальна система» (1866), «Соціальна фізика» (1911)) становлять початок пошуку філософських основ статистики. А. Кетле вважав, що предметом цієї науки є «людина в суспільстві», а методологічними засадами – принципи масовості (закон великих чисел).

Закінчуючи історичну довідку, слід відзначити, що теорія ймовірностей та математична статистика – це наука, що бурно розвивається, наука, з якої виникли теорія випадкових процесів, теорія масового обслуговування, теорія інформації та інші теоретичні та прикладні наукові напрями.

Аналіз наукової літератури (було опрацьовано біля 70 наукових джерел) засвідчує наявність глибокої зацікавленості вчених до проблеми використання ймовірнісно-статистичних методів у економічній сфері. Як свідчать результати досліджень [1 – 22], апарат ТЙМС є основою для побудови кількісних та якісних моделей управління економічними комплексами, для процедури прогнозування економічних процесів. Методи науки використовують у плануванні, організації та управлінні виробництвом, у визначенні оцінки бізнес-ризиків в інвестиційній діяльності, страхуванні, фінансовій економіці та інші.

Так, науковці у роботі [4] доводять значущість ймовірнісно-статистичних методів для економічної діяльності і досліджують метод вимірювання вартості на основі теорії ймовірностей в економіці.

Дослідження [5] присвячене застосуванню ймовірнісно-статистичних методів для обчислення ступеня ризику при оцінці ефективності інвестицій та їх використання у діловій практиці польських компаній. Було залучено до експерименту 500 підприємств і запропоновано методи для оцінки ризику: дерево рішень, статистичні методи (дисперсія, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт кореляції), моделювання, теорія ігор та інші. Як визначилося, розповсюдженість використання даних методик залишається досить низькою, що частково можна пояснити слабкою усвідомленістю їх значення та / або невмінням їх використовувати.

Переконливо демонструє автор у науковій праці [6], що використання ймовірно-статистичних методів має велике значення при ідентифікації та оцінці економічного ризику. Прийняття інвестиційного рішення у мовах ризику та невизначеності залежить не лише від економічного прибутку, але й від ступеня ризику. Останній можна знайти за допомогою статистичних методів або експертних методів, або комбінувати обидва.

Також було проаналізовано навчальні плани 2021 року спеціальностей 051 Економіка [7], 072 Фінанси, банківська справа та страхування [8], 073 Менеджмент [9] Київського університету імені Бориса Грінченка з метою дослідження місця та ролі ймовірно-статистичних методів в подальшій навчальній та професійній діяльності майбутніх економістів, фінансистів, менеджерів.

1. Спеціальність 051 Економіка: дисципліна «Теорія ймовірностей та математична статистика» входять до циклу «Математика для економістів»; відводиться 2 кредита; містить два змістових модуля: 1) Теорія ймовірностей (Випадкові події та випадкові величини), 2) Елементи математичної статистики.

На рисунку 1. представлена логічна схема «Реалізація методів ТЙМС у навчальній діяльності економістів».

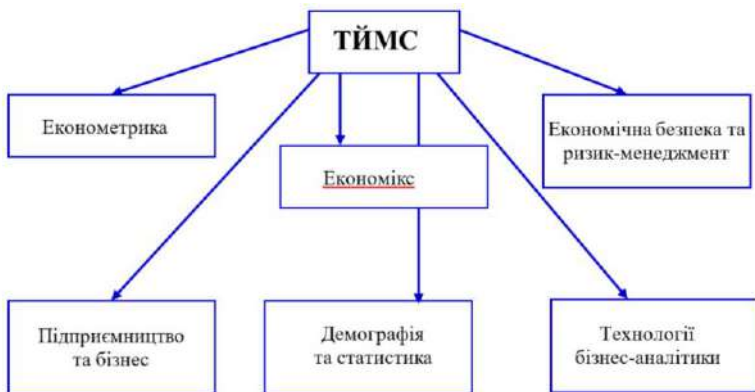


Рис. 1. Реалізація методів ТЙМС у навчальній діяльності економістів

2. Спеціальність 072 Фінанси, банківська справа та страхування: дисципліна «Теорія ймовірностей та математична статистика» входять до циклу «Математика для фінансистів»; відводиться 2 кредита; містить два змістових модуля: 1) Теорія

ймовірностей (Випадкові події та випадкові величини),
2) Елементи математичної статистики.

На рисунку 2. представлена логічна схема «Реалізація методів ТЙМС у навчальній діяльності фінансистів».

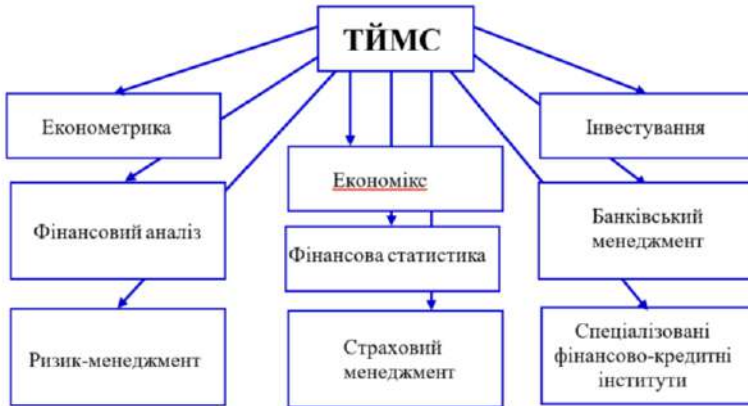


Рис. 2. Реалізація методів ТЙМС у навчальній діяльності фінансистів

3. Спеціальність 073 Менеджмент: дисципліна «Теорія ймовірностей та математична статистика» є окремою дисципліною»; відводиться 4 кредита; містить 3 змістових модуля: 1) Випадкові події, 2) Випадкові величини, 3) Елементи математичної статистики.

На рисунку 3. представлена логічна схема «Реалізація методів ТЙМС у навчальній діяльності менеджерів».

У навчальних програмах дисципліни Теорія ймовірностей та математична статистика всіх трьох спеціальностей містяться схожі теми:

1. Випадкові події, ймовірність випадкової події (застосування комбінаторних методів).

2. Дискретні випадкові величини, їх числові характеристики і закони розподілу.

3. Неперервні випадкові величини, їх числові характеристики і закони розподілу.

4. Двовимірні випадкові величини та функції випадкового аргументу.

5. Первинна обробка емпіричних даних.

6. Статистичні оцінки параметрів розподілу.

7. Статистична перевірка статистичних гіпотез (критерій Пірсона).

8. Елементи регресійного та кореляційного аналізу (лінійний коефіцієнт кореляції та прямі регресії).

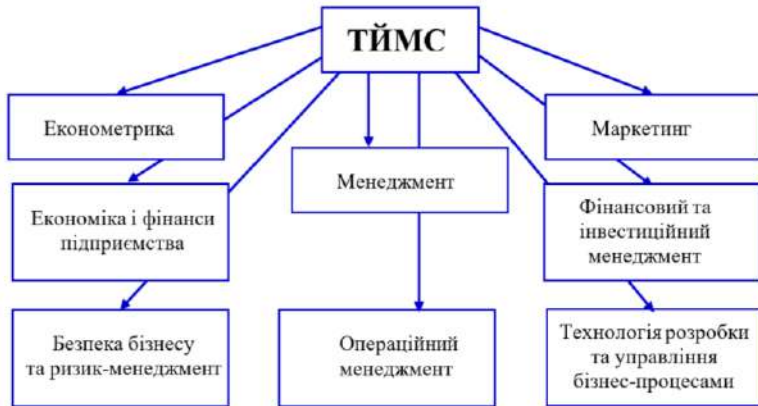


Рис. 3. Реалізація методів ТІМС у навчальній діяльності менеджерів

Є очевидним, що в навчальних програмах з теорії ймовірностей та математичної статистики акцентована увага на основних поняттях і методах цієї дисципліни, які сьогодні найчастіше використовуються в економічній практиці.

Надалі ці поняття й методи переводяться у площину економіко-математичних моделей. Аналіз навчальних посібників, методичної та наукової літератури [1; 10-12] дозволив здійснити деякий перелік тем, формул, методів ТІМС в економіко-математичних моделях (таблиця 1).

Отже, є очевидним, що теорія ймовірностей та математична статистика є вихідною для вивчення дисциплін фундаментальної та спеціальної підготовки студентів економічної галузі і сприяє застосуванню ймовірно-статистичного апарату для побудови економічних моделей та дослідження економічних процесів і явищ.

Таблиця 1

Ймовірнісно-статистичні методи в економічних моделях

ТІМС	Економіко-математичні моделі
Теорія ймовірностей	Модель теорії ризику (ймовірність банкрутства).
	Ринкові моделі (обчислення найбільш ймовірних варіантів в економіці).
	Модель оцінки фінансових активів (нормальний розподіл випадкових величин у фінансах).
Обробка статистичних даних	Статистичні моделі для отримання економічних даних: незалежна вибірка, групована вибірка, часові ряди.
Точкові та інтервальні оцінки генеральних параметрів	Оцінка параметрів у різних економічних моделях.
Закони розподілу випадкових величин	<p>Нормальний (гауссівський) розподіл застосовується для апроксимації економічних показників тоді, коли ці показники утворюються у результаті впливу різних незалежних факторів за умови, що вкладом кожного з них можна знехтувати порівняно з сумарним вкладом. Для оцінювання параметрів нормального закону застосовують розподіли χ^2-квадрат, Стьюдента, F-розподіл.</p> <p>Логнормальний розподіл (наприклад, при моделюванні розподілу підприємства, розподілу величин національного прибутку, розподілу об'єму виробництва).</p> <p>Експоненціальний розподіл (наприклад, в теорії обслуговування описується проміжок часу між двома послідовними запитами або час безвідмовної роботи приладу).</p> <p>Бета-розподіл (застосовується при вивченні ринку праці).</p> <p>Біноміальний розподіл (застосовується при моделюванні схем випробувань на надійність під час перевірки якості виробів).</p> <p>Розподіл Пуассона (ϵ основним у моделях теорії страхування).</p>
Статистичні гіпотези	Перевірка правильності вибору закону розподілу і оцінки його параметрів в економічних моделях.
Випадкові процеси	<p>Пуассонівський процес (у фінансовій та страховій сфері).</p> <p>Мартингали (в актуарній та фінансовій сфері).</p> <p>Броунівський рух (коливання валютних курсів, курсів акцій, ціни на певний товар, банківські активи).</p>

2. Методичні аспекти навчання студентів економічних спеціальностей у процесі вивчення теорії ймовірностей та математичної статистики

Ефективна діяльність фахівця-економіста, фахівця-фінансиста, фахівця -менеджера у сучасному суспільстві передбачає якісну математичну підготовку, зокрема апарат теорії ймовірностей та математичної статистики. Актуальність положень доктора фізико-математичних наук Л. Кудрявцева про те, що «випускники університетів повинні уміти у межах своєї спеціальності будувати математичні моделі, ставити математичні задачі, вибирати оптимальний метод та алгоритм для розв'язання задачі, застосовувати для розв'язання задачі чисельні методи з використанням сучасних обчислювальних машин, застосовувати раціональні математичні методи дослідження, на підставах проведеного аналізу здійснювати практичні висновки», підтверджується практикою [13].

Методичним аспекти навчання студентів економічних спеціальностей у процесі вивчення теорії ймовірностей та математичної статистики присвячено велика кількість праць провідних математиків-методистів та економістів-методистів. Серед них Т. Крилова, М. Жалдак, Г. Михалін, Т. Задорожня, Л. Пуханова, О. Трунова, К. Рум'янцева, О. Вільчинська, Н. Шульга, Я. Гончаренко, В.Горбачук, зарубіжні вчені О. Лебедева, Н. Паніна, N. Mezhenayа, O. Pugachev, V. Selutin та інші. Науковці пропонують свої погляди на методичні аспекти викладання ТЙМС для студентів економічної галузі, проте вони однакові в одному: важливою компетенцією фахівця економічного профілю є стохастична складова, що містить знання з теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів.

Глобальний підхід до формування та розвитку даної компетенції обґрунтовано і розроблено у дослідженні Н. Шульги [14]. Пропонується побудова динамічної моделі системи навчання стохастички студентів економічних факультетів університетів на основі синергетичного підходу до пізнання освітніх процесів. Ця модель включає послідовні зміни станів Хаосу та Порядку, що проходять через процеси Становлення та Буття за чотири етапи: взаємодії, трансформації, структурування, гомеостазу. Цікавим є узагальнена модель змісту дисципліни ТЙМС, яка формується на підставі взаємодії трьох рівнів навчальних понять: мікрорівень – «Випадкові події та елементарні наслідки статистичних

експериментів»; макрорівень – «Випадкові величини, статистичне опрацювання даних та перевірка статистичних гіпотез; мегарівень – «Випадкові процеси, побудова та аналіз статистичних моделей».

Оригінальну методику пропонують науковці у дослідженні [15]. Вони визначають, що у процесі вивчення ТЙМС студентами економічної галузі потрібно дотримуватися та реалізовувати принцип прикладної спрямованості. Ідея методичної системи закладається в тому, що починати потрібно не з понять теорії ймовірностей, як це здійснюється традиційно, а з теми «Початкова обробка експериментальних даних» до Закону великих чисел. Такий прийом сприятиме формуванню первинних статистичних компетенцій. Вивчення ж основних ймовірнісних понять і теорем здійснювати на базі статистичних уявлень, що складають їх емпіричну основу. Ефективність такої моделі експериментально доводять.

У роботі [16] для результативного засвоєння методів ТЙМС пропонують застосовувати наступні підходи: експозитивне навчання (за зразком); евристичне навчання (виділяється проблема); самостійне навчання; порівняльний метод навчання; впровадження математичного моделювання.

У дослідженні [17] висвітлюється проблема існування кореляції між впровадженням моделі кооперативного навчання та типом індивідуалізації.

Дисертаційні роботи [18, 19] присвячені розробці, обґрунтуванню та реалізації методичної системи навчання студентів економічного профілю у процесі вивчення ТЙМС.

Актуальними в контексті нашого дослідження є наукові розробки [20 – 23]. Теоретико-експериментальне дослідження [20] вирішує проблему розробки комп'ютерно-орієнтованої методики навчання математичної статистики студентів економічних спеціальностей: формування у майбутніх фахівців здатності використовувати сучасний апарат математичної статистики в професійній діяльності для розв'язання прикладних задач економічного змісту з використанням сучасних інформаційних технологій та програмних засобів. Автори [21] досліджують використання інтерактивних методів навчання (computer algebra system CAS) у вивченні теорії ймовірностей: інтерактивні презентації, шаблони для комп'ютерного моделювання, додаткові домашні завдання, підготовлені в CAS

Mathematica. І хоча експеримент проводиться зі студентами технічних спеціальностей, ідеї, методичні рекомендації та пропозиції можливо впроваджувати і у навчальний процес економічних спеціальностей.

Застосуванню інформаційних технологій у процесі вивчення стохастики присвячені роботи [22–23].

Таким чином, досліджуючи модель вивчення теорії ймовірностей та математичної статистики в економічних університетах, спираючись на праці вчених-математиків та власний досвід, вважаємо, що навчання ТЙМС має підпорядковуватись наступним цілям:

- повідомляти основні теоретичні положення, необхідні для вивчення загальнонаукових, загальноекономічних та спеціальних дисциплін, навчати відповідному ймовірнісно-статистичному апарату, ґрунтуючись на принципах фундаментальності та професійної спрямованості та спираючись на логічне обґрунтування емпіричного матеріалу;

- органічно поєднувати традиційні та інформаційно-комунікаційні технології у навчальній діяльності;

- розвивати первинні ймовірнісно-статистичні навички: переклад реальної ситуації на адекватну математичну мову, вибір оптимального методу дослідження, інтерпретація результату дослідження та оцінка його точності;

- формувати навички доведення розв'язання задачі до кінцевого результату – числа, графіка, точного якісного висновку і таке інше, застосовуючи при цьому інформаційні технології, таблиці, довідники;

- формувати вміння самостійно розбиратися у ймовірнісно-статистичному апараті, який застосовується у економічній літературі.

3. Елементи методичної системи онлайн-навчання студентів економічних спеціальностей у процесі вивчення теорії ймовірностей та математичної статистики

Як студентів мотивувати на вивчення методів ТЙМС в умовах онлайн-навчання? Як їх змусити усвідомити ймовірнісний характер економічних явищ та основні відмінності між статистичними та детермінованими підходами дослідження в умовах онлайн-навчання?

Ми згодні з дослідниками [24], які вважають, що ефективно онлайн-навчання включає: визначення змісту навчання; дослідження типів взаємодії (студент-контент, студент-студент, студент-викладач), спрямованих не просто на передачу інформації, а на створення ситуації пізнавального характеру; планування контрольних заходів.

Проблема забезпечення якості ресурсів та організація такого навчання, в першу чергу, пов'язані з компетентністю викладача – розробника цього курсу.

З досвіду роботи пропонуємо елементи методичної системи онлайн-навчання студентів економічних спеціальностей у процесі вивчення теорії ймовірностей та математичної статистики.

1. Активізація пізнавальних мотивів.

1.1. Переконавання (пояснюються цілі та завдання роботи, наслідки знання та незнання, ґрунтуючись при цьому на авторитетні джерела, вказуються актуальність, корисність, необхідність матеріалу для майбутньої діяльності).

Приклад. Представити таблицю 1. Ймовірно-статистичні методи в економічних моделях.

1.2. Викликання інтересу (вдала цитата, неочікуване запитання, використання творчих засобів – інтегруючого початку, прикладів з практики, розповіді притчі, парадокса, цікавий зміст задачі тощо).

Приклад. Парадокс незалежності (Бернштейн): проведемо експеримент з підкиданням двох монет. Нехай подія A – “на першій монеті герб”, подія B – “на другій монеті герб” і подія C – “на одній і тільки на одній монеті випав герб”. Тоді будь-які дві події незалежні, але будь-які дві з них однозначно визначають третю.

Відповідь: попарна незалежність не є незалежністю в сукупності.

Приклад. Задача на тему «Формула повної ймовірності». Султан розгнівався на гадалку та наказав її стратити, але в останню хвилину передумав. Взяв дві чорні та дві білі кулі, віддав їх гадалці, щоб вона поклала їх у дві однакові шухляди будь-яким чином. Кат із зав'язаними очима вибирає шухлядку, а з неї має витягнути білу кулю. Тоді султан відпустить гадалку, у протилежному випадку – стратить. Як гадалка має розмістити чотири кулі, щоб ймовірність витягнути білу була найвищою?

Приклад. Задача на використання формули «Ймовірність настання події хоча б один раз у n незалежних випробуваннях».

Відомо, що п'ять із сорока пасажирів літака підозрюються у викраданні великої партії грошей. У аеропорту до трапу літака підійшов інспектор та заявив, що для розкриття хоча б одного злочинця, йому достатньо здійснити обшук у шести навмання відібраних пасажирів. Що керувала інспектором: тверезий розрахунок чи ризик? (тобто знайти ймовірність того, що з шести відібраних пасажирів буде принаймні один злочинець?)

1.3. Делегування (залучення студентів до будь-якого етапу управління процесом навчання).

Приклад. У кінці лекції запропонувати скласти одне тестове завдання на пройдений матеріал і викласти їх в чаті. Хто перший відповість, продовжує цей процес. Студенти, які брали участь, отримують додаткові бали з даної теми.

1.4. Закріплення позитивного враження (спрямування студентів на подальшу роботу, наприклад, почати цікаву розповідь і пообіцяти її закінчити на наступному занятті).

Приклад. Перед вивчення теми «Кількість випробувань, необхідних для появи хоча б один раз події із заданою ймовірністю» запропонувати задачу: яку найменшу кількість незнайомців треба опитати, щоб із ймовірністю 0,5 зустріти того, у кого день народження співпадає з вашим?

2. Створення проблемних ситуацій на лекціях.

Як відомо, невдачі на перших лекціях (навіть при ретельній підготовці до них) викликають у викладачів недовіру до проблемного навчання. Вони вважають, що дана методика в цілому потребує істотно більше часу на викладення матеріалу, ніж інформаційний метод (вказують коефіцієнт 1,5 – 2). Але досвід педагогів, які систематично використовують метод створення проблемних ситуацій, та власний досвід доводить зворотне: об'єм матеріалу, який викладається, збільшується. А головним підсумком є те, що студенти засвоюють не тільки результати, але й шляхи їх одержання. Ефективність даного методу видно, як свідчать вчені через 7 – 18 лекцій (М. Махмутов) або півроку навчання (В. Разумовський).

Способи створення проблемної ситуації.

2.1. Зіткнення студентів із суперечностями між новими фактами, явищами та минулим досвідом, знаннями, де необхідно теоретично пояснити та знайти шляхи їх застосування.

Приклад. Дана ситуація створюється на початку теми «Класичне означення ймовірності». Лекція починається з байки

про те, що до видатного математика підійшов солдат з проханням розв'язати таке питання: чому при киданні трьох гральних кісток сума очок одинадцять випадає частіше, за його спостереженням, ніж дванадцять, хоча способів одержання одинадцяти та дванадцяти однакова – шість?

2.2. Спонування до порівняння, зіставлення та протиставлення фактів, правил, дій та їх узагальнення.

Приклад. Введення в тему «Граничні теореми у схемі Бернуллі». Запропонувати задачу: яка ймовірність, що при підкиданні монетки 50 разів отримаємо 30 гербів. Більшість відповідають 0,5. Невірно.

Пробують через формулу Бернуллі $P_{50}(30) = \frac{50!}{30!20!} \cdot (0,1)^{30} (0,9)^{20}$, але отримуємо громіздкі обрахунки.

Висновок: потрібно нова формула чи засіб.

3. Розв'язання класичних задач з ТЙМС

3.1. Задачі, що вимагають від студентів здійснення мнемонічних операцій, зміст яких передбачає упізнавання або відтворення окремих фрагментів або їхнього цілого. Найчастіше вони починаються зі слів: яка з; що це; як називається; чи вірно тощо.

Приклад. Онлайн-тестування за допомогою Google Forms з теми «Упорядкування статистичних даних» (рисунок 4).

3.2. Задачі, при розв'язанні яких використовуються елементарні розумові операції. Це задачі на виявлення, перелічення, зіставлення, узагальнення тощо. Починаються вони зі слів: обчисліть; з'ясуйте; назвіть, з чого складається; назвіть частини; складіть перелік; скажіть, як проводиться; що необхідно виконати при; чим відрізняється; порівняйте; визначте спільне та відмінне; чому; яким чином; що є причиною і так далі.

Приклад. Перше практичне заняття кожної теми починається з математичного диктанту навчального характеру. Десять тестових завдань на десять хвилин. Надалі обговорюються відповіді. Кожний студент оцінює себе, максимально 10 балів (рисунок 5).

3.3. Задачі, розв'язання яким вимагає складних розумових операцій. Починаються вони зі слів: поясніть зміст; розкрийте значення; як ви розумієте; чому думаєте; доведіть.

Приклад. Задачі з теми «Найважливіші розподіли дискретних випадкових величин». Завдання: визначити вид розподілу дискретної випадкової величини та обґрунтувати своє рішення (рисунок 6).

✓ Відповідність між проміжками варіаційного ряду та їх частотами, записаними у вигляді таблиці, називається * 1/1

Інтервальний статистичний розподіл ✓

Дискретний статистичний розподіл частот

Дискретний статистичний розподіл відносних частот

Варіаційний ряд

✓ Обсяг вибірки – це: * 1/1

Число спостережень, що утворюють вибірку ✓

Кількість різних варіант вибірки

Кількість інтервалів у інтервальному статистичному розподілі

Число спостережень, що утворюють генеральну сукупність

Рис. 4. Онлайн-тестування за допомогою Google Forms

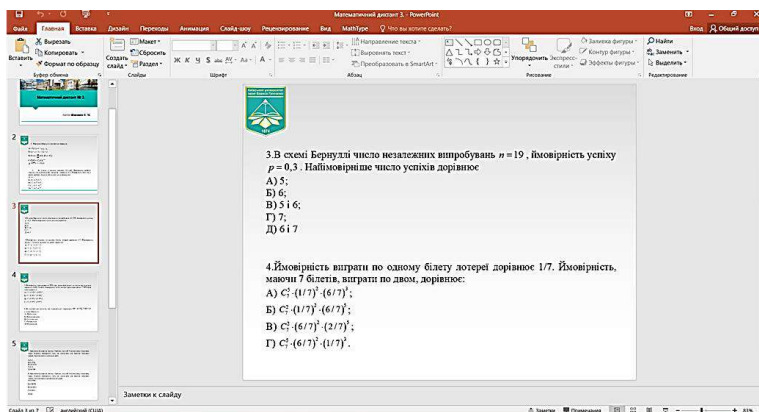


Рис. 5. Презентація математичного диктанту з теми «Формула Бернуллі»

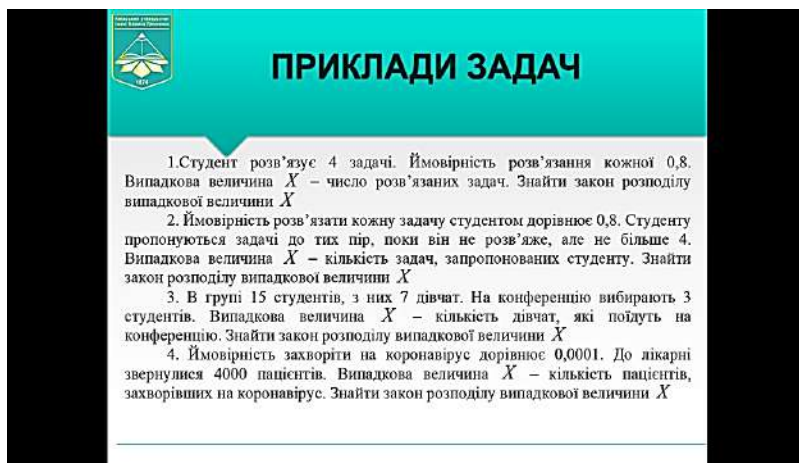


Рис. 6. Задачі з теми «Найважливіші розподіли дискретних випадкових величин»

Після обговорення пропонується наступний слайд презентації, де представлено зразок розв'язання (рисунок 7).

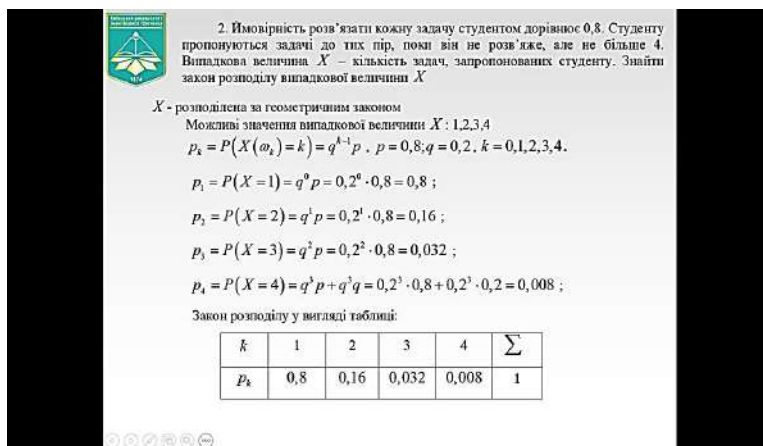


Рис. 7. Зразок розв'язання задачі з теми «Найважливіші розподіли дискретних випадкових величин»

3.4. Задачі, які передбачають креативність, самостійність при розв'язанні. Це задачі, які передбачають не тільки власне знання, але й здібність комбінувати їх у більші блоки, структури так, щоб вони склали щось нове для студента. Це задачі на моделювання, реконструювання, переконструювання, конструювання. Починаються вони зі слів: придумай практичний приклад; зверни увагу; на підставі власних спостережень визнач; створи, розроби тощо.

Приклад. Науково-дослідна робота з теми «Упорядкування емпіричних даних, знаходження точкових та інтервальних оцінок генеральної сукупності, побудова гіпотези про нормальний закон розподілу вибірки та експериментальне її доведення або спростування». Ми згодні з науковцями, які вважають, що науково-дослідна робота студентів ґрунтується на принципах простування, де дослідницький проект є інтелектуальною та особистісною цінністю самого студента. Метод проектів – спосіб досягнення дидактичних цілей через детальну розробку проблеми, яка допомагає визначити реальний практичний результат і, головне, є обов'язково професійно спрямованим. Організована таким чином навчальна діяльність мотивує студентів на вивчення математичної статистики. На рисунках нижче представлено початок проектної діяльності студентів.

Студенти обробляють результати вручну (рисунок 8) та за допомогою табличного редактора Microsoft Excel (рисунок 9).

Слід відмітити, що модульні контрольні роботи проводяться у формі тестів з автоматизованою перевіркою для завдань 1-2 рівня та перевіркою викладачем завдань 3 рівня – задачі з повним обґрунтуванням (рисунок 10).

4. Розв'язування задач прикладного змісту.

Приклади. Задача побудови довірчого інтервалу для математичного сподівання (рисунок 11).

Задача використання законів розподілу неперервних випадкових величин у актуарних розрахунках (рисунок 12).

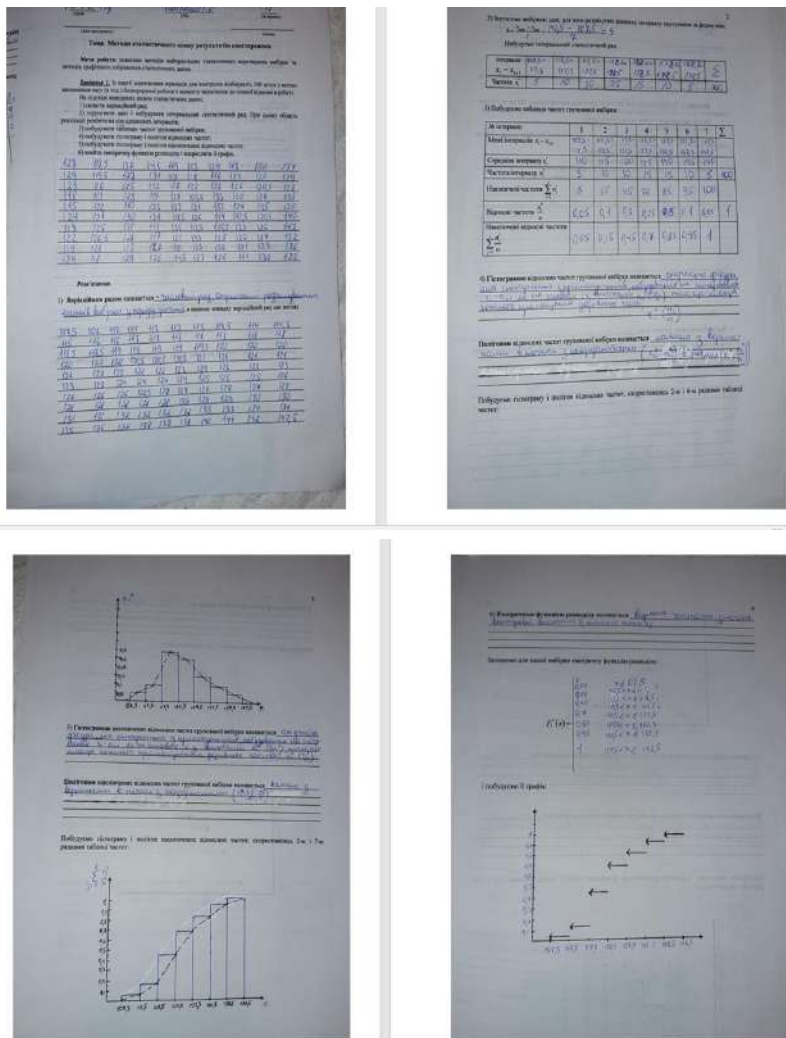


Рис. 8. Проектна робота з теми «Упорядкування статистичних даних»

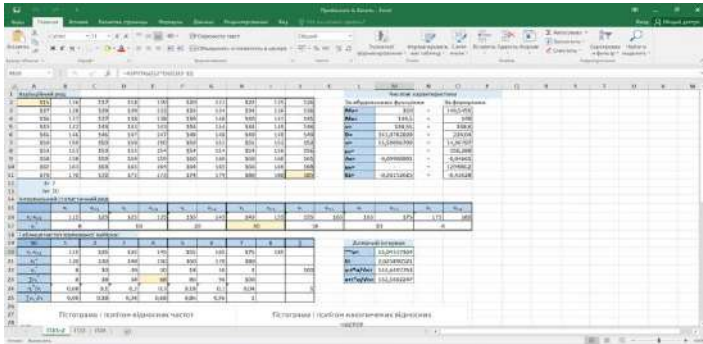


Рис. 9. Проектна робота з теми «Упорядкування статистичних даних» за допомогою табличного редактора Microsoft Excel

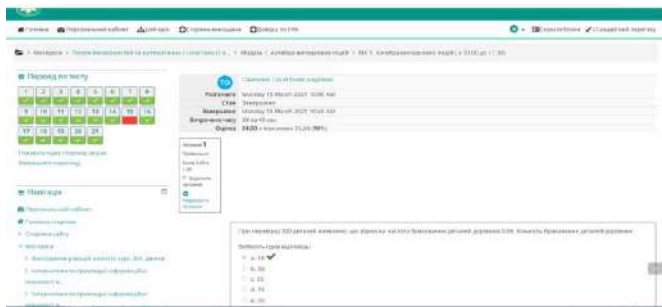


Рис. 10.

Фирма по проекту автомобілів хоче представити автомобіль нового моделі, що виробляється «Фольксваген». Одна з основних вимог – при середній швидкості в умовах міста автомобіль повинен споживати не більше 9 літрів на 100 км. Виробник каже, який ліній інтервалу. Як випадковим чином виміряли витрати пального, середнє споживання пального 8,6 літрів /100 км при відхиленні 0,7 літра. Чи варто фірмі по проекту представити цю нову модель?

Результативні: Висновком: 99 % довірчий інтервал для середнього споживання пального (тобто з вірогідністю 99 % можна ствердити, що для цієї моделі середнє споживання пального не більше верхньої межі довірчого інтервалу). За формулою
$$\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < X < \bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$
, де
$$\bar{x} = 8,6 \text{ л}, \sigma(X) = 0,7 \text{ л}, n = 30 \Rightarrow \sqrt{n} = \sqrt{30} \approx 5,48$$
 Висновок: з вірогідністю з рівняння $\Phi(t) = \frac{t}{2} = \frac{0,01}{2} = 0,005$. $\Phi(t) = 0,495 \Rightarrow t = 2,58$ за табличне значення функції Лапласа. Знайдемо числові межі цього довірчого інтервалу:
$$\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 8,6 - 2,58 \frac{0,7}{5,48} = 8,6 - 0,33 = 8,27 \text{ л},$$

$$\bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 8,6 + 2,58 \frac{0,7}{5,48} = 8,6 + 0,33 = 8,93 \text{ л}$$
 Таким чином, можна: $8,27 < X < 8,93$.
Нарешті можна: $8,93 \text{ л}$, отже варто представити автомобіль цього типу.

Рис. 11.

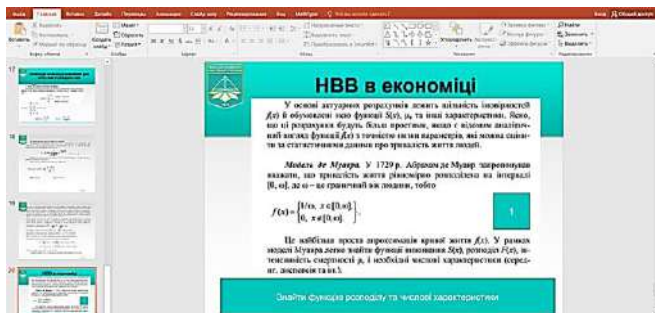


Рис. 12.

Для організації і проведення онлайн-навчання були використані сервіси Zoom, Google Meet, середовище Moodle. Дані платформи дозволяють:

- заходи можна планувати і заздалегідь запрошувати учасників;

- проводити онлайн-лекції, практичні заняття, семінари з відео високої якості (запис навчальних занять – одне з переваг цих технологій: студенти можуть переглянути записи відео у веббраузері у будь-який час у будь-якому місці);

- організовувати спільні чати для переписки і обміну матеріалами;

- під час онлайн-навчання можна демонструвати матеріали на робочому столі свого ПК, смартфона чи планшета чи надавати таку роль студенту;

- віртуальна дошка, як головний атрибут викладача математичних дисциплін.

Є цікавою пропозицією демонстрація екрана мобільного пристрою під час відеозустрічі в Google Meet. Для цього після створення відеозустрічі в Google Meet треба ввести код для приєднання у відповідному застосунку мобільного пристрою, приєднатися і продемонструвати екран. Така технологія дозволяє за потреби наживо давати пояснення, показувати хід розв'язання задачі (рисунок 13).

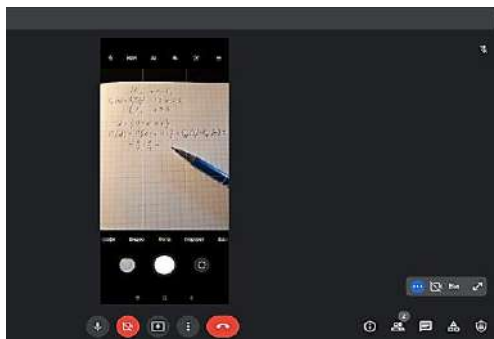


Рис. 13

З цією ж метою можна скористатися додатком Screen Stream over HTTP (для Android вище 5.0), який дозволяє переглядати екран мобільного пристрою у веб-браузері під час презентацій та демонстрацій (без підтримки звуку). Не потрібно ніякого додаткового програмного забезпечення, крім цього додатка та веб-браузера (Chrome, Safari, EDGE, Firefox). Додаток працює через мережу Wi-Fi. Немає необхідності в Інтернеті, проте між клієнтом та пристроєм має бути мережеве з'єднання.

В Київському університеті імені Бориса Грінченка система дистанційної освіти працювала і до пандемії коронавірусу COVID-19. Слід відмітити високу і потужну роботу в цьому напрямі спеціалістів Центру технологій дистанційного навчання, які надають теоретичні й практичні рекомендації щодо використання дистанційних технологій для створення ефективного дистанційного навчання.

4. Аналіз результатів експериментального міні-дослідження з практичного впровадження елементів методичної системи у процесі вивчення ТЙМС в умовах онлайн-освіти

На початку експерименту нами була прийнята нульова гіпотеза H_0 при рівні значущості $\alpha=0,05$, яка стверджувала, що після закінчення експерименту в групі M_2 результати будуть істотно відрізнятися від результатів групи M_1 . Це здійсниться, якщо вивчення ТЙМС буде здійснювати відповідно розробленому комплексу педагогічних та методичних умов, а саме:

– умов, що активізують пізнавальні мотиви (переконування, викликання інтересу, навіювання, делегування, закріплення позитивного враження);

– створення проблемних ситуацій;

– розв'язання класичних задач ТЙМС від найпростішого рівня до складного;

– впровадження задач прикладної спрямованості і використання міждисциплінарних зв'язків;

– використання функцій платформ Zoom, Google Meet, середовища Moodle на різних етапах навчальної діяльності (дошка, рука, розподіл на групи, тести, Google Forms, презентації не лише викладача та інші).

Дані умови апробували під час експерименту в Київському університеті імені Бориса Грінченка на факультетах інформаційних технологій та управління спеціальності 073 Менеджмент протягом 2020 – 2021 років.

При формуванні контрольної M_1 (2020 рік) та експериментальної M_2 (2021 рік) груп ми виходили з того, що рівень знань з ТЙМС таких груп повинен бути якщо не однаковим, то близьким. Початкова перевірка однорідності була здійснена за допомогою критерію χ^2 Пірсона [25]. Для цього ми використали формулу:

$$\chi_{емп}^2 = \frac{1}{n_1 n_2} \sum \frac{(n_1 Q_{2i} - n_2 Q_{1i})^2}{Q_{1i} + Q_{2i}},$$

де n_1, n_2 – число студентів експериментальної та контрольної груп;

Q_{1i}, Q_{2i} – частота i ознаки контрольної та експериментальної груп;

i – кількість ознак.

Сформульовані гіпотези мали вид:

H_0 : Відмінності між рівнями знань студентів двох груп не є суттєвими та розподіл оцінок відноситься до однієї генеральної сукупності.

H_1 : Відмінності між рівнями є значущими та пов'язані з малим об'ємом вибірки.

В таблиці 2 наведено частотні дані фактичного рівня знань студентів з ТЙМС за перший змістовий модуль, коли і в 2020, і в 2021 роках початок навчання в другому семестрі відбувався очно.

Таблиця 3

Результати групи M_1

Група (К- сть)	Етап	Рівні								Сума
		високий		достатній		середній		низький		
		К- сть	%	К- сть	%	К- сть	%	К- сть	%	
M_1 (24)	початок	5	20,8	10	41,7	7	29,2	2	8,3	24
	кінець	3	12,5	8	33,3	11	45,9	2	8,3	24
Сума		8		18		18		4		48

Сформульовані гіпотези мали вид:

H_0 : Розподіли даних на початку і в кінці не відрізняються між собою.

H_1 : Розподіли даних на початку і в кінці відрізняються між собою

Чим більше буде емпіричне значення критерію χ^2 , тим більше розходження між ознаками, що зіставляються.

Число степенів вільності при зіставленні двох емпіричних розподілів визначається за формулою $r = (k-1) \cdot (c-1) = (4-1) \cdot (2-1) = 3$, де k – кількість категорій ознаки (стовпців у таблиці емпіричних частот), c – кількість порівняльних розподілів (рядків).

Для знаходження $\chi_{емп}^2$ складаємо вираз:

$$\chi_{емп}^2 = \frac{1}{n_1 n_2} \sum \frac{(n_1 Q_{2i} - n_2 Q_{1i})^2}{Q_{1i} + Q_{2i}} = \frac{1}{24 \cdot 24} \cdot \left(\frac{(5 \cdot 24 - 3 \cdot 24)^2}{8} + \frac{(10 \cdot 24 - 8 \cdot 24)^2}{18} + \frac{(7 \cdot 24 - 11 \cdot 24)^2}{18} + \frac{(2 \cdot 24 - 2 \cdot 24)^2}{4} \right) =$$

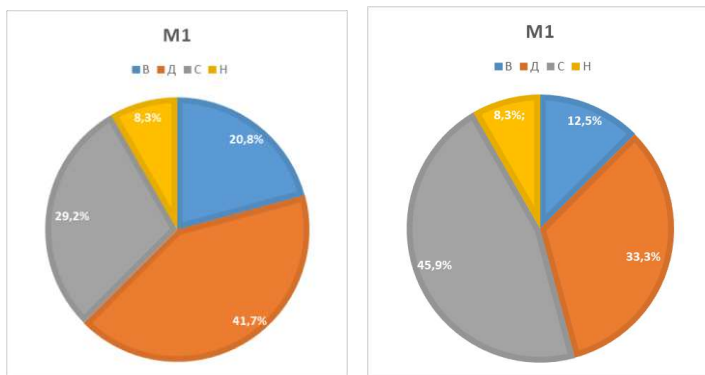
$$= \frac{4}{8} + \frac{4}{18} + \frac{16}{18} \approx 1,611$$

Отже, $\chi_{емп}^2 = 1,611$.

За таблицею критичних значень $\chi_{кр}^2 = \chi_{кр}^2(3; 0,05) = 7,815$.

Оскільки $\chi_{емп}^2 < \chi_{кр}^2$, то гіпотеза H_0 приймається, тобто відмінності між рівнями знань студентів на початку і в кінці не є суттєвими та розподіл оцінок відноситься до однієї генеральної сукупності.

Для наочності представимо дані у вигляді діаграм (рисунок 14) та гістограми (рисунок 15).



а) Початок навчання

б) кінець навчання

Рис. 14. Діаграма результатів рівня знань студентів з ТЙМС

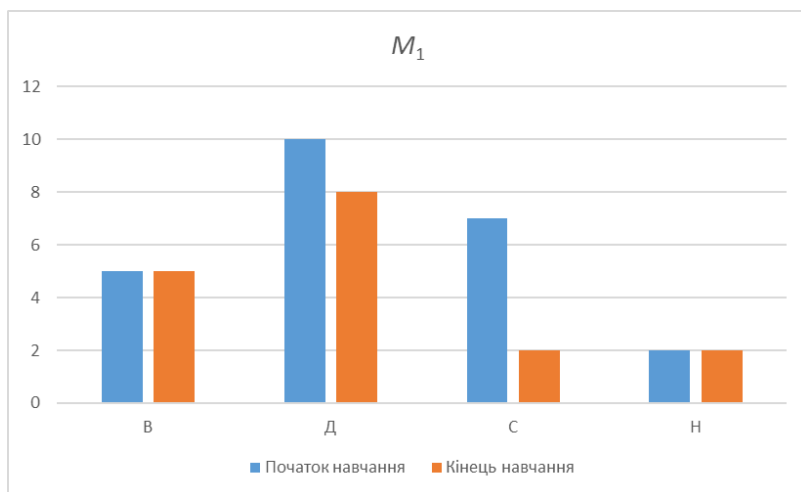


Рис. 15. Гістограма результатів рівня знань студентів з ТЙМС

Слід також відмітити об'єктивні причини зниження успішності студентів групи M_1 слабка адаптація самих студентів до навчального процесу в університеті в умовах онлайн та неготовність викладачів працювати ефективно в цих умовах.

2) Для групи M_2

Таблиця 4

Результати групи M_2

Група (К- сть)	Етап	Рівні								Сума
		високий		достатній		середній		низький		
		К- сть	%	К- сть	%	К- сть	%	К- сть	%	
M_2 (24)	початок	4	16,7	9	37,5	9	37,5	2	8,3	24
	кінець	7	29,2	15	62,5	2	8,3	0	0	24
Сума		11		24		11		2		48

Для наочності представимо дані у вигляді діаграм (рисунок 16) та гістограм (рисунок 17).



Рис. 16. Діаграма результатів рівня знань студентів з ТЙМС
а) Початок навчання б) кінець навчання

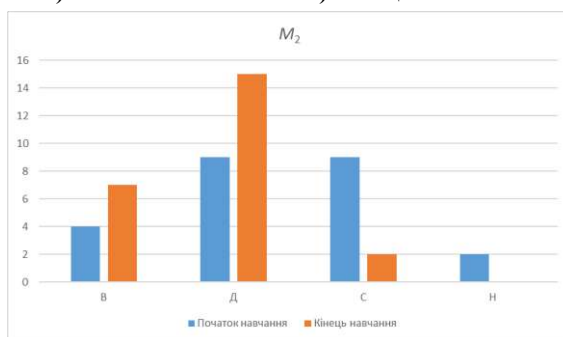


Рис. 17. Гістограма результатів фактичного рівня знань студентів з ТЙМС

Сформульовані гіпотези мали вид:

H_0 : Розподіли даних на початку і в кінці не відрізняються між собою.

H_1 : Розподіли даних на початку і в кінці відрізняються між собою

Чим більше буде емпіричне значення критерію χ^2 , тим більше розходження між ознаками, що зіставляються.

Число степенів вільності при зіставленні двох емпіричних розподілів визначається за формулою $r = (k-1) \cdot (c-1) = (4-1) \cdot (2-1) = 3$, де k – кількість категорій ознаки (стовпців у таблиці емпіричних частот), c – кількість порівняльних розподілів (рядків).

Для знаходження $\chi_{емп}^2$ складаємо вираз:

$$\chi_{емп}^2 = \frac{1}{n_1 n_2} \sum \frac{(n_1 Q_{2i} - n_2 Q_{1i})^2}{Q_{1i} + Q_{2i}} = \frac{1}{24 \cdot 24} \cdot \left(\frac{(4 \cdot 24 - 7 \cdot 24)^2}{11} + \frac{(9 \cdot 24 - 15 \cdot 24)^2}{24} + \frac{(9 \cdot 24 - 2 \cdot 24)^2}{11} + \frac{(2 \cdot 24 - 0 \cdot 24)^2}{2} \right) =$$
$$= \frac{9}{11} + \frac{36}{24} + \frac{49}{11} + \frac{4}{2} \approx 8,773$$

Отже, $\chi_{емп}^2 \approx 8,773$.

За таблицею критичних значень $\chi_{кр}^2 = \chi_{кр}^2(3; 0,05) = 7,815$.

Оскільки $\chi_{емп}^2 > \chi_{кр}^2$, то нульова гіпотеза не приймається: розподіли даних на початку і в кінці відрізняються між собою, тобто є значущими. Це означає, що зміни, які відбулися в рівнях знань студентів групи M_2 не є випадковими, а виступають як наслідок реалізації педагогічних умов у процесі вивчення ТЙМС. Це підтверджує нашу гіпотезу та надає можливість для застосування й широкого використання даної технології в навчальній діяльності вищої школи.

Висновки

Пандемія коронавірусу COVID-19 та пов'язані з нею карантинні обмеження зумовили розвиток інших форм освіти, серед яких дистанційна освіта, змішаний формат, онлайн-навчання.

Наше дослідження присвячене методичним аспектам навчання ТЙМС студентів економічного профілю в умовах

онлайн-навчання. Одержані результати дають підстави зробити наступні висновки:

1. З'ясовано, що апарат ТЙМС – основа для успішного навчання та професійної діяльності майбутнього фахівця економічного профілю. «У минулому потрібно було відстоювати право на існування теоретико-ймовірнісних та статистичних методів. Проте зараз їх користь ніким не заперечується, і основну увагу потрібно звернути на обмеження, при яких ці методи дають надійні результати. Область застосування теоретико-ймовірнісних методів обмежена явищами, яким притаманна статистична стійкість» [26].

2. Визначено, що професійну спрямованість навчання можна організувати за допомогою розв'язання задач прикладного змісту.

3. Експериментально доведено, що запропоновані умови та шляхи розвитку навчально-пізнавальної діяльності студентів на різних етапах онлайн-навчання є ефективними.

Практичні рекомендації можуть надати допомогу викладачам в побудові навчального процесу вивчення ТЙМС в нових умовах (онлайн-навчання, змішаний формат навчання, дистанційне навчання).

Викладені положення проведеного дослідження не претендують на остаточне розв'язання проблеми формування ймовірно-статистичних компетенцій студентів економічного профілю в умовах онлайн-навчання. Вона є актуальною, особливо з стрімким розвитком інформаційних технологій, тому зумовлює проведення теоретичних і практичних досліджень у цьому напрямі і надалі.

Література:

1. Akira Takayama. Mathematical Economics. The Dryden Press (1974) URL: <https://doku.pub/documents/akira-takayama-mathematical-economics-dryden-press-1974pdf-z06w8n3g35qx>

2. Тичинська Л.М., Черепашук А.А. Теорія ймовірностей. Частина 1. Історичні екскурси та основні теоретичні відомості. Вінниця: ВНТУ, 2010. 112 с.

3. Захожай В.Б., В.С. Федорченко. Теорія статистики: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. К.: МАУП, 2006. 264 с. URL: https://maup.com.ua/assets/files/lib/book/teor_stat.pdf

4. Gang Xi, Xiaoyi Yang, Ming Xi. A method of value measurement based on probability theory in economics. 2021. URL: https://assets.researchsquare.com/files/rs-64242/v2_covered.pdf?c=1631860738
5. Merło, Paweł & Dankiewicz, R. & Ostrowska-Dankiewicz, Anna. Probabilistic and statistical methods of risk analysis in the investments effectiveness evaluation and their application in business practice. 2013. P. 437–446. URL: <https://www.researchgate.net/publication/298650971>
6. Stoyanka Petkova Petkova-Georgieva Methods of comparison of economic risk management assessment. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/339662223_METHODS_OF_COMPARISON_OF_ECONOMIC_RISK_MANAGEMENT_ASSESSMENT
7. Навчальний план підготовки здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою. Спеціальність 051 Економіка. Київський університет імені Бориса Грінченка, 2021. URL: https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vstupnikam/fitu/2021/Eco_np_2021.pdf
8. Навчальний план підготовки здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою. Спеціальність 072 Фінанси, банківська справа та страхування. Київський університет імені Бориса Грінченка, 2020. URL: https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vstupnikam/fitu/2020/bach/Finb_np_2020.pdf
9. Навчальний план підготовки здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою. Спеціальність 073 Менеджмент. Київський університет імені Бориса Грінченка, 2020. URL: <https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vstupnikam/fitu/2018.pdf>
10. Леоненко М.М., Мішура Ю.С., Пархоменко В.М., Ядренко М.Й. Теоретико-ймовірнісні та стохастичні методи в економіці та фінансовій математиці. К.: Інформтехніка, 1995. 380 с.
11. Рум'янцева К., Вільчинська О. Використання економіко-математичних моделей під час вивчення циклу «Математика для економістів». *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. 2014. Том 2, № 5. С. 49 – 53. URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/viewFile/498/477>
12. Козьменко О. В. Актуарні розрахунки: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2014. 224 с. URL:

https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/53229/7/Kozmenko_Aktuarni_rozrakhunky.pdf

13. Кудрявцев Л.Д. Современная математика и её преподавание. М.: Наука, 1985. 114 с.

14. Шульга Н.В. Динамічна модель системи навчання стохастики майбутніх економістів. *Освіта та розвиток обдарованої особистості*, 2016. № 7 (50). С. 25 – 32. URL: <http://otr.iod.gov.ua/images/pdf/2016/7/08.pdf>

15. Selutin V.D., Lebedeva E.V. Teaching Probability Theory and Forecasting-based Mathematical Statistics to Bachelors of Economics. *Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference Current Issues of Linguistics and Didactics: The Interdisciplinary Approach in Humanities (CILDIAH 2017). Advances in Social Science, Education and Humanities Research (ASSEHR)*, volume 9. URL: <https://www.atlantispress.com/article/25886113.pdf>

16. Wenyao Xiong. Research on the Probability Theory and Mathematical Statistics Teaching. *6th International Conference on Electronic, Mechanical, Information and Management (EMIM 2016)* URL: <https://www.atlantispress.com/article/25853337.pdf>

17. Tinungki G.M. The Role of Cooperative Learning Type Team Assisted Individualization to Improve the Students' Mathematics Communication Ability in the Subject of Probability Theory. *Journal of Education and Practice*. 2015. Vol. 6, No. 32. P. 27–31. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1083611.pdf>

18. Задорожня Т. М. Початки теорії ймовірностей та математичної статистики в змісті математичної освіти коледжів фінансово-економічного спрямування: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. Київ, 2007. 18 с.

19. Пуханова Л.С. Професійна підготовка майбутніх економістів у процесі навчання теорії ймовірностей і математичної статистики: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. Вінниця, 2009. 289 с. URL: https://library.vspu.net/jspui/bitstream/123456789/764/1/dis_Pukhanova.pdf

20. Горбачук В.О. Комп'ютерно-орієнтована методика навчання математичної статистики студентів економічних спеціальностей педагогічних університетів: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. К., 2021. 325 с. URL: https://npu.edu.ua/images/file/vidil_aspirant/dicer/%D0%94_26.05.3.03/Horbachuk.pdf

21. Natalia M. Mezhenyaya, Oleg V. Pugachev. On the results of using interactive education methods in teaching probability theory. *Problems of education in the 21st Century*. 2018. Vol. 76, No. 5. С. 678 – 692. URL: <http://oaji.net/articles/2017/457-1540320285.pdf>

22. Жалдак М., Михалін Г., Біляй Ю. Теорія і практика створення та використання дистанційного курсу теорії ймовірностей і математичної статистики для майбутніх учителів. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2009. 7 (14), С. 11–23. URL: <https://sj.npu.edu.ua/index.php/kosn/article/view/410>

23. Жалдак М., Михалін Г., Біляй І. Про зв'язок ймовірнісних моделей з деякими іншими моделями реального світу. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2010. 10 (17), С. 27–41. URL: <https://sj.npu.edu.ua/index.php/kosn/article/view/241>

24. Кухаренко В.М., Бондаренко В.В. Екстрене дистанційне навчання в Україні: Монографія. Харків: Вид-во КП «Міська друкарня», 2020. 409 с.

25. Сидоренко Е. В. Методы математической обработки в психологии. СПб.: ООО «Речь», 2000. 350 с.

26. Тутубалин В.Н. Теория вероятностей: Краткий курс и научно-методические замечания. Москва: Изд-во МГУ, 1972. 230 с.

Шушура О. М.

*доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри автоматизації проектування
енергетичних процесів і систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна*

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ БАГАТЬОХ АРГУМЕНТІВ

В роботі представлені методологічні основи побудови інформаційних технологій для підвищення якості функціонування об'єктів зі складною структурою шляхом автоматизації обробки інформації і управління на принципах нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох аргументів. Розроблено метод концептуального моделювання предметних областей задачі нечіткого управління, метод автоматизації нечіткого управління, який враховує обмеження на керуючі змінні, формалізовані за допомогою функцій належності багатьох аргументів. Представлено узагальнену структуру інформаційної технології нечіткого управління, розроблено моделі структури її баз даних та знань, алгоритми переробки інформації.

Вступ

Інформаційні технології широко використовуються для обробки даних і управління, пройшовши в своєму розвитку шлях від забезпечення розв'язку окремих прикладних задач до підтримки прийняття рішень в різних сферах діяльності людини. Зростання складності задач управління та підтримки прийняття рішень вимагає створення нових та удосконалення існуючих методологічних основ побудови інформаційних технологій.

Одним з найбільш важливих сучасних напрямів розвитку інформаційних технологій є застосування нечіткої логіки при розробці систем автоматизованої обробки інформації та управління. Перевагами використання нечіткої логіки є

спрощення моделювання складних систем, створення гнучких алгоритмів підтримки прийняття рішень на основі зрозумілих людині наборів правил, можливість обробки неточної та неповної інформації [1; 2].

Визнаючи наукову і практичну цінність наявних робіт, присвячених застосуванню нечіткої логіки, слід зазначити, що вони в основному містять математичні аспекти формалізації та вирішення практичних задач, але майже не охоплюють методологічні питання побудови інформаційних технологій для реалізації нечіткого управління складними системами. Існуючі підходи до концептуального моделювання предметних галузей інформаційних систем містять спрощені форми подання задач нечіткого управління, які не відображають в повній мірі зв'язки між змінними та їх характеристики [3-5]. Дослідження методів нечіткого управління, серед яких можна виділити алгоритми Мамдані, Сугено, ієрархічний нечіткий вивід, показало, що їх недоліком є використання в якості термів нечітких змінних з функціями належності одного аргументу, що може призводити до втрати взаємозв'язку між величинами і не дозволяє врахувати обмеження задачі [6-8]. Застосування для моделювання об'єктів зі складною структурою змінних ієрархічних систем нечіткого виводу викликає певну розмитість при переході між рівнями ієрархії, що може призвести до втрати значимості результату. Зазначено, що при зростанні кількості змінних та правил бази знань в моделі нечіткого управління стає актуальною задача підвищення ефективності процедур нечіткого виведення [6]. Використання нейронних мереж виключає можливість виділити функцію належності і базу правил, а також функції, що описують консеквенти кожного правила.

Таким чином, виникає об'єктивне протиріччя між потребами розробки інформаційних технологій для ефективного управління системами зі складною структурою зв'язків змінних і обмеженими можливостями існуючого науково-методологічного апарату побудови інформаційних систем на основі нечіткої логіки. Можливим напрямом розв'язання даного протиріччя є застосування в інформаційних системах нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох змінних. У зв'язку з цим є актуальною науково-прикладна проблема теоретичного обґрунтування та розробки методологічних основ побудови інформаційних технологій для підвищення якості

функціонування об'єктів зі складною структурою шляхом автоматизації обробки інформації і управління на принципах нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох аргументів.

Метою дослідження є підвищення якості функціонування складних систем за рахунок розробки моделей та методів інформаційної технології для автоматизованої переробки інформації і управління на принципах нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох змінних.

Для досягнення даної мети в роботі поставлені та вирішені наступні завдання:

- провести аналіз існуючих підходів до побудови інформаційних технологій на основі застосування нечіткої логіки в задачах переробки інформації та управління складними системами;

- розробити метод концептуального моделювання предметних галузей інформаційних технологій в задачах нечіткого управління;

- розробити метод переробки інформації з метою формування функцій належності багатьох аргументів для термів лінгвістичних змінних;

- сформулювати метод для вирішення задач автоматизації нечіткого управління складними системами при наявності нелінійних обмежень на керуючі змінні;

- адаптувати метод центру тяжіння для етапу дефазифікації нечіткого логічного виведення при використанні функцій належності багатьох аргументів;

- удосконалити модель структури даних інформаційної технології для нечіткого управління з використанням функцій належності багатьох аргументів;

- дослідити ефективність застосування розроблених методологічних основ побудови інформаційних технологій для управління на принципах нечіткої логіки в практичних задачах керування конкретними об'єктами.

1. Моделювання складних систем в задачах нечіткого управління на основі функцій належності багатьох змінних

В основу методології побудови інформаційних технологій для автоматизації управління на засадах нечіткої логіки необхідно покласти підходи до розробки моделей та методів нечіткого

управління, інваріантних стосовно предметної області, що вимагає формування підходів до концептуального моделювання та формалізації.

Метод концептуального моделювання задач автоматизації нечіткого управління передбачає побудову наступних діаграм [9]:

- концептуальна модель задачі нечіткого управління;
- модель лінгвістичних змінних;
- модель структури правил нечіткого виводу.

Концептуальна модель задачі нечіткого управління представляється у вигляді діаграми, що містить графічне представлення вхідних та вихідних змінних блоку нечіткого управління, відповідних їм лінгвістичних вхідних та вихідних змінних, а також опис обмежень задачі. Приклад концептуальної моделі задачі нечіткого управління наведено на рисунку 1.

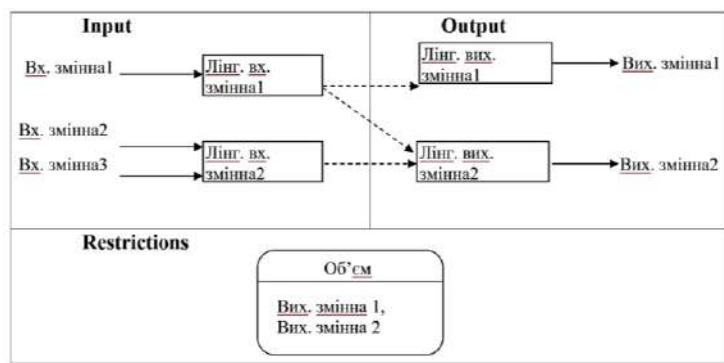


Рис. 1. Приклад концептуальної моделі задачі нечіткого управління

Як бачимо на рисунку 1, область моделі поділена на три частини: вхід блоку управління (Input), вихід блоку управління (Output), обмеження (Restrictions). У вхідній та вихідній частинах наведені назви звичайних вхідних та вихідних змінних блоку управління відповідно.

У прямокутниках наведено назви лінгвістичних змінних та стрілками вказано зв'язок між звичайними і відповідними їм лінгвістичними змінними. Пунктирними лініями зображено узагальнений вплив вхідних лінгвістичних змінних на формування значень вихідних лінгвістичних змінних, який

необхідно буде врахувати при формалізації нечітких продукцій бази знань нечіткого виводу. У частині діаграми, що відповідає обмеженням задачі, у вигляді прямокутників з округленими кутами наводяться обмеження. По кожному обмеженню вказується назва, що відбиває його фізичний сенс, та перераховуються звичайні змінні, які входять до обмеження. В подальшому для кожної лінгвістичної змінної необхідно деталізувати її структуру.

Детальний опис структури та характеристик кожної лінгвістичної змінної відбувається у її графічній моделі. Загальний вид моделі лінгвістичної змінної відповідно до її класичного визначення наведено на рисунку 2.

Назва лінгвістичної змінної	
Тип	Input/ Output
Блок змінних	
Назва звичайної змінної	Множина допустимих значень
Блок термів	
Назва терму	Характеристика функції належності
Опис процедури формування нових термів	
Опис процедури формування функцій належності термів	

Рис. 2. Узагальнений вид моделі лінгвістичної змінної

Як видно на рисунку 2, лінгвістична змінна представляється у вигляді фрейму. В першому полі вказується назва лінгвістичної змінної, а потім позначається, чи є вона вхідною або вихідною змінною.

Далі наводяться назви звичайних змінних, яким поставлена у відповідність дана лінгвістична змінна, а також їх області допустимих значень, тим самим визначаючи універсальну множину лінгвістичної змінної. Наступний блок моделі – множина термів лінгвістичної змінної.

Вказуються назви термів та надається характеристика їх функцій належності.

За наявності також наводиться опис процедури формування нових термів змінної та процедури визначення функцій належності нових термів.

На підставі зв'язків між лінгвістичними змінними, що зображуються в концептуальній моделі задачі нечіткого управління, та моделей лінгвістичних змінних формуються правила бази знань нечіткого виводу у вигляді нечітких продукцій, для представлення структури яких запропонована модель, приклад якої можна побачити на рисунку 3.

З рисунку 3 зрозуміло, що модель структури правил нечіткого виводу відображає зв'язок між антецедентами та консеквентами правил, представлених у вигляді логічних виразів зі значеннями лінгвістичних змінних.

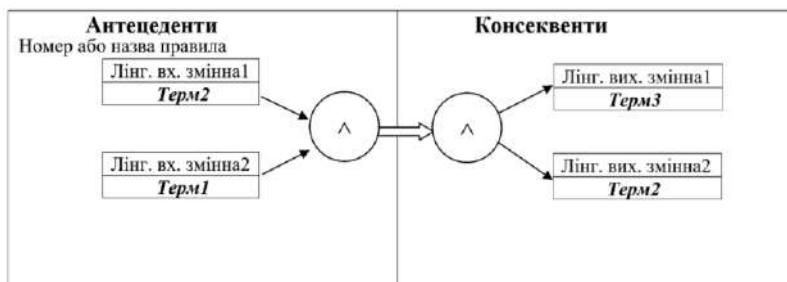


Рис. 3. Приклад моделі структури правил нечіткого виведення

Модель структури правила поділяється на дві частини: антецеденти та консеквенти. В частині антецедентів вказуються у вигляді прямокутників лінгвістичні змінні та їх значення (терми). Частини антецедентів поєднуються у складні структури за допомогою логічних операцій кон'юнкції та диз'юнкції, які наводяться у вигляді кіл з відповідною позначкою операції.

Логічна структура антецедентів може бути складною, сформованою в результаті кількох логічних операцій з різними рівнями вкладення. Широкою стрілкою позначено закінчення умовної частини правила та перехід до виводу.

Структура висновку правила будується на принципах, аналогічних умовній частині, але у дзеркальному порядку. Спочатку наводиться логічна операція, яка буде виконуватися між консеквентами, а далі самі консеквенти.

Структура заключної частини правила також може бути складною. Однак у більшості моделей нечіткого виведення робиться припущення, що для поєднання частин антецедентів чи

консеквентів використовується лише логічна операція кон'юнкції.

Використання розробленого методу концептуального моделювання дозволяє наочно представити базові компоненти предметної області задачі нечіткого управління. На основі концептуальної моделі сформована узагальнена математична постановка задачі нечіткого управління з обмеженнями на керуючі змінні.

На базі концептуальної моделі задачі нечіткого управління формуються множини вхідних \bar{X} і вихідних (керуючих) \bar{U} змінних пристрою управління, у відповідність ним ставляться множини вхідних та вихідних лінгвістичних змінних $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ та $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$.

Вхідні змінні \bar{X} розбиваються на підмножини \bar{x}_i , $i = \overline{1, n}$, які відповідають кожній вхідній лінгвістичній змінній α_i :

$$\alpha_i \rightarrow \bar{x}_i, \quad (1)$$

$$\bar{X} = \bigcup_{i=1}^n \bar{x}_i, \bar{x}_i \cap \bar{x}_k = \emptyset \forall i, k. \quad (2)$$

Відповідно до класичного визначення, вхідна лінгвістична змінна α_i представляється як кортеж:

$$\langle \alpha_i, T_i^\alpha, D_i^\alpha, S_i^\alpha, M_i^\alpha \rangle,$$

де α_i – назва змінної; T_i^α – множина термів лінгвістичної змінної α_i , яка визначається як $T_i^\alpha = \{t\alpha_{i1}, t\alpha_{i2}, \dots, t\alpha_{ik}\}$; D_i^α – множина можливих значень змінних \bar{x}_i ; S_i^α – синтаксична процедура, що визначає формування нових термів лінгвістичної змінної α_i ; M_i^α – семантична процедура, що завдає функції належності для нових термів, що генеруються процедурою S_i^α .

Для кожного терму $t\alpha_{ik}$ у загальному випадку формується функція належності багатьох аргументів $\mu_{ik}^\alpha(\bar{x}_i)$, яка задана на універсальній множині D_i^α і здійснює відображення на відрізок $[0, 1]$.

Вихідна лінгвістична змінна β_j формалізується аналогічним чином.

Вихідні змінні \bar{U} розбиваються на підмножини $\bar{u}_j, j = \overline{1, m}$, які відповідають кожній вхідній лінгвістичній змінній β_j :

$$\beta_j \rightarrow \bar{u}_j, \quad (3)$$

$$\bar{U} = \bigcup_{j=1}^m \bar{u}_j, \bar{u}_j \cap \bar{u}_k = \emptyset \forall j, k. \quad (4)$$

Вхідна лінгвістична змінна β_j представляється як кортеж:

$$\langle \beta_j, T_j^\beta, D_j^\beta, S_j^\beta, M_j^\beta \rangle,$$

де β_j – назва змінної; T_j^β – множина термів лінгвістичної змінної β_j , яка визначається як $T_j^\beta = \{t\beta_{j1}, t\beta_{j2}, \dots, t\beta_{jz}\}$; D_j^β – множина можливих значень змінних \bar{u}_j ; S_j^β – синтаксична процедура, що визначає формування нових термів лінгвістичної змінної β_j ; – семантична процедура, що завдає функції належності для нових термів, що генеруються процедурою S_j^β .

Для кожного терму $t\beta_{jz}$ формується функція належності багатьох аргументів $\mu_{jz}^\beta(\bar{u}_j)$, яка задана на універсальній множині D_j^β і здійснює відображення на відрізок $[0,1]$.

Модель нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів в узагальненому вигляді можна представити як множину нечітких продукційних правил $\{R_1, R_2, \dots, R_p\}$, що у спрощеному вигляді представляються як:

$$\text{RULE } R_q: \text{IF } condition_q \text{ THEN } conclusion_q, (F_q) \quad (5)$$

де $condition_q$ та $conclusion_q$ – відповідно антецедент та консеквент правила у вигляді нечіткого логічного висловлювання; F_q – ваговий коефіцієнт правила, що приймає значення з діапазону $(0,1]$.

Антецедент правил типу (5) складається з одного або кількох елементарних нечітких висловлювань SA_{iq}^{ik} виду:

$$SA_{iq}^{ik} : \alpha_i \text{ IS } t\alpha_{ik}, \quad (6)$$

де l – номер елементарного нечіткого висловлювання у антецеденті правила R_q , $l = \overline{1, N_q}$.

Аналогічно консеквент правила складається з одного або кількох елементарних нечітких висловлювань SC_{rq}^{jz} виду:

$$SC_{rq}^{jz} : \beta_j \text{ IS } t\beta_{jz}, \quad (7)$$

де r – номер елементарного нечіткого висловлювання у консеквенті правила R_q , $r = \overline{1, M_q}$; $t\beta_{jz}$ – терм лінгвістичної змінної β_j .

З метою спрощення розрахунків під час нечіткого виведення у антецеденті та консеквенті правил виду (5) будемо використовувати лише нечітку кон'юнкцію, що реалізується за одним з варіантів t -норми.

Обмеження задачі нечіткого управління представляються у вигляді системи функцій належності багатьох змінних:

$$\bar{G}(\bar{X}, \bar{U}). \quad (8)$$

Вид функцій належності $\mu_{ik}^{\alpha}(\bar{x}_i)$ і $\mu_{jz}^{\beta}(\bar{u}_j)$ для термів лінгвістичних змінних α_i та β_j може бути заздалегідь визначеним у вигляді аналітичної залежності, або формуватися на основі експериментальних даних.

З метою використання в задачах нечіткого моделювання та керування в роботі запропоновано кілька типів функцій належності багатьох аргументів у вигляді аналітичних залежностей. Як приклад, наведена пірамідальна функція належності багатьох змінних:

$$\mu(\bar{x}) = \max \left\{ \left(1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{|x_j - x_j^0|}{h_j} \right) \right); 0 \right\},$$

де x_j – значення j -ої компоненти вектора змінних \bar{x} ; x_j^0 – j -е значення центру основи піраміди; h_j – ненульові числові параметри, що задають масштабування за координатами вектора \bar{x} ; n – кількість змінних в векторі \bar{x} .

Пірамідальна функція є певним аналогом трикутної функції належності. Центр основи піраміди відповідає вектору значень, якому приблизно дорівнює величина, що моделюється. Приклад побудови пірамідальної функції належності двох аргументів з

координатами центру (1,1) і одиничними значеннями параметрів h_j , представлений на рисунку 4.

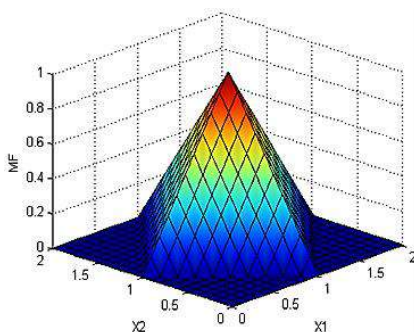


Рис. 4. Приклад графіку пірамідальної функції належності

Визначення виду функції належності при побудові нечіткої моделі процесу керування є складною задачею, особливо у випадку використання функцій належності багатьох змінних. Не завжди можна апіорно визначити аналітичний вид функції належності, тому в деяких випадках необхідно використовувати також і статистичні дані [10; 11]. На рисунку 5 показано етапи методу переробки інформації для формування функцій належності термів лінгвістичних змінних на основі експериментальних даних щодо функціонування об'єкту управління.

Як видно з рисунку 5, на першому етапі відбувається підготовка даних, характерних для універсальної множини функції належності. Потім застосовуються методи нечіткої кластеризації для формування таблично-заданої функції належності багатьох змінних. Якщо кластеризація була проведена для універсальної множини лінгвістичної змінної, то на основі її результатів також можливе визначення термів змінної. Отримана таблично-задана функція аналізується експертами для визначення варіантів типу функції. Для функцій належності з невеликою кількістю аргументів бажано застосовувати побудову графіку самої функції або її проекцій.

Для обраних варіантів типу функції здійснюється пошук параметрів. З метою пошуку значень параметрів може бути використаний метод найменших квадратів або метод Монте-Карло. Для оцінки якості формування функції належності розраховується відмінність між таблично-заданою функцією та

аналітичною функцією за допомогою парних критеріїв похибки [12]. З використанням методів експертних оцінок обирається вид функції належності, або експерт може переглянути її тип чи відмовитися від пошуку аналітичного виду функції належності на користь використання чисельних методів апроксимації.



Рис. 5. Етапи реалізації методу формування функцій належності термів

2. Нечітке управління на основі функцій належності багатьох аргументів

Представлено розробку методу автоматизації вирішення формалізованої задачі нечіткого управління при наявності нелінійних обмежень на керуючі змінні, запропоновано метод дефазифікації нечіткого логічного виведення для випадку використання функцій належності багатьох змінних, наведено метод нечіткого виведення, що базується на формуванні та обході графа питальника.

Етапи методу автоматизації розв'язку задачі нечіткого управління при наявності обмежень на керуючі змінні представлено на рисунку 6.

Як видно на рисунку 6, для формування керуючих впливів \bar{U} інформаційної технології нечіткого управління з використанням функцій належності багатьох аргументів розроблено етапи

процедури нечіткого виведення, до яких входять фазифікація, агрегування, активізація, акумуляція, дефазифікація.

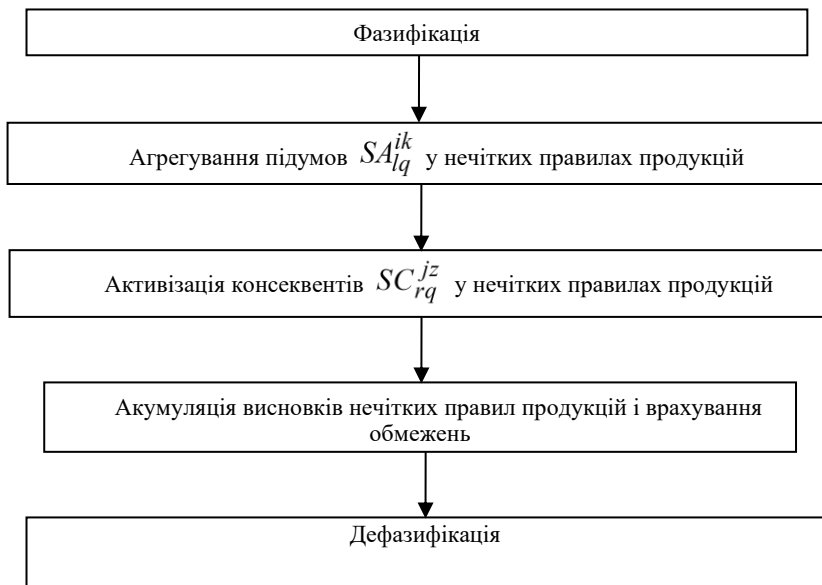


Рис. 6. Етапи реалізації методу нечіткого управління з обмеженнями

Процедура фазифікації полягає в розрахунку ступенів істинності W_{lq} нечітких висловлювань SA_{lq}^{ik} антецедентів правил на основі значень функцій належності відповідних термів вхідних лінгвістичних змінних для заданого набору значень вхідних змінних \bar{x}_i^0 :

$$W_{lq} = \mu_{ik}^{\alpha}(\bar{x}_i^0). \quad (10)$$

На етапі агрегування відбувається визначення істинності антецедентів W_q кожного правила R_q бази знань нечіткої моделі, для чого використовується один з варіантів t-норми. Наприклад, агрегування може відбуватися за формулою:

$$W_q = \min_l W_{lq}.$$

На етапі активізації відбувається обмеження значення функції належності кожного з нечітких висловлювань, що входять до консеквентів правил бази знань, за допомогою одного з класичних способів, серед яких популярністю користуються *min*-активізація, *prod*-активізація чи *average*-активізація. Наприклад, при використанні *min*-активізації розрахунки відбуваються за формулою:

$$\mu_{rq}^{jz}(\bar{u}_j) = \min\{W_q \cdot F_q, \mu_{jz}^{\beta}(\bar{u}_j)\},$$

де $\mu_{rq}^{jz}(\bar{u}_j)$ – функція належності терму $t\beta_{jz}$ вихідної змінної β_j у нечіткому висловлюванні SC_{rq}^{jz} .

На етапі акумуляції відбувається об'єднання функцій належності нечітких висловлювань консеквентів, а також враховуються обмеження на керуючі змінні для отримання функції належності кожної вихідної лінгвістичної змінної β_j . Об'єднання функцій належності виконується з застосуванням одного з варіантів *s*-норми, а перетин реалізується за одним з варіантів *t*-норми.

Формується функція належності вихідної лінгвістичної змінної β_j :

$$\mu_j^*(\bar{U}) = \left(\bigcup_{q=1}^p \bigcup_{r=1}^{M_q} \bigcup_{z=1}^{Z_j} \mu_{rq}^{jz}(\bar{u}_j) \right) \bigcap_{b=1}^{N^g} g_b(\bar{X}^0, \bar{U}),$$

де p – кількість правил, що входять до бази знань; z_j – кількість термів вихідної лінгвістичної змінної β_j ; N^g – кількість обмежень в задачі управління; \bar{X}^0 – значення вхідних змінних інформаційної системи.

Дефазифікація полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вхідних лінгвістичних змінних, отримати звичайне кількісне значення кожної з вхідних керуючих змінних. Для функцій належності багатьох аргументів формула дефазифікації ґрунтується на ідеї методу центру тяжіння:

$$u_k^o = \frac{\iint_V \dots \int u_k \cdot \mu_j^*(\bar{U}) dV}{\iint_V \dots \int \mu_j^*(\bar{U}) dV},$$

де u_k^o – значення керуючої змінної $u_k \in \bar{u}_j$; V – область можливих значень керуючих змінних \bar{U} .

Для дефазифікації за формулою (14) необхідно розв'язати задачу пошуку значення багатомірного інтегралу, як для розрахунку чисельника, так і для обчислення знаменника. З цією метою можна використати чисельні методи, наприклад, метод Монте-Карло. Оскільки функція належності дорівнює нулю в тих точках області V , що не є допустимими, застосування методу Монте-Карло в задачі дефазифікації нечіткого виводу на основі функцій належності багатьох аргументів значно спрощується.

Розглянемо знаходження методом Монте-Карло значення знаменника в формулі (14), тобто значення інтегралу:

$$\iint_V \dots \int \mu_j^*(\bar{U}) dV.$$

Для кожної керуючої змінної u_k будується відрізок $[a_k, A_k]$ шляхом проєціювання області V на вісь цієї змінної, такий що:

$$a_k \leq u_k \leq A_k.$$

Зробимо заміну змінних:

$$u_k = a_k + (A_k - a_k)\gamma_k, \quad k = \overline{1, m},$$

де змінна γ_k належить відріzkу $[0, 1]$.

Для застосування методу Монте-Карло необхідно обрати m рівномірно розподілених на відріzkі $[0, 1]$ послідовностей випадкових чисел:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{1s} \\ \gamma_{21}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{2s} \\ \dots \\ \gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \dots, \gamma_{ms} \end{bmatrix}.$$

Далі слід перейти в інтегралі (15) до нових змінних. Якобіан переходу має вигляд:

$$\begin{vmatrix} A_1 - a_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_2 - a_2 & \dots & 0 \\ & & \dots & \\ 0 & 0 & \dots & A_m - a_m \end{vmatrix} = (A_1 - a_1)(A_2 - a_2) \cdot \dots \cdot (A_m - a_m).$$

Використовуючи знайдений Якобіан, на основі ідеї методу Монте-Карло отримано формулу для наближеного розрахунку інтегралу (15):

$$\iint_V \dots \int \mu_j^*(\bar{u}) dV \approx \frac{(A_1 - a_1) \cdot \dots \cdot (A_m - a_m)}{\delta} \sum_{\tau=1}^{\delta} \mu_j^*(a_1 + (A_1 - a_1)\gamma_{1\tau}, \dots, a_m + (A_m - a_m)\gamma_{m\tau}).$$

Формула для розрахунку значення чисельника в формулі (14) знаходиться аналогічно:

$$\begin{aligned} \iint_V \dots \int u_k \cdot \mu_z^*(\bar{u}_z) dV &\approx \frac{(A_1 - a_1) \cdot \dots \cdot (A_m - a_m)}{\delta} \times \\ &\times \sum_{\tau=1}^{\delta} (a_k + (A_k - a_k)\gamma_{k\tau}) \times \mu_j^*(a_1 + (A_1 - a_1)\gamma_{1\tau}, \dots, a_g + (A_m - a_m)\gamma_{m\tau}). \end{aligned}$$

Підставивши вирази (17) і (18) у формулу (14), та виконавши нескладні перетворення, отримано формулу дефазифікації на основі методу Монте-Карло для функцій належності багатьох аргументів:

$$u_k^o = \frac{\sum_{\tau=1}^{\delta} (a_k + (A_k - a_k)\gamma_{k\tau}) \times \mu_j^*(a_1 + (A_1 - a_1)\gamma_{1\tau}, \dots, a_m + (A_m - a_m)\gamma_{m\tau})}{\sum_{\tau=1}^{\delta} \mu_j^*(a_1 + (A_1 - a_1)\gamma_{1\tau}, \dots, a_m + (A_m - a_m)\gamma_{m\tau})}.$$

Точність отриманої формули дефазифікації оцінюється відповідно до методу Монте-Карло та залежить від розміру вибірки випадкових величин:

$$\Delta = \frac{1}{2\sqrt{\delta(1-\theta)}},$$

де θ – гарантована ймовірність влучання похибки в інтервал $[-\Delta; +\Delta]$.

Оскільки виконання етапів нечіткого виведення для методу автоматизації управління з використанням функцій належності

багатьох аргументів передбачає складні обчислювальні процедури, був розроблений метод логічного виведення на основі формування та обходу графу питальника [13]. Теорія питальників застосовується у таких областях діяльності людини, де зустрічаються завдання, рішення яких можна і доцільно шукати у вигляді деякого графа спеціального виду, і тим самим розглядати ці завдання з деякою спільної точки зору. Як приклади подібних завдань можна навести відшукування слів в машинному словнику, перевірку об'єктів контролю, технічної діагностики і т.п. [14]. Проведене дослідження показало можливість реалізації логічного виведення на основі теорії питальників для бази продукційних правил. Розроблений метод містить побудову питальника для бази нечітких продукційних правил та процедури нечіткого виведення на основі графу питальника.

Побудова питальника для бази нечітких продукцій передбачає формалізацію структури правил, опис базових складових питальника, встановлення відповідності структури правил та основних складових питальника, процедуру формування питальника на основі базових даних.

Нехай $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_m$ – вхідні лінгвістичні змінні нечіткої моделі, β – вихідна лінгвістична змінна. Для кожної лінгвістичної змінної α_i визначено множину термів $\{s_{ij}\}$. Аналогічно для лінгвістичної змінної β задана множина термів $\{d_j\}$.

Структуру бази нечітких продукційних правил представимо у вигляді:

- 1) ЯКЩО $\alpha_1 = s_{11}$ та $\alpha_2 = s_{12}$ та... $\alpha_m = s_{1m}$ ТО $\beta = d_1$ (вага p_1);
- 2) ЯКЩО $\alpha_1 = s_{21}$ та $\alpha_2 = s_{22}$ та... $\alpha_m = s_{2m}$ ТО $\beta = d_2$ (вага p_2);

...

- n) ЯКЩО $\alpha_1 = s_{n1}$ та $\alpha_2 = s_{n2}$ та... $\alpha_m = s_{nm}$ ТО $\beta = d_n$ (вага p_n).

Вважається, що у системі (20) в антецедентах правил в загальному випадку може бути різна кількість складових, бо різні вхідні лінгвістичні змінні можуть мати різну кількість термів. У випадку, коли модель має кілька вихідних змінних, правила нечітких продукцій розбиваються на блоки виду (20). Для системи правил розглянемо відповідні структури питальника.

У загальному випадку питальник визначає кінцеву множину Y , що складається з N елементів y_j , що називаються подіями. Кожній події $y_j \in Y$ поставлена у відповідність вагова функція $\omega(y_j)$, яка характеризує частоту даної події. Також визначена множина питань T з заданою кількістю відповідей $a(t_i)$ на кожне питання t_i .

Число елементів у множині T дорівнює R . Елементи t_i множини T називаються питаннями. Як правило, кожному питанню $t_i \in T$ поставлена у відповідність позитивна вагова функція $c(t_i)$, яка називається вартістю питання. Опис розвитку множини подій U питаннями з T на підмножини прийнято проводити за допомогою анкети. Анкета являє собою матрицю A розмірності $R \times N$, елементи якої Z_{ij} визначають відповіді на питання t_i для події y_j . Сукупність питань T і послідовності, в яких задаються ці питання для повної ідентифікації кожної з N подій множини U , утворюють питальник для U . Для одних і тих же множин T і U можуть бути побудовані питальники, що відрізняються як послідовністю постановки, так і множинами поставлених питань. Тому теорія питальників пропонує методи побудови оптимальних (в деякому сенсі) питальників [14].

На підставі аналізу структури бази нечітких продукційних правил та базових складових питальника можна зробити висновок про їх значну схожість. Кожному питанню $t_i \in T$ поставимо у відповідність вхідну лінгвістичну змінну α_i , а кожній події y_j – терм d_j вихідної лінгвістичної змінної β . У якості відповідей на питання Z_{ij} можуть бути використані терми s_{ij} вхідних лінгвістичних змінних. Однак вагові коефіцієнти p_j нечітких продукційних правил у загальному випадку не можуть розглядатися як значення вагових функцій подій $\omega(y_j)$, тому що вони мають зовсім різний сенс. Ваговий коефіцієнт характеризує впевненість експерта у вірності правила, а вагова функція події позначає її частоту. Тому значення вагової функції покладемо рівними $1/|d_j|$. Значення функції вартості $c(t_i)$ приймемо рівними 1 для всіх питань. Таким чином, оскільки кількість термів у вхідних лінгвістичних змінних не є однаковою, відповідний питальник є неоднорідним з однаковою ціною питання.

Спираючись на встановлену відповідність між компонентами питальника та нечітких продукцій, процедура формування питальника для бази нечітких продукційних правил містить етапи:

- формування анкети питальника;
- побудова питальника одним з методів теорії питальників.

Формування анкети питальника для бази продукційних правил є, як показано вище, тривіальною задачею. У випадку відсутності для вхідної лінгвістичної змінної відповідного значення терму через їх неоднакову кількість для різних змінних,

значення відповідного елемента матриці анкети питальника вважається рівним \emptyset .

Побудова питальника полягає у формуванні навантаженого орієнтованого графа $G(X, \Gamma)$ з однією кореневою вершиною, такого що:

$$X: \{x \in (T \cup Y)\};$$

$$x = y \in Y \Rightarrow |\Gamma y| = \emptyset;$$

$$x = t \in T \Rightarrow |\Gamma t| = a(t);$$

$$T \cap Y = \emptyset.$$

У якості критерію формування графа питальника використовується мінімальна довжина його обходу. Побудова оптимального питальника може бути виконана з застосуванням динамічного програмування або алгоритму Пікара.

На основі побудованого для кожної лінгвістичної змінної графа питальника формуються процедури нечіткого логічного виведення.

Етапи нечіткого логічного виведення на основі питальника представлено на рисунку 7.

Для проведення обходу графа питальника будемо використовувати принцип пошуку в глибину. Позначимо через Q_j^g підмножину вершин питань T графа питальника, які утворюють шлях g від кореневої вершини до вершини події y_j . Відповідну множину дуг, які поєднують вершини Q_j^g , позначимо V_j^g .



Рис. 7. Етапи нечіткого логічного виведення на основі питальника

Розрахунок показника належності W_j^g шляху g для кожної вершини події u_j на основі значень вхідних змінних здійснюється за формулою:

$$W_j^g = \bigcap_{v \in V_j^g, v \neq \emptyset} \mu_{ik}, \quad (21)$$

де μ_{ij} – значення для заданих величин вхідних змінних блоку нечіткого управління функції належності терму s_{ik} вхідної лінгвістичної змінної α_i , що відповідає вершині, з якої виходить дуга v .

Операція перетину реалізується одним з варіантів t-норми.

Акумуляція функцій належності термів вихідної лінгвістичної змінної β відбувається за формулою:

$$\mu(u) = \bigcup_{y_j, g} (W_j^g \cap p_j \cap \mu_j(u)).$$

Операція об'єднання реалізується за одним з варіантів s-норми.

При наявності обмежень на керуючі змінні, представлені у вигляді функцій належності багатьох аргументів, вони можуть бути додані у формулу (22) аналогічно формулі (13).

Для отримання звичайних значень вихідних змінних u блоку управління може бути використано один з методів дефазифікації.

3. Методика побудови інформаційних технологій для автоматизації нечіткого управління

З метою практичної реалізації методів, розроблених у розділах 1 та 2, виконано розробку основних етапів методики побудови інформаційних технологій для автоматизації нечіткого управління, представлено узагальнену структуру інформаційної технології для реалізації нечіткого управління з використанням функцій належності багатьох аргументів, її баз даних та знань, розроблені алгоритми нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів.

Узагальнені етапи методики побудови інформаційних технологій для автоматизації нечіткого управління представлено на рисунку 8.

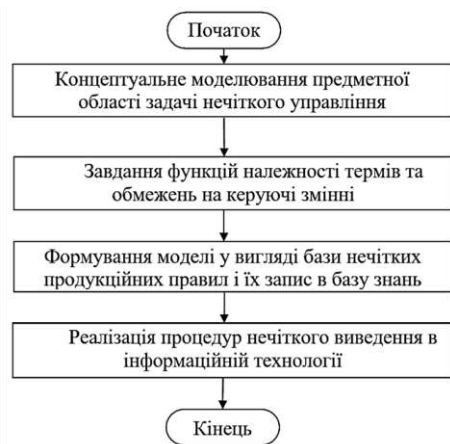


Рис. 8. Етапи розробки інформаційної технології нечіткого управління

Концептуальне моделювання предметної області задачі нечіткого управління, завдання функцій належності термів лінгвістичних змінних та наявних обмежень задачі здійснюється на основі методів, представлених у першому розділі роботи. Використовуючи концептуальну модель, за участі експертів предметної області формуються нечіткі продукційні правила, які описують процес керування, та вносяться до бази знань. На основі розроблених у другому розділі роботи методів нечіткого управління відбувається розробка програмного забезпечення, тестування та впровадження інформаційної технології.

Узагальнена структура інформаційної технології нечіткого управління наведена на рисунку 9.

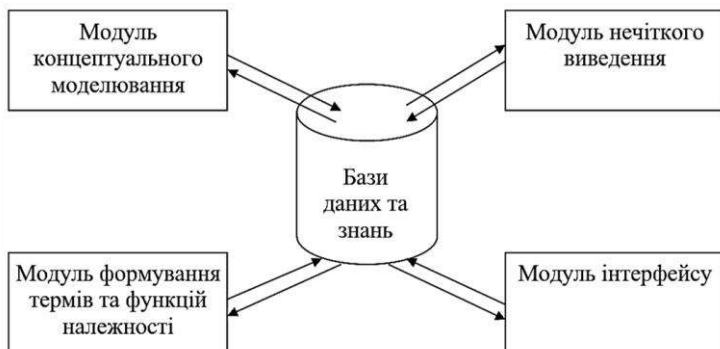


Рис. 9. Узагальнена структура інформаційної технології нечіткого управління

Як видно з рисунку 9, інформаційна технологія містить бази даних та знань, модуль концептуального моделювання, модуль формування термів лінгвістичних змінних та їх функцій належності, модуль нечіткого логічного виведення та модуль інтерфейсу.

Модуль концептуального моделювання забезпечує розробку моделей предметної області задачі нечіткого управління на основі методу, представленого у першому розділі роботи. Модуль формування термів лінгвістичних змінних та їх функції належності допомагає експертам визначити відповідні елементи нечіткої моделі за допомогою розробленого у роботі методу. Модуль нечіткого виведення виконує розрахунки на основі наведених у другому розділі роботи методів нечіткого управління. Модуль інтерфейсу забезпечує взаємодію інформаційної технології з об'єктом керування та користувачами.

Бази даних та знань інформаційної технології містять інформацію щодо діяльності об'єкта керування, нечіткої моделі, прийнятих рішень. Для представлення в інформаційній технології даних щодо змінних задачі та правил бази знань розроблено відповідні структури даних, представлені на рисунку 10.

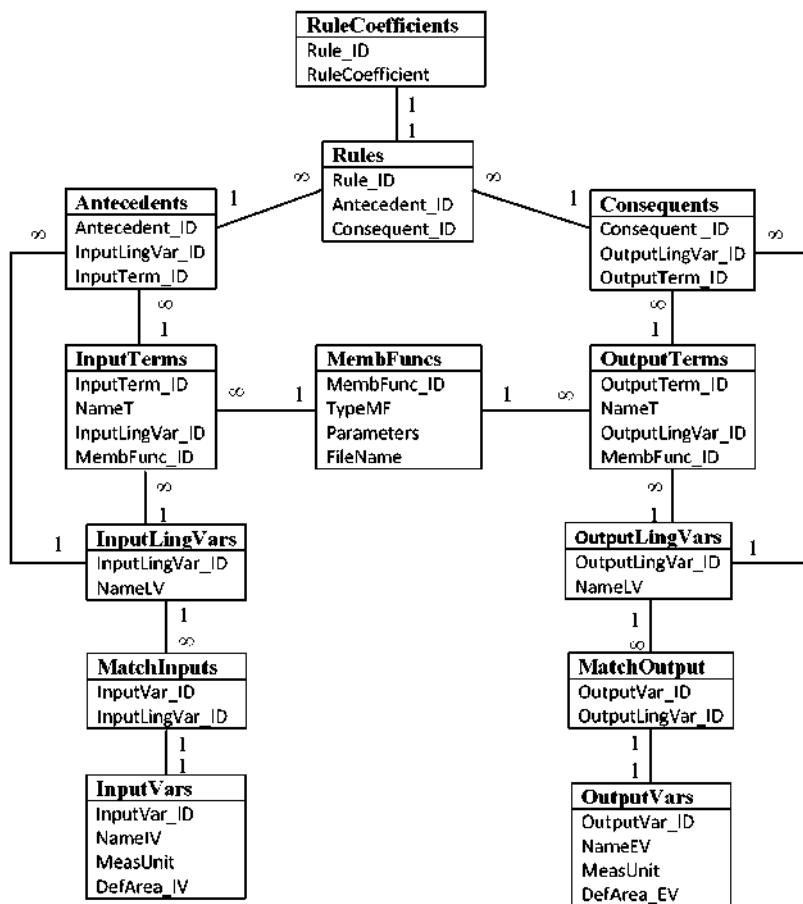


Рис. 10. Модель структури даних нечітких продукцій інформаційної технології

Як видно з рисунку 10, до структур даних інформаційної технології для формалізації бази нечітких продукцій виду (5) включені таблиці правил Rules та їх вагових коефіцієнтів RuleCoefficients [15]. Правило може містити кілька антецедентів або консеквентів, в цьому випадку в таблиці Rules формується кілька рядків з однаковим значенням ключа Rule_ID. Вважається,

що в одному правилі частини антецедента та консеквента пов'язані між собою тільки операцією перетину.

Для збереження даних щодо антецедентів та консеквентів сформовано відповідні таблиці Antecedents та Consequents. Їх структура в цілому схожа і відповідає вимогам формул (6) та (7). Ці таблиці пов'язані з таблицями термів вхідних та вихідних лінгвістичних змінних InputTerms та OutputTerms відповідно. До структури таблиць термів InputTerms та OutputTerms включені код терму та його назва, а також посилання на відповідну лінгвістичну змінну і зв'язок з функцією належності терму. Основою вирішення задачі нечіткого управління певним об'єктом є формування функцій належності, які необхідно визначити для термів лінгвістичних змінних, наведених у концептуальній моделі. Інформаційна технологія має забезпечувати можливість побудови та корекції концептуальної моделі і дозволяти зберігати та оброблювати дані щодо функцій належності термів і обмежень задачі. Таблиця функцій належностей MembFuncs містить код функції, її тип (для аналітично заданих стандартних функцій) та масив значень параметрів. Якщо вид функції належності нестандартний, то може бути вказано ім'я файлу, в якому знаходиться програмний код для розрахунку її значень. Розрахунок значень функцій належності ґрунтується на зв'язку лінгвістичних змінних з вхідними та вихідними змінними, який задається за допомогою таблиць MatchInputs та MatchOutput. Розроблена модель структури даних враховує особливості використання функцій належностей багатьох аргументів.

Для програмної реалізації інформаційної технології на основі методів, наведених у розділах 1 та 2, розроблено набір алгоритмів.

До основних алгоритмів інформаційної технології відносяться:

- алгоритм переробки інформації для формування функцій належності багатьох аргументів;
- алгоритм автоматизації нечіткого управління для задач з обмеженнями;
- алгоритм нечіткого виведення на основі побудови та обходу графа питальника.

У якості прикладу на рисунку 11 наведено алгоритм розрахунку ступенів належності антецедентів нечітких продукційних правил.

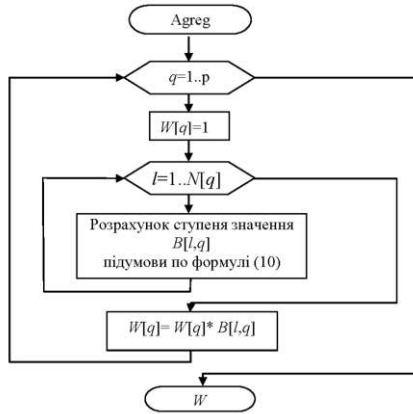


Рис. 11. Алгоритм розрахунку ступенів належності антецедентів правил

Як видно на рисунку 11, для реалізації нечіткої кон'юнкції підумов антецедентів правил в алгоритмі використано формулу (10). При необхідності наведений алгоритм може бути легко модифікований для використання інших способів розрахунку нечіткої кон'юнкції.

Алгоритм дефазифікації акумульованих функцій належності наведено на рисунку 12.

Як видно на рисунку 12, на початку роботи алгоритму визначаються коефіцієнти масштабування відрізка значень керуючої змінної на відрізок $[0,1]$. Далі, виходячи з вимог до точності розрахунків, встановлюється обсяг вибірки по всім керуючим змінним випадкових чисел, рівномірно розподілених на відріжку $[0,1]$. Після цього відбувається генерація масиву цих чисел. Потім у циклі відповідно розраховуються значення керуючих змінних, результати розрахунку заносяться до бази даних інформаційної технології. В алгоритмі використовується акумульована функція належності $\mu_j()$, розрахунок якої представлено у вигляді алгоритму на рисунку 13.

Як видно на рисунку 13, на початку алгоритму відбувається розрахунок значень керуючих змінних відповідно до заданих значень аргументів функції.

Далі відбуваються обчислення за формулою акумуляції. Для реалізації нечіткої операції об'єднання використана формула ймовірнісного об'єднання з метою забезпечення неперервності підінтегральної функції. В формулі акумуляції зразу враховуються значення ступенів належності антецедентів, розраховані за допомогою алгоритму, наведеного на рисунку 11.

Крім того, відповідно до формули активізації методу нечіткого управління, використані значення вагових коефіцієнтів нечітких продукційних правил бази знань інформаційної технології.

Для акумульованого значення функції належності керуючої змінної застосовуються наявні в задачі управління нелінійні обмеження, представлені у вигляді масиву функцій належності багатьох аргументів. Реалізація операції нечіткого перетину здійсненна у вигляді добутку операндів. Отримане значення функції належності передається у алгоритм дефазифікації, який викликав цей розрахунок.

Запропоновані алгоритми можуть бути використані при створенні програмного забезпечення для автоматизації нечіткого управління.

Висновки

Розроблено методологічні основи побудови інформаційних технологій для підвищення якості функціонування об'єктів зі складною структурою шляхом автоматизації обробки інформації і управління на принципах нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох аргументів.

Враховуючи недостатній рівень розвитку існуючих підходів для опису задач нечіткого управління при розробці інформаційних технологій було розроблено метод концептуального моделювання, що враховує специфіку нечіткого управління з використанням функцій належності багатьох аргументів. Застосування розроблених засобів концептуального моделювання дозволило представити у графічному вигляді основні складові задачі нечіткого управління, структуру лінгвістичних змінних та зв'язки між ними, необхідні для формування нечітких продукційних правил бази знань та

визначення функцій належності при побудові інформаційних технологій.

Виконано формалізацію узагальненої моделі задачі нечіткого управління при наявності обмежень на значення керуючих змінних. На основі цієї моделі розроблено метод автоматизації управління на принципах нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох аргументів, застосування якого дозволяє враховувати взаємозв'язок керуючих змінних і зменшити кількість правил нечітких продукцій в базі знань в порівнянні з відомими методами. Розробка методу дає можливість розширити перелік завдань управління, виконання яких можливо автоматизувати на основі інформаційних технологій з використанням нечіткої логіки.

Сформовано узагальнену методику розробки інформаційних технологій для автоматизації управління складними системами на основі нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох аргументів. Представлена узагальнена структура інформаційної технології нечіткого управління, яка завдяки модульності та гнучкості налаштування може бути застосована для широкого кола задач. Для реалізації всіх етапів нечіткого виведення розроблені відповідні алгоритми, які можуть бути використані при створенні програмного забезпечення для автоматизації виконання завдань управління складними системами.

Література:

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control, 1965. Vol. 8. PP. 338–353.
2. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. К., 2010. 344 с.
3. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Краткая история UML. Язык UML. Руководство пользователя The Unified Modeling Language User Guide. М., 2006. 496 с.
4. Han D., Yang Q., Xing J. Extending UML for the modeling of fuzzy self-adaptive software systems. The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC). 2014. P. 2400-2406.
5. X. Zhang, Q. Yang, J. Xing, D. Han and Y. Chen. A Similarity-Based Approach to Recognizing Voice-Based Task Goals in Self-Adaptive Systems. IEEE 41st Annual Computer Software and Applications

Conference (COMPSAC). Turin. 2017. pp. 536-542. DOI: 10.1109/COMPSAC.2017.35.

6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М., 2007. 288 с.

7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб., 2005. 736 с.

8. M. Zeinali, "Multi-layer fuzzy system modeling a new approach: Theory and application," International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFUZZY). Pingtung. 2017. pp. 1-6. DOI: 10.1109/iFUZZY.2017.8311811.

9. Shushura O. M. Infological modeling of information systems subject industries in solving of fuzzy control tasks. *Зв'язок*. 2018. № 2. С. 53-56.

10. Shtovba S., Pankevich O., Nagorna A. Analyzing the criteria for fuzzy classifier learning. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2015. Vol. 49. № 3. P. 123-132.

11. Штовба С.Д. Побудова функції належності нечітких множин за кластеризацією експериментальних даних. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2006. № 2. С. 92-95.

12. Oleksii Shushura, Liudmyla Asieieva, Iryna Husyeva, Mykhailo Stepanov, Oksana Datsiuk. "Construction of Membership Functions in Fuzzy Modeling Tasks Using the Analytic Hierarchy Process". *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Volume 9, № 3, May – June 2020/ p. 2702-2707. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/33932020>.

13. Шушура О. М. Нечітке логічне виведення на основі теорії питальників. *Штучний інтелект*. 2018. № 1. С. 56-61.

14. Аржененко А.Ю., Чугаев Б.Н. Оптимальные бинарные вопросники. М., 1989. 128 с.

15. Шушура О. М. Структури даних інформаційної технології нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів. *Зв'язок*. 2018. № 1. С. 21-24.

РОЗДІЛ 3. НОВІТНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-247-3-6>

Кушнеренко В. Г.

*кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ветеринарії, гігієни та розведення тварин
Херсонський державний аграрно-економічний університет
м. Херсон, Україна*

ТЕХНОЛОГІЯ ГОДІВЛІ ТВАРИН, ПТИЦІ ТА РИБИ В ВОДОЙМИЩАХ, ЗВОЛОЖЕНОЮ ФЕРМЕНТОВАНОЮ ГОМОГЕННОЮ КОРМОВОЮ СУСПЕНЗІЄЮ ІЗ СУМІШІ ЗЕРНОВИХ

Впроваджена технологія дозволяє переробляти наявне в господарствах зерно в продукт, який утримує значну кількість цукрів і робить це мало витратним, енергетичним і екологічно безпечним способом, може бути повністю автоматизованою.

Виконаними дослідженнями та експериментами, теоретично і практично обґрунтовано доцільність і ефективність використання зволоженої ферментованої гомогенної кормової суспензії із суміші зернових для відгодівлі тварин свиней, телят, ВРХ, овець, кіз, качок, гусей, риби у водоймищах та ін..

Розроблено і впроваджено у галузі тваринництва, серійний випуск кормоготувального агрегату нового покоління, серії АКГСМ «Мрія», 19 модифікацій, які забезпечили технологію відгодівлі тварин ферментованими кормами, охопивши малий та середній бізнес фермерських господарств України від 10 до 5000 голів, збагаченим, висококалорійним кормом.

Виконано і обґрунтовано опис процесів, що відбуваються в гідромліні-змішувачі при збагаченні кормів.

Розроблено раціони кормів для різновікових тварин по групах відгодівлі і рекомендована високо економічна технологія фермерам України, яка не поступається європейським.

Обґрунтовано зменшення основних витрат при відгодівлі тварин (ф.г.к.с.) в фермерських господарствах України та високі економічні показники і рентабельність.

Вступ

Однією з основних передумов підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин являється повноцінна годівля, яка залежить від наявності достатньої кількості різноманітних кормів, які забезпечують організм необхідними поживними і біологічно активними речовинами. Відсутність або нестача окремих поживних речовин, а також порушення їх співвідношення в раціонах призводить до зниження ефективності використання поживних речовин кормів, а значить і до зниження продуктивності. Тільки при повноцінній кормовій базі тварини проявляють свій генетичний потенціал продуктивності.

Сучасна наука виділяє три фактори, що забезпечують продуктивний потенціал годівлі. Це генетичний аспект, зовнішнє середовище проживання і фізіологічно необхідне тваринам харчування.

Підвищення ефективності галузі тваринництва значною мірою обумовлене удосконаленням існуючих та розробкою нових технологій виробництва продукції. Серед них важливе значення надається технологічним прийомам виробництва кормових повнораціонних сумішей, збалансованих за основними поживними речовинами, що відповідають фізіологічним потребам тварин і забезпечують високу реалізацію генетичного потенціалу їх продуктивності.

Рівень інтенсивності технології характеризується основними показниками, до яких відносяться:

- валова кількість та якість продукції тваринництва;
- собівартість та витрати праці з розрахунку на 1 ц продукції;
- окупність капіталовкладень.

Корми складають до 70% в загальному обсязі витрат на відгодівлю поголів'я. Тому якісна годівля, заснована на задоволенні тварин необхідним рівнем поживних речовин і елементів харчування – запорука якості і рентабельності кінцевого продукту [1, 2].

Одним із головних критеріїв впровадження інтенсивних технологій є випереджений розвиток кормової бази та поліпшення якості кормів. Враховуючи, що більшість існуючих господарств звело

до мінімуму поголів'я тварин, виникає необхідність відродити несправедливо забутий традиційний спосіб живлення тварин вологими мішанками (бовтушками), застосовуючи сучасне кормове обладнання та нові технології годівлі.

У світовій і вітчизняній практиці комбікормового виробництва існують різні способи і технології обробки зернової сировини з метою підвищення його поживної цінності:

- замочування (з пророщуванням);
- підсмажування;
- екструдкування;
- пропарювання і плющення;
- «Вибух» в киплячому шарі;
- мікронізація;
- екструзія;
- експандування (кондиціонування під тиском).

Перераховані технології мають ряд істотних недоліків і характеризуються високими енерговитратами. Практично всі вони відбуваються при високій температурі, не даючи фіксовану фракцію здрібнення зернових, яка найкраще засвоюється кишковим трактом тварин, в результаті чого біологічно активні компоненти зерна (вітаміни, ферменти) частково або повністю інактивуються, а білки денатуруються. Але найголовніше – всі згадані способи обробки зерна забезпечують незначне перетворення крохмалю в легко перетравні вуглеводи (цукор), наприклад, екструдкування призводить до підвищення перетравності сухої речовини тільки на 2,1%, органічні речовини – на 1,9, сирого протеїну – на 4,5, сирого жиру – на 3,8%. Крім того, перераховані численні технології не зведені в єдиний процес і не мають базового забезпечення належними технічними засобами [3].

У зв'язку з викладеним, у тваринницькій галузі гостро назріла необхідність в таких технологіях, які дозволяли б перероблювати наявне в господарствах зерно в продукт, який утримує значну кількість цукрів і робить це мало витратними, енергетичним і екологічно безпечним способом.

1. Відгодівля тварин зволоженою ферментованою гомогенною кормовою суспензією (ф.г.к.с)

Технологія яка дозволяє переробляти наявне в господарствах зерно в продукт, що утримує значну кількість цукрів і робить це

мало витратним, енергетичним і екологічно безпечним способом, може бути повністю автоматизованою.

Ця технологія пройшла успішні випробування у тваринницьких господарствах України, показала високий економічний ефект та рекомендована до запровадження [4].

Приготування зволоженої ферментованої гомогенної кормової суспензії (ф.г.к.с) забезпечують кормоагрегати серії АКГСМ «Мрія», будь-якої потужності для відгодівлі від 10, 20, 40, 100, 200 300, 500 і 1000 голів, особливо охоплюючи малий та середній бізнес в тваринництві (група агрегатів до 5000 голів).

У якості одного з варіантів нової технології приготування рідких ферментованих гомогенних суспензійних кормів для тварин є процес кавітаційного впливу, що підвищує процес гомогенізації та ферментації при готуванні зволжених кормів із суміші зернових. Ці процеси відбуваються в гідромліні – змішувачі спеціальної конструкції, де по черзі, періодично, діє тиск до 5 – 6 бар та розрядка при відповідній температурі до 60⁰-70⁰С, та кислотності рН 4.5-5.5 одиниці, при 1500-3000 обертів за хвилину електродвигуна, без доступу повітря, забезпечує ці процеси жорен спеціальної конструкції з перехрещеними насічками, перемелюючи зерносуміш у фіксовану фракцію 0.5-1.4 мм для свиней і 0.8-2.0 мм для телят, ВРХ та інших тварин та птиці, яка найкраще засвоюється кишковим трактом тварин. Це фізичне явище, яке виникає в рідинах при створенні особливих зовнішніх умов [5, 6].

Ефект кавітації в ферментованих кормах полягає в тому, що енергією ударних хвиль від кавітаційних бульбашок що вибухнули при t -110⁰С здійснюється руйнування клітинних стінок і клітинних структур зерна і бобів, насіння рослин, з подальшим зменшенням t⁰ корму. В результаті багаторазового впливу ударних хвиль, зерна злаків і бобових культур розм'якшуються, виділяють в розчин крохмаль і клейковину. Після розігріву кормової суспензії до 60⁰-70⁰С відбувається «клейстеризація», і виражається в тому, що суспензія стає желеподібною. При даних температурах починається гідроліз крохмалю, в результаті якого він перетворюється в речовини, які легко засвоюються тваринами.

Такими речовинами найчастіше бувають моносахариди, дисахариди, трисахариди (глюкоза, фруктоза, сорбоза, мальтоза, галактоза і т.д.) [7, 8, 9, 10].

В даному процесі вуглеводи, які містяться в зерні, розпадаються (процес розщеплення крохмалю), іде процес осолодження та розпад корму на амінокислоти, що сприяє швидкому засвоєнню корму та поліпшує його смакові якості. Одержана висококалорійна ферментована гомогенна кормова суспензія (ф.г.к.с), яка майже цілком, засвоюється тваринами бо є збагаченим протеїном кормом, що збільшує утримання в тілі тварини азоту на 30%, кальцію на 12%, фосфору на 6.4%, магнію на 4% та забезпечує перетравність сирого протеїну на 12.3%, сирій клітковини на 14.4% більш ніж при відгодівлі «сухими» та екструдованими кормами, за рахунок чого збільшується середньодобовий приріст ж.м. тварин.

Висока засвоюваність ф.г.к.с значно зменшила вихід гною у свиней на 44%, у телят та ВРХ на 25%, що знизило витрати стосовно гноезбереження та покращує екологію (Висновки Полтавського інституту свинарства ім. Квасницького, 2004 рік).

Сутність кавітаційного впливу у ферментаційних процесах на рослинну сировину, грубі і соковиті годуй полягає в тому що, клітковина (целюлоза), як і крохмаль, є природним полімером, виявилось що ці речовини мають однакові за складом структурні одиниці а отже, одну і ту ж молекулярну формулу (C₆H₁₀O₅) n. Молекули целюлози і крохмалю розрізняються структурою. Молекули крохмалю мають лінійну, а найчастіше розгалужену структуру, молекули ж целюлози – тільки лінійну структуру. Цим пояснюється, що целюлоза, яка має більше значення n, утворює такі волокнисті матеріали, як бавовна, льон, прядиво і т.п. При кавітаційному впливі довгі молекули целюлози розриваються, утворюються розгалуженні ізометричні крохмальні структури, а частина молекул піддається гідролізу, як і крохмаль, з утворенням цукрів. Сумарно гідроліз целюлози може бути виражений тим же рівнянням, що і гідроліз крохмалю: (C₆H₁₀O₅) n + nH₂O – 3 = C₅H₁₂O₆.

Дослідженнями [11, 12] встановлено, що кормові компоненти під впливом кавітації та ферментаційних процесів диспергують (тобто подрібнюються на внутрішньоклітинному рівні), а також нагріваються (в залежності від необхідності – до ступеня пастеризації або стерилізації). В результаті кавітаційної обробки поліпшуються хіміко-біологічні властивості ферментованого корму: нейтралізуються анти живильні речовини, виділяються моносахари, протеїн переходить в більш доступну для кишково-

шлункового тракту тварин форму. У ферментованих кормах в процесі кавітації іде диспергування як зернових злаків і бобових культур, так і рослинної сировини, грубих і соковитих кормів, відбувається ряд процесів, властивих гідродинамічній кавітації, які надають пагубний вплив на насіння бур'янів, на гнилісні та патогенні мікроорганізми, міко токсини.

Міко токсини, найчастіше містяться в зерні, з'являються у всіх кліматичних зонах, а глобальна торгівля кормами допомагає проблемі поширитися. Часто у тварин і птиці спостерігаються типові симптоми мікотоксикозу незважаючи на те, що результати аналізу кормів показують низький ступінь забруднення їх Міко токсинами. Вчені з'ясували, що несподівана токсичність може бути результатом взаємодії різних Міко токсинів, що підсилюють дію один одного найвищий ефект токсичного синергізму спостерігається у фузарієвих токсинів [13, 14].

Дуже важлива особливість кавітаційної обробки при ферментації полягає в тому, що кормова суміш набуває гомогенно-вологу форму (вологість 68-72%) – найбільш оптимальну для травлення тварини. Ця форма утворюється за рахунок гідраційної води, що виходить в процесі кавітації. Гідраційна вода легко з'єднується з олігопептидами і амінокислотами, в наслідок чого виходить зважена гомогенна маса. Така вода є потужним розчинником солей, охоче вступає в реакцію гідратації біополімерів харчової сировини (з'єднання біополімерів з молекулами води), інтенсивно екстрагує (тобто витягає з сировини вітаміни і інші корисні речовини, не руйнуючи його природної структури, так як має звичайну температуру) [15, 16, 17].

Таким чином, компонентам сировини, які знаходяться до обробки в сухому стані повертається їх природна вологість у вигляді колоїдно-зв'язаної води, яка позитивно впливає на клітини шлунково-кишкового тракту тварин.

У процесі приготування ферментованого корму з використанням ефекту кавітації відбувається руйнування стінок рослинних клітин, необхідні тваринам протеїн, ферменти і вітаміни переходять в доступну форму. В результаті підвищується перетравність поживних речовин, покращується показник конверсії корму. Готовий корм характеризується оптимальною для травного тракту структурою, дисперсністю і вологістю. Він має гарні нюхові і смакові якості [18]. Застосування технології приготування ферментованих кормів дозволять в умовах

існуючих тваринницьких ферм готувати легкозасвоювані, гомогенізовані, незаражені корми:

- з фуражного зерна (пшениця, овес, ячмінь, просо і т.д.); побічних продуктів зернопереробних підприємств (макухи, відходи борошномельного виробництва, зерна, висівки, полови);

- відходів буряко-цукрового, спиртового, пивоварного, крохмального, сироробного виробництв, як добавка в готову ф.г.к.с;

- відходів харчової промисловості, насіння трав і бур'янів та ін.) в готову ф.г.к.с;

- огородини, коренеклубнеплодів та ін.. в готову ф.г.к.с.

Рідкі ферментовані корми, приготовані за запропонованим способом, можуть застосовуватися для відгодівлі свиней, молодняку великої рогатої худоби (ВРХ), відгодівлі м'ясних порід великої рогатої худоби, а також для дійного стада ВРХ, у дрібному тваринництві для лактуючих кіз і овець, молодняку овець та кіз на відгодівлі, водоплавної птиці, качки та гуси [19].

Таким чином, позитивний ефект кавітаційною обробкою використаний в кормо агрегатах приготування ферментованих кормів полягає: в зниженні собівартості кормів, високої продуктивності при малих енерговитратах, зниженні транспортних та основних витрат з урахуванням екологічної безпеки.

У порівнянні з класичними технологіями виробництва комбікормів нова технологія відгодівлі тварин (ф.г.к.с.) значно знижує собівартість кормів, отриманих методом ферментації, що орієнтовно становить 15-25%, та забезпечує стабільну рентабельність виробництва, його високі прибутки.

Кормоготувальний агрегат «Мрія» серії АКГСМ-01А розроблений Науково-Виробничим Упроваджувальним Центром Академії Інженерних Наук України (НВУЦ АІНУ) за проектним завданням відділення №18 «Інженерні проблеми агропромислового комплексу» АІНУ та за технічними умовами ТУ У29.3 -31165756-001-2001 і призначений для готування ферментованих гомогенних кормів (г.к.с.) із суміші зернових культур або комбікормів для годування тварин. Кормоагрегати сертифіковані Держстандартом України, мають 16 патентів на винахід.

Суміш, що засипається, повинна бути сухою і чистою. Засміченість зернової суміші, (відходи соломи, лушпиння) не повинна перевищувати 5% від маси суміші. Вологість зерна

повинна бути 14÷15% (складського зберігання), не замоченою. Зернова суміш може бути влюбій пропорції але повинна містити не більш 20% вівса, кукурудзи від 20 до 30%, пшениці від 20 до 50%, ячменю до 60%, як основні та інші складові (див. рекомендації для готування кормів інституту тваринництва «Асканія Нова» та інституту свинарства м. Полтава).

Принциповою відмінністю агрегату «Мрія» від існуючих є розрив біологічної клітки зернових у водному середовищі при короткому терміну не руйнівній кавітації. Завдяки спеціальній конструкції гідромлину по черзі діє стиск і розширення з великою частотою, а за рахунок конструкції жорен відбувається багаторазове здрібнювання зернових і утворення 75-80% фіксованих часток фракції розміром 0.5÷1.4мм, для свиней, і 0.8÷2.0мм-для телят та ВРХ, що сприятливо діє на травну систему тварин. Гомогенізація корму проходить зі зростаючою в'язкістю і одночасним підвищенням температури від температури вихідного продукту на 30 - 40°C, ферментаційні процеси в гідромлині відбуваються без доступу повітря, з періодичною вакуумізацією, при тиску 4-5 бар і 1500 обертів за хвилину електродвигуна. В даному процесі вуглеводи, що містяться в зерні, розпадаються (процес розщеплення крохмалю), іде процес осолодження та розпад корму на амінокислоти, що сприяє швидкому засвоєнню корму та поліпшує його смакові якості. Одержана високоякісна калорійна ферментована гомогенна кормова суспензія, яка, майже цілком, засвоюється тваринами. Кормоагрегати дозволяють переробляти всі порошкоподібні добавки (вітаміни, премікси, крейду та ін.), а в готовий корм можливі добавки коренеплодів, огородини, зеленого і сінажного корму, та інших кормів, відходи харчової промисловості, спиртового та цукрового виробництва та ін. в готову ф.г.к.с..

При відгодівлі свиней співвідношення води до складової зернової суміші становить 2:1, а при приготуванні корму для телят та ВРХ- тільки з ячменю і пшениці – співвідношення води до зернової суміші 3 : 1 через високу клейковину, що дає загущення корму, для риб в водоймищі як 1: 1.

При відгодівлі телят та ВРХ співвідношення води до зернової суміші становить 3:1. При використанні ячменю більш 40%, пшениці більш 50%, через високу клейковину, потрібно додавати води до рідкого киселевого стану, тобто зробити співвідношення води до зернової суміші 3:1, при вологості г.к.с. 65-75%. Одержана

кашоподібна маса корму повинна текти, як рідка манна каша. При високій густоті корму подальший помел зернової суміші припиняється, не чекайте подальшого помелу суміші зернових, якщо навіть все зерно не перемололося, виключайте агрегат і видавайте корм до годування. Корм, по своїй енергетичній цінності, готовий, а не перемолота зернова суміш піде для приготування подальшої партії. Значить ваше зерно має високу клейковину, а в тім і підвищену енергетичну і калорійну цінність, і збагачене протеїном більше ніж інше.

2. Основні принципи приготування кормосуміші для тварин

Основні принципи приготування кормосуміші для тварин, задіяні у особливій розробці конструкції кормоагрегатів нового покоління серії АКГСМ «Мрія», де за основу взяті процеси – гомогенізація і ферментація на основі кавітації.

Гомогенізація.

Це процес змішування різних речовин з метою отримання суміші рівномірної консистенції. Часто під гомогенізацією розуміють отримання однорідних сумішей з речовин, які не розчиняються одна в одній, погано поєднуються або при звичайних умовах не змішуються зовсім.

Гомогенізація незмішуваних рідин, як і гомогенне безкомкове змішування рідин і твердих речовин, вимагають особливих технологічних рішень щодо питань подачі і змочування порошків і грануляторів, а також подрібнення крапель рідин.

Кормоприготувальних агрегати АКГСМ «Мрія» які вперше об'єднали в собі такі основні підготовчі природні процеси як змочування, перемішування, жуйка, ферментація корму, що передують травленню в організмі тварини, тим самим зменшують енергетичне навантаження на організм для забезпечення цих процесів.

Ферментація.

Суть ферментації в кормоприготувальних агрегатах серії АКГСМ «Мрія» виконується в гідромлині – змішувачі і полягає в хімічній реакції між зерном і

водою без доступу повітря в умовах, які створюються спеціальним устаткуванням. Жорна гідромлина – змішувача виконуються з високо твердого чавуна зі спеціальною термообробкою.

Під час процесу ферментації зерно і молекули води подрібнюються і перемішуються, в результаті цього корм насичується амінокислотами і азотом без участі бактерій.

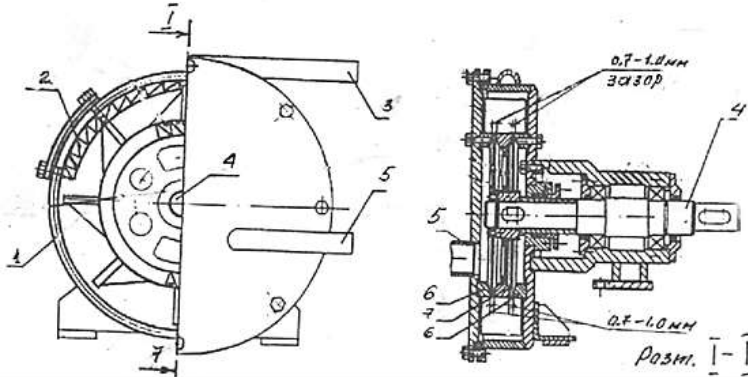


Рис. 2 Гідромлин-змішувач: 1. корпус; 2. жорна; 3. вихідний патрубок; 4. вал; 5. вхідний патрубок; 6. бокові жорна; 7. центральний жорнов (ротор)

Ферментація, це один з простих частин процесів бродіння, де крохмаль, що міститься в зернових перетворюється на цукри, а потім в глюкозу.

Відмінною особливістю ферментованого рідкого корму є, перш за все, насичення концентрованою молочною кислотою з низьким рівнем рН (близько 4,5) і розщепленим крохмалем. Усі ці складові допомагають переварювати корм у травній системі, що призводить до кращої засвоюваності корму, і ефективнішого використання енергії, швидше відбувається приріст живої маси, витрати на корм окупаються швидше, ніж на звичайним корм. Процес ферментації корму здійснюється в спеціальному гідромлині - змішувачі. Весь крохмаль, що міститься в зерні, перетворює на глюкозу, потім у 2 моля лактату (сіль молочної кислоти). У результаті ферментований корм консервується природнім способом (даний процес схожий на приготування силосу). Такий корм має ряд переваг перед звичайним, тварини його переварюють набагато краще, це пояснюється тим, що після ферментації корм вже розщеплений на найдрібніші елементи, на їх переварювання тварина витрачає значно менше часу і енергії, яка зберігається у свині у вигляді сала. Годівля ферментованим

кормом призводить до значного підвищення засвоюваності поживних речовин. Наступною відмінною рисою є те, що завдяки низькому рівню рН, знижується концентрація різних мікробів в організмі тварини, тобто підвищується імунітет.

3. Годівля свиней ферментованими зволженими кормами

Головним для здоров'я свиней та їх продуктивності є оптимальний догляд і харчування. Якщо тварин недогодовувати, то вони будуть погано рости, якщо давати занадто багато корму, то це буде збитковим для господарства. Тому дуже важливо вибрати оптимальне рішення.

Свині повинні отримувати достатню кількість вітамінів, мінералів і мікроелементів. Це можна забезпечити їх збалансованим і різноманітним харчуванням. Тому, свиней годують концентратами, зерном, грубими, соковитими, мінеральними, білковими кормами, і т. д. Важливо враховувати фізіологію тварин, шлунок однокамерний, тому основою раціону повинна бути м'яка їжа, концентрати, а не грубі корми.

Сьогодні існують три основні способи годівлі свиней: сухий, вологий і екструдований. Для великих свиноферм популярний перший спосіб, у присадибних господарствах використовують обидва способи, але частіше другий і третій, традиційно замішуючи мішанку для свиней у домашньому господарстві, господарі підсвідомо використовують доступний спосіб гомогенізації кормів і за рахунок цього отримують високі результати відгодівлі тварин. Існує і четвертий спосіб годування тварин, це ферментаційні корми.

Кормоагрегати серії «Мрія» поєднали в собі інженерні й технологічні рішення, які забезпечують високий рівень засвоювання кормів. Для різних статевовікових груп свиней із застосуванням пропонованих кормоагрегатів.

Умови годівлі які дозволяють уникнути проблем з травленням:

- корми повинні бути збалансованими і різноманітними;
- потрібно строго дотримуватися режиму годування, годівниця завжди повинна бути вимитою і чистою;
- корм повинен бути чистим, потрібно виключити попадання запліснявілих, гнилих або несвіжих продуктів;

- виключити з вольєра сторонні предмети, які можуть викликати розлад або інші захворювання шлунково-кишкового тракту свинок, або спровокувати травму.

- корм готується кормо агрегатом «Мрія» на протязі 20-30-ти хвилин з додаванням преміксів і вітамінів, але в меншій кількості, (бо конструкція агрегату «видавлює» з зернових додаткові вітаміни). Співвідношення сухих компонентів корму до води становить 1:2, або 1:3.

Переваги і недоліки застосування ферментованої гомогенізованої кормової суміші.

Переваги годівлі свиней:

- Готуєть корм фіксованої фракції, яка найкраще засвоюється кишковим трактом;

- Економить корми та скорочує термін відгодівлі;

- після ферментації корм вже розщеплений на найдрібніші елементи, на їх переварювання тварина витрачає менше часу і енергії;

- ф.г.к.с відповідає фізіологічним потребам свиней і надає можливість забезпечити поступову зміну раціонів;

- очне дозування;

- спрощується внесення добавок (преміксів, медикаментів і ін.);

- зменшується втрати на приготування корму, а відповідно і його ціна;

- у порівнянні із сухими кормами, від поїдання ферментованої гомогенізованої кормової суміші підвищуються до 19% прирости, збільшується до 9% коефіцієнт конверсії, (витрати) корму знижуються до 10% і більше;

- зменшується кількість екскрементів, що підтверджує високу засвоюваність корму та задовільно впливає на економічні і екологічні чинники виробництва;

- на підприємствах, де в одному приміщенні знаходяться різні статево вікові групи, за допомогою системи годівлі ф.г.к.с можна застосовувати різні рецептури;

- значно економить використання електроенергії;

- можливість доставки великого об'єму корму за малий проміжок часу на великі відстані за допомогою транспортних механізмів, трубопроводів та ін. обладнання;

- процес годівлі гнучкий, надає можливість оперативно коригувати раціон без участі комбікормового заводу, зокрема,

домішувати компоненти, вводити їх поступово для звикання тварини;

- упровадження системи годівлі ферментованої гомогенізованої кормової суміші (після сухого типу годівлі) дозволить скоротити чисельність персоналу на 25%, зменшити вплив людського фактору на процес годування;

- ферментований і гомогенізований корм надає можливість займатися виробництвом екологічної і безпечної продукції тваринництва;

- ферментація кормової суміші змінює їх біохімічний склад, підвищує біодоступність речовин.

Недоліки системи годівлі ф.г.к.с свиней:

- ф.г.к.с мають короткий термін зберігання; (Бажано! Використовувати свіжим, протягом 2-3 годин.), а може це перевага – годувати свіжим кормом!

- годівниці потребують щоденного гігієнічного контролю (промивка зі шлангу);

- Незначна підвищена вологість у тваринницьких приміщеннях (в зимовий період) (Додаткове провітрювання).

Орієнтовні раціони для приготування ф.г.к.с

У цьому розділі наведено орієнтовні раціони для годівлі свиней, спеціалізовані господарства мають спеціалістів які у відповідності від наявності сировини розробляють свої раціони збалансовані за енергетичними потребами тварин.

Раціон для поросят ж.м. 6-12 кг

- Пшениця 34,50%;
- Кукурудза 15,50%;
- Ячмінь 18,00%;
- Соєве масло 2,00%;
- Nutri Conc 30,00%;

Раціон для поросят ж.м. 12-30 кг

- Пшениця 25,70%;
- Ячмінь 20,0%;
- Соєве масло 1,0%;
- Кукурудза 22,0%;
- Соєва макуха 27,0%;
- NutriMix Piglets 4,30%.

Раціон для поросят ж.м. 30-55 кг

- Пшениця 26,00%;
- Ячмінь 15,00%;
- Висівки пшеничні 6,00%;
- Premix Grower Ukraine 3,90%.
- Кукурудза 26,00%;
- Соєва макуха 16,00%;
- Соняшникова макуха 7,10%;

Раціон для порослят ж.м. 55-110 кг

- Пшениця 27,60%;
- Ячмінь 17,00%;
- Висівки пшеничні 10,00%;
- Premix Finisher Ukraine 2,90%.
- Кукурудза 23,00%;
- Соева макуха 11,00%;
- Соняшникова макуха 8,50%;

Раціон для супоросних свиноматок

- Пшениця 33,00%;
- Ячмінь 18,00%;
- Висівки пшеничні 12,00%;
- Nutri Mix Breeder Gest 3,00%.
- Кукурудза 23,00%;
- Соева макуха 4,00%;
- Соняшникова макуха 7,00%;

Раціон для лактуючих свиноматок

- Пшениця 26,00%;
- Ячмінь 15,00%;
- Висівки пшеничні 6,00%;
- Nutri Mix Breeder Gest 3,30%.
- Кукурудза 25,70%;
- Соева макуха 17,00%;
- Соняшникова макуха 7,00%;

Таблиця № 1

Кількісна норма добової даванки на одну голову, кг.

№ з/п	Вік тварин, місяців.	Кількість корму на одну голову, кг.
1	0-1	0,04
2	1-2	0,40
3	2-3	1,20
4	3-4	1,80
5	4-5	2,50
6	5-6	3,00

**Кількість корму на одну голову, кг це кількість кормової суміші без додавання води.*

4. Додавання концентрованих кормів до раціону ВРХ, приготовлених за допомогою кормоагрегатів серії АКГСМ «Мрія»

Висока якість і різноманітність основного корму – причини підвищення кількості його споживання. Концентровані корми балансують недолік протеїну і енергії в основному кормі і згодовуються в залежності від продуктивності.

При згодовуванні концентрованих кормів основну роль грає не ціна 1 кг, а ціна 1 МДж ОЕ. Чим вище енергетична цінність концентрованого корму, тим він як правило дорожче, але в той же час, при його згодовуванні утворюється більше молока. У зв'язку

з цим більш високі його витрати виправдовуються виробництвом більшої кількості молока.

Слід врахувати, що при згодовуванні концкормів більше 4-5 кг на добу знижується споживання грубих кормів (в середньому на 0,35 кг сухої речовини на кожен кг концкормів). При дачі більше 6 кг концентрованих кормів на голову в добу, їх слід згодовувати трьома порціями, для запобігання підвищенню кислотності в рубці і виникнення ацидозу.

Корови протягом всієї лактації повинні бути забезпечені енергією згідно їх потреби. Це допоможе запобігти втратам живої маси на початку лактації і зайве відкладення жиру в її кінці.

Відповідно до продуктивності корів, при годівлі, все стадо ділять на виробничі групи.

Нормування мінеральних речовин залежить від продуктивності і фізіологічного стану тварини. Для нормалізації процесів метаболізму необхідно забезпечити тварин вітамінами.

Корми, поживні речовини які негативно впливають на смакові якості молока (силосування, різні види капусти, буряк та інші види кормів), згодовують тільки після доїння.

Годівля – процес динамічний. Всі параметри що впливають на годівлю міняються майже кожен день. Залежно від стадії лактації, варіюється потреба стада в поживних речовинах, основний корм може істотно відрізнятись за складом, а також змінюються зовнішні умови, наприклад, температура повітря або групи тварин. У зв'язку з цим для оптимального рівня годівлі постійно необхідно:

Міряти, зважувати, рахувати і записувати.

Щодня: Кількість спожитого корму, за вирахуванням залишків, для розрахунку споживання сухої речовини. Щодня продану кількість молока. Додатково: зовнішня температура, обробка копит, перехід в інші групи, зміна корму тощо.

Щотижня: Визначати вміст сухої речовини в мікрохвильовій печі або в сушильній шафі для відповідного корегування складу раціону.

Щомісяця: Визначення вгодованості по групах корів. Аналіз основного корму є основою для розрахунку раціонів.

Результати досліджень багатьох вчених, показали що у господарствах України концентровані корми додаються тваринам у кількості яка визначена і розрахована згідно раціонів для високопродуктивних корів але на кормовому столі залишаються

рештки концентрованих кормів що свідчить про не зовсім ефективний підхід до годівлі тварин.

На підставі досліджень для оптимізації годівлі корів концентрованими кормами було запропоновано зовсім новий підхід до приготування концентрованих кормів і згодовування їх тваринам.

Запропонована технологія дозволяє обмежити використання незбираного молока до 180-200 кг. При збереженні його випоювання, у перші 30-40 днів життя телят, можна повністю виключити використання молочних відвійок. Молочні продукти можна замінити комбінацією бобових або бобово-злакових мішанок.

Застосування в раціонах молочних лактуючих корів зерна у формі гомогенізованої суспензії забезпечує підвищення молочної продуктивності в середньому на 7,4%, або 0,28 кг у 4%– молоці:

- додаткове випоювання вологих мішанок з індивідуальних або групових ємностей (відра, корита, спеціалізоване устаткування) залежно від конкретної технології утримання та годівлі;

- зволоження мішанками сухих комбікормів, при цьому за рахунок компонентів бобових вологих сумішей можна зменшувати білкові інгредієнти комбікормів;

- зволоження сумішей грубих, зелених, соковитих, консервованих (силос, сінаж) кормів вологими мішанками для підвищення поживної цінності і смакових якостей.

При умові застосування в раціонах молочних лактуючих корів зерна у формі гомогенізованої суспензії забезпечує підвищення молочної продуктивності в середньому на 7,4%.

Орієнтовні мішанки гомогенізованої суспензії для телят

Продуктивна – кормосуміш для годівлі телят (6.7 МДж чел/ 21.0 % СП + 20,5 % з СП)

- | | |
|----------------------------|---|
| - Пшениця 34,14 % | - Овес 25,00 % |
| - Ляний макуха 23,66 % | - Соя, станд. 44 5,00 % |
| - Мелясовий жом 16 10,00 % | - Мінеральна добавка
22+6+7+2 1,32 % |
| - Сіль 0,16 % | - Крейда 0,71 % |

Відгодівля ВРХ – кормосуміш (11.2 ОЕ / 10,0% СП / 6% СК) високоенергетична.

- | | |
|--------------------------------|--|
| - Ячмінь 2 рядковий 22,22 % | - Пшениця 22,22 % |
| - Соняшниковий шрот 38 20,00 % | - Рапсовий шрот 24,44 % |
| - Мелясовий жом 9 5,56 % | - Мінеральна добавка для
ВРХ 5,56 % |

Відгодівля ВРХ – кормосуміш (10.8 ОЕ / 18,0% СП)

- Пшениця 62,00 %
- Пшеничні висівки 5,00 %
- Мінеральна добавка ВРХ на відгодівлі 6,00 %
- Мелясовий жом 16 6,00 %
- Соя, станд. 44 21,00 %

Продуктивна – кормосуміш для дійних корів 14-3 (6.7 МДж че/ 14.0 % СП)

- Ячмінь 4 рядковий 20,00%
- Соя, станд. 44 6,00%
- Пшениця 10,00%
- Мелясовий жом 16 10,00%
- Дікальцій 40 0,30%
- Крейда 1,30%
- Кукурудза 21,00%
- Тритікале 11,00%
- Пшеничні висівки 14,90%
- Рапсовий шрот 5,00%
- Магнію оксид 0,10%
- Сіль 0,40%

Продуктивна – кормосуміш для дійних корів 12-3 (6.7 МДж чел/ 12.0 % СП)

- Ячмінь 4 рядковий 30,00%
- Тритікале 16,00%
- Пшеничні висівки 15,00%
- Рапсовий шрот 5,00%
- Магнію оксид 0,10%
- Сіль 0,40%
- Кукурудза 7,00%
- Пшениця 15,00%
- Мелясовий жом 16 10,00%
- Дікальцій 40 0,30%
- Крейда 1,20%

Продуктивна – кормосуміш для дійних корів 22-2 (7,1 МДж чел/ 21.0 % СП + 20,5 % зСП)

- Ячмінь 4 рядковий 3,00%
- Соя, станд. 44 17,00%
- Пшениця 8,00%
- Мелясовий жом 16 10,00%
- Дікальцій 40 0,20%
- Крейда 3,00%
- Кукурудза 5,00%
- Тритікале 5,00%
- Пшеничні висівки 28,00%
- Рапсовий шрот 20,00%
- Магнію оксид 0,10%
- Сіль 0,70%

Для дійних корів на 100 кг живої маси згодують 1-2 кг грубих кормів (коровам із продуктивністю 5000 кг молока за лактацію дають одне сіно, до 5000 кг половину сіна, половину соломи). Соковитих 8-10 кг (у т.ч. 5-6 кг силосу). **Концкорми для дійних корів згодують на 1 кг молока (на фактичне молоко, а не на 4%).**

Табл № 2

Добовий надій молока	Даванка концкормів на 1кг молока (у г)
До 10 кг	До 100 г
Від 11-15 кг	100-150
Від 16-20 кг	150-200
Від 21-25 кг	250-300
Більше 25 кг	300-350 і більше

Залежно від кількості концкормів у раціоні розрізняють наступні типи годівлі дійних корів:

Табл № 3

Тип годівлі	Кількість концкормів на 1кг	% концкормів у структурі раціону
	молока	
Об'ємний	До 100 г	До10%
Малоконцентратний	100-250	10-25 %
Напівконцентратний	250-400	25-40 %
Концентратний	Більше 400	Більше 40 %

5. Додавання концентрованих кормів до раціону овець та кіз, приготовлених за допомогою кормоагрегатів серії АКГСМ «Мрія»

Вівці, як і велика рогата худоба, за будовою шлунку і типом травлення належать до підряду жуйних – тварин із чотирикамерним (рубець, сітка, книжка, сичуг) шлунком.

Вівці менш вибагливі, ніж велика рогата худоба чи свині, до умов утримання і годівлі. Косо поставлені гострі різці, тонкі й рухливі губи, видовжена загострена форма лицевої частини черепа дають їм змогу низько скушувати траву й підбирати окремі стебла та листки, що знаходяться на землі.

Особливо добре використовують вівці й кози найдешевші корми не тільки на рівнинних пасовищах, а й на схилах пагорбів і гір, недоступних для великої рогатої худоби.

Концентровані корми в годівлі овець використовують обмежено, за винятком періоду до та після окоту.

Потреба вівцематок у поживних речовинах залежить від живої маси, продуктивності та фізіологічного стану. У вівцематок розрізняють три періоди фізіологічного стану: холостий, кітний та лактуючий. Норми годівлі холостих і кітних вівцематок залежать від напряму продуктивності, живої маси, вгодованості,

статі, віку та періоду кітності (I період – перші 12–13 тижнів кітності, II – період – останні 7–8 тижнів кітності). Кітність вівцематок триває близько 150 днів. Кітних вівцематок потрібно годувати так, щоб перед окотом вони збільшили живу масу на 15%, мали добру вгодованість, що сприяє народженню нормально розвинених ягнят і доброму росту вовни. Неповноцінна годівля спричиняє витрачання організмом резервних поживних речовин, народження слабких недорозвинених ягнят, а також погіршення вовни. Вівцематкам краще згодовувати сіно природних угідь, або сіяних злаково – бобових культур. Рівень грубих кормів у структурі раціону має становити 20–30%, соковитих – 40–55 і концентратів – 20–30%. На одну вівцематку на добу згодовують 1,2–1,5 кг сіна, у т.ч. 0,8–1 – бобового, 3–4 – силосу, 0,5–1 – кормових буряків, 0,3–0,5 кг концкормів.

Потреба лактуючих вівцематок у поживних речовинах залежить від періоду лактації, породи, живої маси, вгодованості. У перші 2–3 дні після окоту вівцематкам дають бобово – злакове сіно доброї якості досхочу, а потім поступово вводять концкорми, зокрема висівки пшеничні, дерть вівсяну, ячмінну, пшеничну та кукурудзяну, а також макуху чи шрот соняшниковий. Поступово починають згодовувати сінаж, силос і коренеплоди. Через 1–1,5 тижні після окоту в добові раціони підсисних вівцематок включають 1–2 кг злаково – бобового сіна, 3–5 кг соковитих кормів та 0,4–0,7 кг концентратів. Концентрати краще згодовувати у вигляді комбікормів з використанням білково–мінеральних та вітамінних добавок. Повноцінність годівлі вівцематок оцінюють за їх живу масою, живу масою ягнят при народженні та молочністю маток.

У вівчарстві необхідно використовувати спеціалізовані премікси, а стандартний премікс для корів може бути токсичним для овець.

Орієнтовні мішанки гомогенізованої суспензії для овець та кіз.

Суміш кормова для овець на відгодівлі.

- | | |
|------------------------------|---|
| – Ячмінь 2 рядковий 20,00% | – Овес 15,00% |
| – Пшениця 10,00% | – Мелясовий жом 16 – 15,00% |
| – Пшеничні висівки 15,00% | – Соя, станд. 44 7,00% |
| – Соняшниковий шрот 38 5,00% | – Трав'яне борошно 17 5,00% |
| – Горох 5,00% | – Мінеральна добавка для овець на відгодівлі 2,00 % |
| – Крейда 1,00% | |

Суміш кормова для дійних овець.

- Ячмінь 2 рядковий 20,00%
- Пшениця 48,00%
- Соя, станд. 44 6,00%
- Мінеральна добавка для овець на відгодівлі 3,00 %
- Овес 12,00%
- Мелясовий жом 16 5,00%
- Горох 5,00%
- Крейда 1,00%

Суміш кормова для дійних кіз.

- Ячмінь 2 рядковий 20,00%
- Пшениця 42,00%
- Пшеничні висівки 5,00%
- Горох 5,00%
- Крейда 1,00%
- Овес 6,50%
- Мелясовий жом 16 5,00%
- Соя, станд. 44 13,00%
- Мінеральна добавка для овець на відгодівлі 2,50 %

У структурі раціонів лактуючих вівцематок частка грубих кормів повинна становити 20–30%, соковитих – 40–50% та концентрованих – 25–40%.

6. Годівля качок ферментованими зволженими кормами

У качок більш інтенсивний ніж у інших видів сільськогосподарської птиці, обмін речовин і енергії, кормові маси просуваються травним каналом швидше, проте перетравність органічної речовини корму досить висока – 80–85%, що необхідно враховувати при складанні раціонів.

Зазвичай використовують повнораціонні комбікорми, до складу яких входить 60–75% зерна 2–3 видів, 6–8 макухи або шроту, 5–6 кормів тваринного походження, 4–5 дріжджів, 4–6% мінеральних кормів. Серед зернових кормів переважають високоенергетичні – кукурудза, ячмінь, пшениця. Із протеїнових вводять макуху і шрот, горох, м'ясо-кісткове і рибне борошно; із мінеральних – черепашку, вапняк, крейду, кісткове борошно, знефторений фосфат, кухонну сіль. Для балансування амінокислотної поживності до комбікорму вводять синтетичні амінокислоти – лізин і метіонін. Не зважаючи на те, що качки перетравлюють клітковину краще, ніж кури, її вміст у комбікормі не повинен перевищувати 7%.

Качки легких кросів щодоби споживають у середньому 220 г, а важких – 240 г комбікорму, два рази за добу. Фронт годівлі і напування становить 3 см на голову.

Орієнтовні мішанки гомогенізованої суспензії для качок.

Повнораціонна суміш для каченят.

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| - Кукурудза 10,00% | - Пшениця 45,00% |
| - Соевий шрот 49 21,20% | - Ячмінь 2 рядковий 7,84% |
| - Соева олія 1,00% | - Трав'яне борошно з люцерни 4,00% |
| - Пшеничні висівки 5,00% | - Дікальцій 40 1,07% |
| - Крейда 3,10% | - Сіль 0,59% |
| - Метионін 0,08% | - Лізин HCL 0,12% |
| - Вітамінна суміш – Super 1,00% | |

Повнораціонна суміш для каченят-бройлерів 1-3 тижні (12.2 МДж ОЕ / 20.0 % СП).

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| - Кукурудза 28,73% | - Пшениця 45,00% |
| - Соевий шрот 49 19,80% | - Соева олія 3,26% |
| - Дікальцій 40 1,12 % | - Крейда 1,19 % |
| - Сіль 0,21% | - Метионін 0,09% |
| - Лізин HCL 0,10% | - Вітамінна суміш – Super 0,50% |

Повнораціонна суміш для племінних качок ремонтного молодняка каченят (10.6 МДж ОЕ / 14.0 % СП).

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| - Кукурудза 10,00% | - Пшениця 45,00% |
| - Соевий шрот 49 14,27 % | - Ячмінь 2 рядковий 11,20% |
| - Соева олія 1,00% | - Трав'яне борошно з люцерни 4,00% |
| - Пшеничні висівки 5,00% | - Дікальцій 40 0,97% |
| - Крейда 6,57% | - Сіль 0,30% |
| - Метионін 0,09% | - Вітамінна суміш – Super 1,60% |

7. Годівля гусей ферментованими зволоженими кормами

Важлива особливість гусей – їх здатність споживати велику кількість зелених та інших соковитих кормів. На пасовищі дорослі гуси можуть спожити до 2 кг зелених кормів.

У них добре розвинені сліпі відростки кишок, завдяки чому вони краще від інших видів сільськогосподарської птиці розщеплюють клітковину.

Годівля гусей батьківського стада упродовж року змінюється залежно від їх продуктивності і фізіологічного стану. Так, у

продуктивний сезон можна застосовувати вологий спосіб годівлі повнораціонним комбікормом, а в непродуктивний – комбінований.

За вологого способу годівлі добову норму корму розраховують залежно від яєчної продуктивності. У середньому в продуктивний період самкам згодують на одну голову 330 г повнораціонного комбікорму, самцям – 400, у непродуктивний – відповідно 230 і 270 г.

До складу повнораціонного комбікорму вводять 65 – 70% зернових, у тому числі 3 – 5% зерна бобових, а також 15% висівок, 4 – 8% дріжджів, 3% рибного або м'ясо-кісткового борошна, 3,5% мінеральних добавок (знефторений фосфат, крейда, черепашка), 1% преміксу і 0,4 – 0,5% кухонної солі.

У продуктивний період за комбінованого способу гусей годують 4 рази: вранці і вдень два рази роздають вологу мішанку, увечері – зерно.

Із розрахунку на одну голову, за добу згодують 300 – 350 г комбікорму і 500 – 600 г зелених і соковитих кормів.

Орієнтовні повнораціонні суміші для гусей.

Повнораціонна суміш для гусенят (10.6 МДж ОЕ / 18.0 % СП).

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| - Кукурудза 2,59% | - Пшениця 45,00% |
| - Соевий шрот 49 19,08% | - Ячмінь 2 рядковий 13,47% |
| - Соева олія 0,50% | - Трав'яне борошно з люцерни 6,00% |
| - Пшеничні висівки 10,00% | - Дікальцій 40 0,75% |
| - Крейда 1,08% | - Сіль 0,31% |
| - Метионін 0,08% | - Лізин HCL 0,14% |
| - Вітамінна суміш – Super 1,00% | |

Повнораціонна суміш для гусенят – бройлерів 1-4 тижні (12.2 МДж ОЕ/20.0 %СП).

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| - Кукурудза 28,73% | - Пшениця 45,00% |
| - Соевий шрот 49 19,80% | - Соева олія 3,26% |
| - Дікальцій 40 1,12% | - Крейда 1,19% |
| - Сіль 0,21% | - Метионін 0,09% |
| - Лізин HCL 0,10% | - Вітамінна суміш – Super 0,50% |

**Повнораціонна суміш для гусей на відгодівлі,
понад 10 тижнів (12.0 МДж ОЕ / 16.0 %СП).**

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| - Кукурудза 17,09% | - Пшениця 45,00% |
| - Соевий шрот 49 13,77% | - Соева олія 0,50% |
| - Трав'яне борошно з люцерни 4,99% | - Пшеничні висівки 15,00% |
| - Дикальцій 40 0,34% | - Крейда 1,94% |
| - Сіль 0,31% | - Метионін 0,11% |
| - Лізин HCL 0,20% | - Вітамінна суміш - Super 0,75% |

Повнораціонна суміш для племінних гусей, гусенят понад 5 тижнів (10.6 МДж ОЕ / 14.0 % СП)

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| - Кукурудза 16,15% | - Пшениця 45,00% |
| - Соевий шрот 49 10,59% | - Соева олія 0,58% |
| - Трав'яне борошно з люцерни 8,56% | - Пшеничні висівки 15,00% |
| - Дикальцій 40 0,42% | - Крейда 1,73% |
| - Сіль 0,26% | - Метионін 0,09% |
| - Лізин HCL 0,02% | - Вітамінна суміш - Super 1,60% |

8. Відгодівля риби в водоймищах

Годування риби в водоймищах в основному виконується як гранульованим так і пастообразним кормом. Кормоагрегати серії АКГСМ «Мрія» готують пастообразний корм високої енергетичної цінності, що успішно апробовано в рибних господарствах Херсонщини і України. Приготування корму по раціону виконують рибні господарства. Багато господарств і індивідуальні підприємці в Україні зайнялися розведенням риби в водоймищах. Рибництво стає прибутковим бізнесом, якщо забезпечити рибне стадо збалансованим повноцінним кормом.

Щоб риба набирала вагу корм повинен відповідати її виду та зросту, а режим годування наближений до природних споживань. Кормоагрегати Серії АКГСМ "Мрія" істотно спрощують процес приготування кормів для риби, дозволяють приготувати будь-який раціон в будь-якому складі і енергетичній цінності. У основу кормів входять:

Рослинні – до них відносяться злакові культури, мелена до фіксованої фракції пшениця, висівки, кукурудза, бобові, соя,

люпин, шроти і макуха. За допомогою кормоагрегатів серії АКГСМ "Мрія" – корм готують в агрегаті з подрібненням, любої фракції, при співвідношенні зернових до води як 1:1. Спочатку заливається вода, включається агрегат, зерноsumіш з додаванням преміксів, ферментів і вітамін подається у воду.

Тваринні корми – це борошно рибне, м'ясо-кісткова, кров'яна, крилева, тваринні та рослинні організми.

Кормоагрегати "Мрія" дозволяють ретельно змішувати рослинні і тваринні корми, за 15-20 хвилин у відповідності вода: корм як 1:1 до певної максимальної густини з наступною роздачою ківшом в місцях відгодівлі риб. У готовий корми можливі будь – які кормові або рослинні добавки згідно раціонів після видів риб і їх віці.

Саме подрібнення, до потрібної фракції, змішування і ферментація збагачує корм, підвищуючи його енергетичну цінність, а відповідно прирости і зростання усіх видів риб, забезпечуючи збереження від хвороб (термообробка при процесі кавітації).

Успішні випробування кормоагрегати "Мрія" пройшли в рибних господарствах Херсонщини.

Використання ферментованих кормів сприяє розведенню планктону у водоймищах і забезпечує донне годування рибних мальків. Зручність використання кормоагрегатів "Мрія" полягає в тому, що корм готується безпосередньо біля водоймищ, що значно скорочує транспортні витрати, а відповідно й ціну корму. Можливі добавки в готовий корм зв'язуючих речовин і денатурований білок. Безумовно, при приготуванні корму враховувати сезонність, вид риби, їх вік, тип водоймища.

Висновки

Виконаними дослідженнями та експериментами, теоретично і практично обґрунтовано доцільність і ефективність використання зволоженої ферментованої гомогенної кормової суспензії із суміші зернових для відгодівлі тварин свиней, телят, ВРХ, овець, кіз, качок, гусей, риби у водоймищах та ін.

Розроблено і впроваджено у галузі тваринництва, серійний випуск кормоготувального агрегату нового покоління, серії АКГСМ «Мрія», 19 модифікацій, які забезпечили технологію відгодівлі тварин ферментованими кормами, охопивши малий та

середній бізнес фермерських господарств України від 10 до 5000 голів, збагаченим, висококалорійним кормом.

Виконано і обґрунтовано опис процесів, що відбуваються в гідромліні-змішувачі при збагаченні кормів.

Розроблено раціони кормів для різновікових тварин по групах відгодівлі і рекомендована високо економічна технологія фермерам України, яка не поступається європейським.

Обґрунтовано зменшення основних витрат при відгодівлі тварин (ф.г.к.с.) в фермерських господарствах України та високі економічні показники і рентабельність.

Література:

1. Богданов Г. О., Кандиба В. М., Ібатуллін І. І. і ін. Норми і раціони повноцінної годівлі високопродуктивної великої рогатої худоби: довідник-посібник. *Аграрна наука*, 2012. С. 296.

2. Богданов Г. О., Ібатуллін І.І., Кандиба В. М. Концептуальні положення удосконалених норм годівлі високопродуктивної молочної худоби в Україні. *Матер. міжнар. наук-практ. конф. «Актуальні проблеми годівлі тварин і технології кормів», присвяч. 110-річч. засн. Нац. аграр. унів. К.: 2008. С. 14-18.*

3. Богданов Г. О., Мельничук Д. О., Ібатуллін І. І. та ін. Актуальні питання годівлі сільськогосподарських тварин. *Наук. вісник Нац. агр. унів. «Годівля тварин і технологія кормів» К.: 2004. С. 11-14.*

4. Аверчева Н. О., Соляник М. Б., Кушниренко В. Г. Ефективний розвиток свинарства у фермерських господарствах на основі застосування інноваційних підходів до годівлі тварин. *Агросвіт*. 2020. № 7. С. 63–70. DOI: 10.32702/2306-6792.2020.7.63

5. Щепілова К.А., Ковальчук А.Н. Інноваційна технологія і устаткування для приготування кормів в селянському фермерському господарстві. *Студентська наука погляд в майбутнє: мат-ли Всерос. студ. науч. конф., посвяч. 60-річчю КрасГАУ*. Частина 4 . Краснояр. Держ. аграр. ун-т. Красноярськ. 2012. С. 275.

6. Косолапов В., Фіцев А., Гаганов А. Якість і ефективність кормів. *Тваринництво Росії*. 2010. № 11. С. 50.

7. Мотовілов К.Я. Переробка зерна на кормові цукри для тварин. *Досягнення науки і техніки АПК*. 2012. № 10. С. 43.

8. Нікітіна А. Кавітаційна технологія приготування кормів. *Свинарство*. 2011 року. № 3. С. 64.

9. Шестаков, С.Д. Основи технології кавітаційної дезінтеграції. М. ЕВА-прес, 2001. С. 253

10. Биков А.В., Назарова Е.С. До питання використання кавітації в переробній промисловості сільськогосподарської сировини. Університетський комплекс як регіональний центр освіти, науки і культури: Всерос. наук. методич. конфер. Секція «Роль прикладної біотехнології і інженерії у розвитку інноваційного потенціалу регіону». Оренбург, 2013. С. 934.

11. Денисюк Е.А., Зикова М.Е. Модельовання процесів обробки рідких кормових середовищ. *Вісник Нижегородського державного інженерно-економічного інституту (НГЕІ). серія, Технічні науки.* 2013. Вип. 8 (27). С. 27.

12. Шестаков, С.Д. Енергетичний стан води і її зв'язки з біополімерами харчової сировини: Нові можливості. *Зберігання та переробка сільськогосподарської сировини.* 2003. № 4. С. 35.

13. Інноваційні технології годівлі на тваринницьких комплексах: матеріали 16-ї міжнародної спеціальної торгово-промислової виставки «Зерно-Комбікорми-Ветеринарія-2011». Москва, 2011 року.

14. Інноваційні технології годівлі на тваринницьких комплексах. *АПК Експерт.* 2001. № 3. С. 82.

15. Шестаков С.Д. Про розподіл щільності потенційної енергії багатопузирькової кавітації відносно створює її гармонійні хвилі. *Збірник праць XVI сесії Російського Акустичного Товариства.* М.: ГЕОС. Том 1. 2005. С. 116.

16. Шестаков, С.Д. Керована гідратація біополімерів – безпечний, ефективний і універсальний спосіб збільшення обсягу виробленого сільгоспсировини і продовольчих продуктів. *Ефективна годівля.* 2007. № 5. С. 36.

17. Е.А. Прутенська, Е.М. Сульман, М.Г. Сульман, Е.В. Селванова. Використання ультразвуку в хімії і біотехнології: навч. Посібник. 1-е изд. Твер: ТДТУ, 2011. С. 92.

18. Пентиліук С.І., Пентиліук Р.С., Деменська Н.М., Осипенко С.Б. Сучасна технологія вологої годівлі тварин. Матеріали міжнародної конференції. – Київ, 2007. С. 86-95.

19. Вовченко Б.О., Пентиліук С.І., Пентиліук Р.С., Осипенко С.Б. Деклараційний патент на корисну модель. Спосіб застосування вологих кормових сумішей. – № 8779. Бюл. № 8. – 15.08.2005.

Папакіна Н. С.

*кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ветеринарії, гігієни та розведення тварин
імені В. П. Коваленка
Херсонський державний аграрно-економічний університет
м. Херсон, Україна*

БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНИХ ОЗНАК АСКАНІЙСЬКИХ ТОНКОРУННИХ ОВЕЦЬ

Культурне ведення вівчарства розвивалось разом із людством і зараз нараховує понад 400 порід. Вітчизняні селекціонери удосконалили асканійську тонкорунну породу із залученням кращого світового генофонду – австралійських мериносів, та у 1995 році зареєстрували внутрішньопородний таврійський тип. Вимогою часу стало збереження генетичних особливостей внутрішньопородних структур: типів та ліній. Вивченню цього питання й присвячена наша робота. Визначено збереження чіткої лінійної структури породного типу.: відмінності у бідві шкіри та її утворень, показниках інтенсивності росту , та отримано підтвердження зв'язку між показниками формоутворюючих процесів плідників та кінцевої продуктивністю їх потомків. Баранці лінії 374, 1376 та 7.1 характеризуються тоншою вовною (17...19мкм), більшою товщиною епідермісу (0,18мм) та більш тонким шаром власно дерми (до 1,3мм). Найбільша інтенсивність формування притаманна представникам лінії 374 та 1444, які на початку періоду вирощування поступалися контрольним тваринам, а у віці 6 – 7 місяців не мали з ними ймовірної різниці за живою масою. Значно поступалися за інтенсивністю формування представники лінії 8.31, 1376 та 7.1. Математичне моделювання забезпечує точність прогнозу на рівні 95,0%.

Вступ

За даними археологів, біологів та генетиків овець розводили ще 1600 років тому. Лабораторними методами досліджень встановлено, що генетичних відмінностей із сучасними вівцями

не має, виключенням є відсутній у рештках стародавніх овець генів, які відповідають за наявність густої вовни [1].

У сучасних овець (під *Ovis*) каріотип (набір хромосом) становить 54 хромосоми ($2n=54$), з них 26 парами аутосом та пара статевих хромосом ($26 + XX$ – вівці і $26 + XY$ – баранці). У диких видів каріотипи характеризуються внутрішньовидовим поліморфізмом, та можуть становити 52, 54, 56, 58, 53. Наприклад: у крупнорогатих овець каріотип має формулу $2n = 54$, в європейського та азійського муфлона теж $2n = 54$, сайгак – 60, вівцебика – 48, коза – 60, архар і аргал – 56. У іншого дикого родинного виду – Угіа, що живе в горах Тибету, каріотип складається з 58 хромосом [2]. Тривалість життя овець становить до 12-15 років, практиці тваринництва 6-7 років. За умови контролю та підтримання зубної системи, можливо подовжити до 10 років.

Найбільш цінна властивість – висока акліматизаційна здібність до різних природно-кліматичних умов, яка вироблена в процесі одомашнення і селекції. Сучасні вівці мають густий вовновий покрив, що дозволяє знизити вимоги до утеплення тваринницьких приміщень (овчарен). Головна вимога це відсутність сирості і протягів. Вівці є, швидше, рівнинними тваринами, але в той же час їх розводять і в горах. Висока вогкість, болотисті місця і сирі приміщення погано на них впливають.

Також є породи овець із особливими характеристиками, такі як жирнохвості та безпосередньо курдючні вівці, які відкладають велику кількість жиру в області хвоста і сідниць. Завдяки цьому багато які породи овець можуть існувати в умовах сухого і жаркого клімату.

Таки чином, за рядом біологічних ознак вівці сучасних культурних порід не відрізняються від споріднених видів. Так статева зрілість настає у 4...6 місяців, фізіологічна у 16...18 міс., за окремими породами у 9...10 міс., суягність триває 147...152 доби. В умовах підприємств тривалість використання баранів 4 роки (є випадки 10 років), маток 5 років (іноді 8 років), відлучення ягнят відбувається у 4 міс., за інтенсивної технології можливо провадити й у 2,5 місяці. Забійний вихід в середньому 45 %, за спеціальними м'ясними породами 53% [3].

Розвиток людського суспільства, та його потреби визначили й напрямки розвитку вівчарства, обумовили необхідність у спеціалізації за продуктивними ознаками: м'ясна, вовнова, шубна продукція [1; 6; 7]. Питання, чи виникла спеціалізація вовнової та

молочній продуктивності від початку в Південно-Західній Азії чи відбулася по всій Європі, не має остаточної відповіді, через відсутність остаточних археологічних доказів початку виробництва вовни.

Загальносвітова чисельність овець, за даними FAO, FAOSTAT у 2009, 2010 роках становила більше мільярда голів. При цьому понад 70 відсотків поголів'я припадає на країни Азії та Африки. За словами джерела, в глобальному масштабі Іран займає 4-е місце за чисельністю овець, яких нараховує понад 54 млн. Поголів'я худоби в Ірані станом на 2007 рік становило: овець 54млн.; кіз 26,5млн.; великої рогатої худоби 8,8 млн.; верблюди 146тис.; буйвол 550 тис. [8].

Вітчизняні науковці [15], вказують що останні 25 років поголів'я овець України скоротилось більш ніж у 20 разів. Відбулась зміна й у розподілі за формою власності, наразі у державній власності знаходиться менш ніж 20% зареєстрованого поголів'я дрібної рогатої худоби. За статистичними даними на травень 2020 року [16] поголів'є овець і коз за рік скоротилось ще на 6,7%, до 1,47 млн голів (1,57 млн голів). Тому питання збереження на удосконалення наявних сучасних вітчизняних порід овець є актуальним. Наша дослідницька робота спрямована на виявлення біологічних закономірностей формування вовнової продуктивності молодняку овець тонкорунних порід, підтвердження генетичних особливостей ліній таврійського типу та впливу батьківських форм на продуктивні ознаки потомства, з метою практичного застосування цих даних для подальшої селекційної роботи.

1. Особливості будови шкіри овець різних ліній

Шкіра виконує ряд важливих функцій. Приходячи зовнішнім покривом усього тіла тварини, вона охороняє тканини, що лежать глибше, від зовнішніх несприятливих впливів. Через здорову, непошкоджену шкіру не можуть проникнути мікроорганізми. Вона служить одним із головних регуляторів внутрішньої температури тіла. Крім того, шкіра грає важливу роль як видільний орган, через неї в результаті виділення поту відбувається виділення вугільної кислоти і водяних парів [10; 11].

У тонкорунному вівчарстві особливу увагу приділяють волосяному покриву овець – вовні. За морфологією вовна є утворенням шкіри і починає свій розвиток як потовщення епітелію, у якому формується зачаток. Цей зачаток у вигляді тяжа

з клітин занурюється у дерму шкіри, утворює потовщення, та формує цибулину, всередину востає мезенхіма, із якої виникає волоссяний фолікул. Із клітин фолікула розвивається стрижень волосся, який роздвігає клітини епітеліального тяжа і виходить на поверхню [10;12]. Ці процеси є генетично обумовленими, а частка структурних елементів шкіри овець (товщина шкіри та її складових, глибина та частота закладання волоссяних фолікулів, та ін.) варіює.

Згідно праць Г.Д. Каці [13] шкіряний покрив овець мав наступні особливості: товщина шкіри овець складала 2,74мм (коливалася 2,23...3,15). Епідерміс тонкий, складав 0,76% від загальної товщини шкіри. Глибина залягання волоссяних фолікул велика і складала 54,7% від загальної товщини шкіри. Площа потових та сальних залоз у асканійських овець була менша ніж у цигаїв, відповідно в 2,3 та 1,5 рази, але вміст вовнового жиру в руні навпаки вищий (в середньому на 26,5%), що свідчило про велику активність залоз шкіри тонкорунних овець. Густина волоссяних фолікулів у асканійських овець дорівнювала в середньому 5580шт/см² (коливання 4836...5954).

На користь генетичної обумовленості будови та функціонування шкіри свідчать і результати Л.А. Орехової [14] яка детально вивчила питання зміни вовнової продуктивності помісей "прекос х австралійський меринос". За її даними загальна товщина шкіри у прекосів на 1,7-7,6% більша, ніж у помісних ровесниць. На долю пілярного шару, в якому знаходиться весь потенціал фолікул, у прекосів припадає 53,1%, у помісей – 59,1%. Ретикулярний або сітчастий шар, з яким пов'язана щільність і якість овчини, у чистопорідних тварин на 16,6-20,1% розвинутий краще, ніж у помісних. У порівнянні з прекосами потенціал волоссяних фолікул у помісей на 13,3% вище.

Метою роботи було визначено вивчення особливостей будови шкіри, росту і розвитку вовнинок та якісних показники вовни баранців асканійської тонкорунної породи та таврійського типу різних ліній.

Матеріал для гістологічних досліджень (зразки шкіри) були отримано методом біопсії у віці 4,5– місяців, під час відлучення. Зразки вовни у віці 4,5 та 14,5 місяців у типових представників лінії.

При виготовленні гістологічних препаратів використовували загальноприйнятну і приватну гістологічну методику дослідження тканин. Зразки тканин були зафіксовані у 10% розчині нейтрального

формаліну та у рідині Буена, промити у воді, зневоднені спиртом, занурені в парафін. Зрізи виготовляли на кутовому мікроскопі і фарбували гематоксіном та рідиною Гейденгайна.

Точні мікроскопічні дослідження ділянок шкіри проводили за допомогою мікроскопа „E.Leitz „diaplan” Wetzlar” і галогенового освітлювача „Linvatex-2”. Діаметр вовни і товщину шкіряного покриву визначали за допомогою вбудованого окуляра мікроскопа, вимірювалась товщина епідермісу, дерми та її складових.

Мікроскопічні знімки виконувались камерою „NikonF-70” із застосуванням біокулярної насадки 1,6* і комп'ютерного визначення експозиції зйомки „Minolta-EK”. Негативи одержували на спеціальних плівках марки „Kodac-200 Supra Professional”.

Для проведення дослідження було сформовано 4 груп баранців віком 4,5 місяців, з урахуванням лінійного походження, залежно від генотипу родоначальника лінії.

Лінія барана 100 представлена чистопорідними тваринами асканійської тонкорунної породи, є контрольною. Лінія характеризується крупною величиною, живою масою дорослих баранів-плідників не менш 110 кг, великою щільністю руна, світлим кольором жиропоту, довжина вовни не менше 9,5 см.

Інші досліджувані лінії відносяться до таврійського типу асканійської тонкорунної породи та походять від австралійських плідників, чисельність ремонтних баранців обумовлена потребами господарства, продуктивні характеристики яких були наступними:

Лінія 374 – родоначальник лінії австралійський меринос з племінного стада „Хеддон Ріг”, завезений у господарство у 1985 році у віці 3 років і використовувався 8 років. Мав наступні переваги: добра оброслість, довжина вовни не менш 13см, 64 якості, чітка звивистість, білий колір жиропоту, настриг вовни не менш 12 кг, з високим виходом чистої вовни 64,0...72,0 %, жива маса 95 кг.

Лінія 1376– родоначальник лінії австралійський меринос з племінного стада „Вілlachольча”, завезений у господарство у 1990 році у віці 5 років. Характеризувався доброю оброслістю і складчастістю шкіри. Вовна 60 якості (24,8 мкм), білосніжний жиропіт, жива маса 120 кг, настриг вовни 19 кг.

Лінія 7.1 – визначена як окрема лінія у 1990 році, родоначальник завезений з племінного стада „Анама” у віці 3 років. Відрізнявся крупною і чіткою звивистістю вовни, довжина якої становила 15...18 см, товщина 25 мкм, настриг 12,3...15,3 кг, і водночас велика жива маса на рівні 115 кг.

Піддослідні тварини утримувались в одній отарі і знаходилися в однакових умовах годівлі та догляду.

Отриманий цифровий матеріал проведених досліджень, оброблено за алгоритмом [16] на комп'ютері з операційною системою WINDOWS. Достовірність різниці вивчаємих показників визначалась за критерієм достовірності.

Згідно до мета та обраної методики були отримані зразки шкіри, та проведено аналіз товщини вовни (табл. 1).

Таблиця 1

Товщина вовни піддослідних тварин, мкм

Лінія	Товщина вовни		
	$\bar{X} \pm S \bar{X}$	σ	$C_v, \%$
100	22,33±0,81	1,16	5,17
374	19,00±0,71***	1,00	5,26
1376	17,50±0,35***	0,50	2,85
7.1	20,66±0,81	1,16	5,58

Примітка: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

За даними таблиці 1, відмічено чітку залежність між товщиною вовни і лінійною належністю тварин. Усі тварини таврійського типу характеризувались тонкою вовною, що пов'язано із впливом австралійських мериносів, й свідчить про успішну селекційну роботу. Найтонша вовна (17,5 мкм, що відповідає 80 якості) виявлена у представників лінії 1376, для ліній 374 та 7.1 показник склав 19,0 та 20,7 мкм (відповідно 70 та 64 якість).

Слід відзначити, що у контрольній групі вовна відзначалася найбільшим діаметром – 22,3 мкм. Отже, у тварин таврійського типу вовна тонша порівняно з тваринами асканійського типу ($P \leq 0,05$).

Дослідженнями різноманітності цієї ознаки встановлено, що для лінії 1376 характерна найбільша одноманітність, на відміну від інших ліній. Водночас лінії 7.1 та 100 мають дуже близькі значення середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації при найбільших показниках товщини вовни.

У лінії 1376 бажана товщина вовни поєднується з найбільшою генетичною одноманітністю.

Вовна є утворенням шкіри. Під час органогенезу овець закладання окремих шарів дерми та безпосередньо первинних й вторинних волосяних фолікулів відбувається не одночасно, а їх нормальне функціонування у постнатальний період визначає

рівень вовнової продуктивності дорослої тварини. Тому показники шкіри овець було вивчено окремо (табл. 2).

Таблиця 2

Показники шкіряного покриву піддослідних тварин (см)

Лінія	Епідерміс			Власне дерма		
	$\bar{X} \pm S \bar{X}$	σ	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm S \bar{X}$	σ	$C_v, \%$
100	0,13±0,01	0,01	8,45	1,35±0,07	0,10	7,44
374	0,18±0,01***	0,01	8,33	1,29±0,04	0,05	4,25
1376	0,09±0,01***	0,01	5,26	1,28±0,01	0,02	1,56
7.1	0,14±0,01	0,01	4,03	1,17±0,06	0,08	7,29

Примітка: * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$

Баранцям лінії 1376 характерна найменша товщина епідермісу ($P < 0,001$). Лінія 7.1 має перевагу над контрольною лінією, але характеризується більшою мінливістю ознаки. Найбільша величина досліджуемого показника відмічається у тварин лінії 374 ($P < 0,001$). Чітка залежність структури шкіри від належності до визначеної лінії підтверджується фотографіями гістологічних зрізів, наведених на рисунках 1, 2, 3. та 4.

Таким чином у баранців всіх ліній найбільш розвитою є власно дерма, яка пронизана кровоносними судинами та нервовими закінченнями, що забезпечує розвиток первинних та вторинних фолікулів у окремі періоди онтогенезу. Повноцінний розвиток дерми та її структурних елементів є передумовою формування вовнової продуктивності овець. Розвиток потових та сальних залоз, протоки яких виходять до ворсинки забезпечують формування якісного руна овець.

На гістологічних зрізах чітко виявлено не лише розбіжності у товщині окремих шарів шкіряного покриву, але й білий колір вовни, щільність та глибину закладання волосяних фолікулів, тощо. Найбільш подібну до контрольної групи структуру шкіряного покриву було визначено у лінії 1376 (рис. 3). Для ліній 374 та 7.1. (рис. 2, 4) характерними є більша глибина розташування сальних залоз, вторинні волосяні фолікули розташовані на різній глибині дерми.

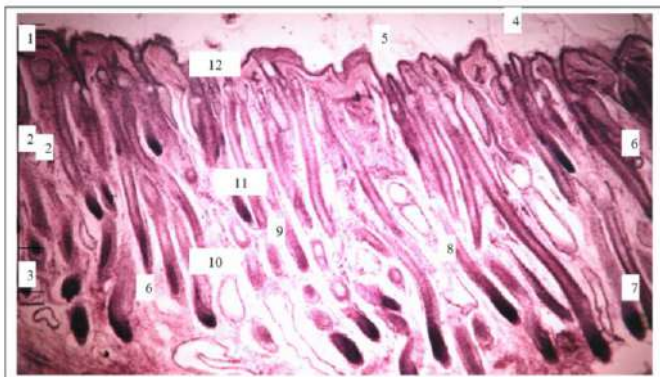


Рис. 1. Гістологічний зріз шкіри баранця у віці 4,5 міс. лінії 100.
Гематоксилін Гейденгайна, реактив Цинзерлінга, 240*
1 – епідерміс, 2 – дерма, 3 – жировий шар, 4 – вовнинка,
5 – зовнішній роговий шар епідермісу, 6 – кровоносні судини,
7 – волосяний фолікул, 8 – нервові закінчення, 9 – сальні залози,
10 – волосяна цибулина, 11 – протоки сальної залози,
12 – протоки потової залози

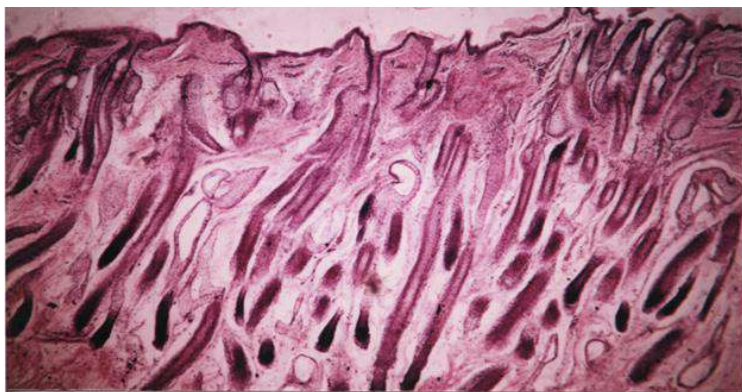


Рис. 2. Гістологічний зріз шкіри баранця у віці 4,5 міс. лінії 374.
Гематоксилін Гейденгайна, реактив Цинзерлінга, 240*

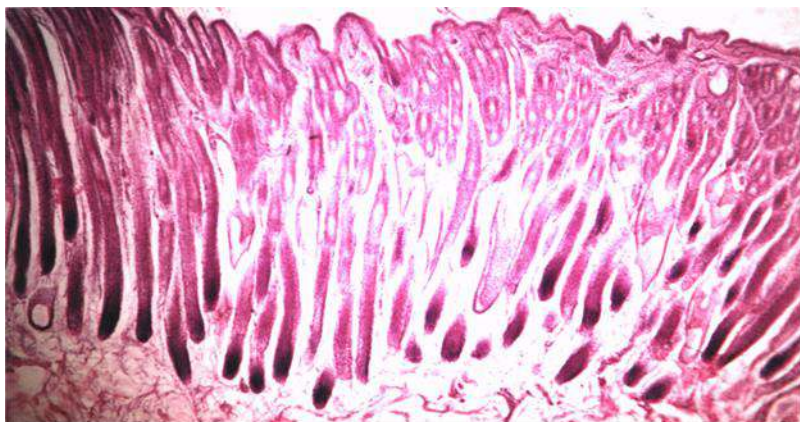


Рис. 3. Гістологічний зріз шкіри баранця у віці 4,5 міс. лінії 1376.
Гематоксилін Гейденгайна, реактив Цинзерлінга, 240*

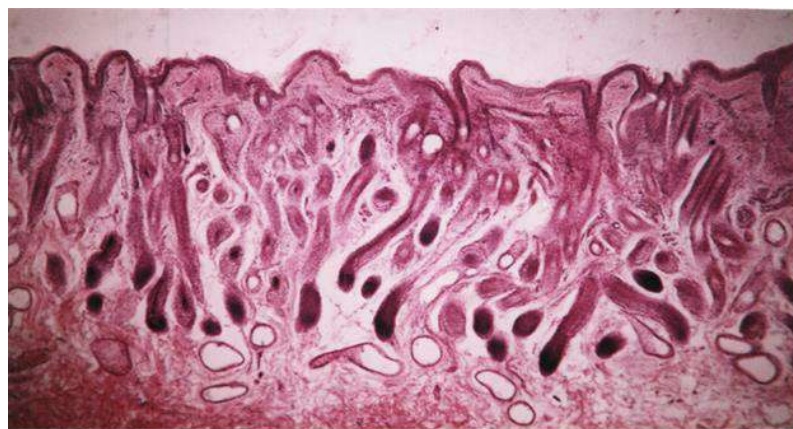


Рис. 4. Гістологічний зріз шкіри баранця у віці 4,5 міс. лінії 7.1.
Гематоксилін Гейденгайна, реактив Цинзерлінга, 240*

Виявлені особливості у будові шкіряного покриву баранців різних ліній є генетично обумовленими та можуть бути пов'язаними із впливом австралійських мериносів.

Залежності між показниками вовни, шкіри і лінійної належності тварин дозволяють зробити припущення про

існування кореляції між вивченими показниками шкіряного покриву (табл. 3).

Таблиця 3

Зв'язок товщини вовни з показниками шкіряного покриву

Кореляція між ознаками	Лінія			
	100	374	1376	7.1
товщина вовни /товщина епідермісу	-0,79±0,30***	0,98±0,19***	-0,89±0,23***	-0,50±0,87
товщина вовни / товщина власно дерми	0,66±0,72	0,87±0,50	-0,96±0,21	0,85±0,53*

Примітка: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

Аналізуючи дані розрахунків, наведені у таблиці 3, можна стверджувати, що для перших трьох ліній виявлено взаємозв'язок між товщиною вовни й епідермісу. Для ліній 100 та 1376 він негативний і значний, для лінії 374 – позитивний і значний. Для лінії 7.1 зв'язок негативний, середнього ступеню, дані невірні, отже вони можуть бути нетиповими.

Зв'язок між товщиною вовни і товщиною власно дерми для усіх ліній міцний, для лінії 1376 – негативний, і лише для лінії 7.1 відмічена імовірність першого ступеню.

Таким чином, тварини таврійського типу асканійської тонкорунної породи (лінії 374, 1376 та 7.1) характеризуються тоншою вовною, більшою товщиною епідермісу та більш тонким шаром власно дерми, у порівнянні з лінією 100 асканійської тонкорунної породи. Бажаними як за тониною вовни, так і за її одноманітністю є тварини лінії 1376. Результати вивчення кореляції показали, що для тварин лінії 100 асканійської тонкорунної породи, та для тварин таврійського типу лінії 374 та 1376 товщина вовни має високий зв'язок з товщиною епідермісу. Причому в лінії 100 великий діаметр вовни поєднується з тонким шаром епідермісу, лінії 374 притаманна тонка вовна і тонкий шар епідермісу, а лінії 1376 – найменша товщина вовни з тонким шаром епідермісу.

Баранцям таврійського типу притаманна тонка вовна, у порівнянні з асканійськими тонкорунними тваринами, водночас інша гістологічна структура шкіри австралізованих тварин обумовлює не лише тонку вовну, але й інший характер зв'язку між тониною вовни і характеристиками шкіряного покриву.

2. Закономірності формоутворюючих процесів у молодняка тонкорунних овець різних ліній

У працях Т.І. Нежлукченко, А.М. Масюткіна [17; 18] описані результати вивчення закономірностей формування продуктивності ремонтних баранців таврійського типу, та зазначено залежність із часткою спадковості австралійських мериносів із інтенсивністю росту за показниками живої маси в 4-, 5- та 10-місячному віці.

У наших дослідженнях проведений аналіз за заводськими лініями для розрахунків використовували дані живої маси у 5-, 6-, 7-місячному віку. Це дозволило більш чітко висвітлити генотипові відмінності тварин.

Динаміка живої маси визначалась на підставі даних про щомісячні зважування. Інтенсивність росту тварин вивчалась, згідно мети досліджень шляхом визначення параметрів:

– інтенсивність формування (Δt) – цей показник був запропонований Ю.К. Свечіним [19], В.П. Коваленко [20] і Т.І. Нежлукченко [21] і визначався за наступною формулою:

– рівномірності росту;

– напруга росту;

На час відлучення, яке проводилося у віці 4,5 місяців, найбільша жива маса була у ягнят асканійської породи отриманих від плідників лінії 100 (29,8 кг). Найближчими до них виявилися баранці таврійського типу ліній 8.31 та 1376, які зберегли величину тварин асканійської породи. Найменша жива маса в цьому віці визначена для представників лінії 7.67 (24,0 кг), достовірно поступається контрольним ровесникам більш ніж на 5 кг ($P < 0,001$).

Різницю в цьому віці може обумовлювати походження, тому що до відлучення молодняк годується переважно молоком маток. У цей період онтогенезу формування норми реакції переважно відбувається під впливом генотипу.

Після відлучення, до п'ятимісячного віку, відбувається адаптація молодняка овець до умов утримання на пасовищах та самостійного харчування. В цей час на тварин, окрім умов середовища, має вплив стресовий фактор відлучення, оточення іншими тваринами. Однак, для різних тварин реакція на ці чинники виявилася різною.

Таблиця 4

Динаміка живої маси баранців різних генотипів за лініями, кг

Ліній	п	Вік, місяці													
		4,5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
		$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	$\bar{X} \pm Sx$	
100	21	29,80±1,18	28,43±0,76	34,21±0,84	40,88±1,02	45,81±0,86	51,07±1,05	55,31±1,04	57,67±1,14	60,05±1,27	62,55±1,44	65,45±1,63			
1376	20	29,20±1,01	28,10±0,92	34,65±0,92	39,95±1,02	45,08±0,93	50,63±1,01	54,98±0,86	57,38±0,87	60,20±1,08	62,95±1,23	65,28±1,41			
5	10	27,00±1,57	27,80±1,14	35,70±1,03	41,50±1,52	46,25±1,45	50,75±1,49	55,20±1,76	57,90±1,85	60,35±1,89	63,45±1,97	66,15±2,00			
374	19	26,68±1,23	25,89±0,96	33,26±1,04	40,21±1,24	44,97±1,10	49,47±1,11	53,97±1,20	56,47±1,30	59,08±1,45	61,53±1,61	63,95±1,80			
7.1	9	26,11±1,49	26,33±1,01	31,61±1,01	36,83±1,01**	42,00±1,04**	47,17±1,09**	52,50±1,16	54,33±1,17	56,17±1,45*	57,94±1,75*	59,22±2,10*			
1322	10	27,40±1,51	27,00±0,80	33,65±0,95	39,65±1,40	44,65±1,25	49,10±1,46	54,85±1,39	57,10±1,48	59,15±1,58	61,00±1,77	62,70±2,02			
1444	10	26,70±1,84	25,70±1,06*	33,50±1,12	40,40±1,45	44,80±1,62	49,10±1,80	52,50±2,35	54,20±2,50	55,85±2,69	57,35±2,97	59,10±3,29			
8.31	9	29,33±1,47	27,89±0,68	33,94±0,96	38,89±0,61	43,83±0,51	47,94±0,59*	52,17±0,83*	54,39±0,79*	56,39±0,84*	58,22±0,94*	60,39±1,01*			
7.67	10	24,00±0,82***	27,90±1,55	32,80±1,13	38,25±1,25	42,75±1,40	46,80±1,49*	50,70±1,42*	53,30±1,33*	56,75±1,37	59,45±1,55	62,85±1,84			

* P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Баранці лінії 100, 1376, 374, 1444, 8.31 втратили більше кілограма живої маси, тварини лінії 5 та 1322 – біля 0,5 кг. Водночас представники лінії 7.1, 7.67, 5 мали протилежну реакцію, їх жива маса збільшилась, особливо для лінії 7.67 (на 3,9 кг). Збільшення живої маси відбулося саме у представників ліній, які вдало поєднують велику живу масу та вовнову продуктивність

Загалом, незважаючи на втрату живої маси, чистопорідні тварини зберегли першість. Молодняк таврійського типу значно поступався, ймовірними є показники лінії 374 та 1444, де різниця складає 2,54 та 2,73 кг відповідно.

В перші періоди вирощування, до 9-місячного віку значення високої маси характерно для лінії 5, різниця з контрольною групою склала 1,49 до 0,44 кг. Представники лінії 7.1 поступаються контрольним тваринам на 4,05 та 3,81 кг у 7 та 8 місяців ($P < 0,05$).

У віці 9 місяців різниця в інтенсивності росту дослідних тварин стає більш помітною. Асканійським чистопорідним баранцям притаманна найбільша жива маса, представники австралізованих ліній суттєво їм поступаються. Різниця складає від 0,32 до 4,27 кг ($P < 0,05$).

Наступні п'ять місяців вирощування характеризуються більш інтенсивним розвитком австралізованих баранців. Ймовірним є гальмування в рості для лінії 7.1, 8.31 та 7.67, в річному віці різниця складає 3,88, 3,66 та 3,3 кг відповідно. Ці лінії є особливо цінними за якістю жиропоту і різницю в інтенсивності росту, на нашу думку, слід пояснювати значним впливом австралійської породи на прояв досліджуваної ознаки.

В 13- та 14-місячному віці представникам лінії 100 ймовірно поступаються лише ремонтні барани ліній 7.1 та 8.31, на 6,23 та 5,06 кг ($P < 0,05$). Інші групи не мають достовірної різниці з контрольною групою.

Отже, динаміка живої маси дослідних тварин неоднотипова і обумовлена різницею в генотипі. Цілеспрямована селекція зберегла лінійні особливості таврійського типу асканійської тонкорунної породи. Вивчення показників інтенсивності росту та розвитку піддослідних тварин за період від 6- до 7- місячного віку дозволяють більш повно оцінити генотипові особливості ліній (табл. 5).

За показником інтенсивності росту лінії неодноманітні і дуже відрізняються від чистопорідних тварин лінії 100. Найбільша

інтенсивність формування притаманна представникам лінії 374 та 1444, які на початку періоду вирощування поступалися контрольним тваринам, а у віці 6 – 7 місяців не мали з ними ймовірної різниці за живою масою. Значно поступалися за інтенсивністю формування представники лінії 8.31, 1376 та 7.1. Водночас, при відлученні представники лінії 8.31 та 1376 мали живу масу дуже близьку до контрольних тварин, а в наступні чотири місяці від них не відрізнялися.

Таблиця 5

Інтенсивність росту баранців різних ліній

Лінія	n	Показники інтенсивності росту ремонтних баранців				
		інтенсивність формування, Δt	рівномірність росту, J_p	напруга росту, J_n	середньодобовий приріст, кг	відносний приріст
100	21	0,060±0,026	0,202±0,015	0,337±0,59	0,221±0,024	0,177±0,018
1376	20	0,021±0,045	0,171±0,009	0,041±0,756	0,177±0,010	0,143±0,008
5	10	0,038±0,034	0,180±0,025	0,182±0,596	0,193±0,037	0,148±0,025
374	19	0,070±0,027	0,208±0,017	0,931±0,234	0,230±0,028	0,188±0,021
7.1	9	0,022±0,002	0,170±0,005*	0,800±0,050	0,174±0,006	0,153±0,007
1322	10	0,046±0,043	0,220±0,044	-0,992±2,183	0,203±0,043	0,161±0,035
1444	10	0,083±0,026	0,209±0,020	1,613±0,243	0,230±0,029	0,186±0,022
8.31	9	0,018±0,008	0,161±0,018	0,761±0,481	0,165±0,019	0,138±0,018
7.67	10	0,042±0,035	0,162±0,026	0,423±0,330	0,182±0,036	0,153±0,030

Для лінії 7.1 закономірність зовсім інша: при відлученні і в наступні місяці вирощування ці тварини мали значно меншу живу масу у порівнянні з контрольними. Тобто, компенсації живої маси у них не відбувалось, на відміну від лінії 374 та 1444.

Закономірно, що за індексом рівномірності росту представники лінії 7.1 достовірно поступаються контрольній групі. Більше значення індексу для баранців лінії 374 та 1444 є закономірним, але не має високої вірогідності. Усі інші лінії поступаються лінії 100, що є наслідком меншої інтенсивності формування.

Середньодобовий приріст для усіх груп, за винятком вказаних двох, менший ніж у контрольних тварин, і найменший для групи 8.31. Середньодобовий приріст для всіх дослідних тварин вище на 0,150 кг, і відповідає вимогам породи, адже різниця обумовлена саме генотиповими особливостями лінії плідників різної породності.

Відносний приріст характеризує лінії 374 та 1444 як більш швидко формуючися, у порівнянні з чистопорідними тваринами. Представники ліній 1376 та 5 мають найменші відносні прирости у віці 6-7 місяців. Представники інших ліній значно поступаються

контрольним, таким чином має місце більш пізнє формування тварин австралізованих ліній. Тому закономірні і розбіжності у показниках напруги росту.

За індексом напруги росту контрольна група поступається дослідним. На нашу думку, така відмінність пов'язана з різницею живої маси на час відлучення і перевагою чистопорідних тварин над помісними в перші місяці вирощування. Тобто, помісні тварини в перші місяці онтогенезу мають меншу інтенсивність росту, що компенсується у наступні періоди вирощування, тому що на час бонітування достовірну різницю з лінією 100 мали лише баранці лінії 7.1, які характеризуються меншою інтенсивністю росту за всіма показниками.

3. Математичне моделювання продуктивності молодняку тонкорунних овець

Використовуючи дані про зважування тварин було проведено моделювання та прогнозування живої маси овець з використанням математичної моделі Т.Х. Бріджеса [22] та Ф. Річардсана, які мають наступний загальний вигляд.

Визначалась точність моделювання і зв'язок параметрів моделі з фактичними показниками живої маси, параметрами росту та вовнової продуктивності піддослідних тварин.

Ремонтних баранців бонітували за повним ключем і для перевірки за якістю нащадків, на підставі потреб господарства було залишено 8 голів ремонтних баранів з наступними індивідуальними номерами: 748, 794, 7151, 7159, 7561, 7747, 7778, та 7884. Спермою цих баранів були запліднені вівцематки не молодші двох років і не нижче I класу. Отриманих нащадків після відлучення було розподілено за статево-віковими групами. Вирощування відбувалося в різних отарах. Тварин бонітували і стригли в 1,5-річному віці.

Таврійського тип створений на базі асканійської тонкорунної породи з участю австралійських мериносів. Селекційна робота проводилась з лініями, основоположниками яких були австралійські мериноси. Привнесення генів іншої породи закономірно змінило генотип помісних тварин, у порівнянні з чистопорідними. Ці зміни обумовили відмінності в продуктивності тварин, відповідно і в інтенсивності їх росту та розвитку.

Проведене моделювання росту тварин різних ліній до 14-місячного віку визначило високу точність прогнозування росту овець. Визначення особливостей параметрів моделей для кожної лінії дозволяє підтвердити генетично обумовлені особливості тварин різного походження. (табл. 6).

Похибка прогнозованої живої маси лише для лінії 1376 перевищували біологічно припустимий п'яти відсотковий поріг вірогідності. Для інших ліній точність прогнозу коливалась в межах від 1,72 до 3,02%. І для більшості австралізованих ліній проноз був більш точним.

Найбільше відхилення прогнозованих значень було для ліній 1376 та 5 (6,69 та 3,02% відповідно), що мали живу масу майже однакову з асканійською тонкорунною породою. Ці лінії характеризуються найліпшим поєднанням якостей двох батьківських порід, ягнята під час відлучення поступалися за живою масою і в останні місяці вирощування мали високі показники інтенсивності росту в порівнянні з контрольними тваринами.

Таблиця 6

**Моделювання росту дослідних баранів за моделлю
Т. Бріджеса**

Лінія	n	Жива маса, кг		Похибка прогнозу, %	A	α	κ
		фактична	прогноз				
100	21	65,45	63,90	2,38	71,905	1,236	0,224
1376	20	65,28	60,92	6,69	72,700	0,951	0,274
5	10	66,15	64,15	3,02	92,200	0,825	0,233
374	19	63,95	62,28	2,61	78,158	1,214	0,191
7.1	9	59,22	58,20	1,72	66,556	1,555	0,047
1322	10	62,70	61,30	2,23	90,700	1,178	0,107
1444	10	59,10	57,88	2,11	68,500	1,066	0,292
8.31	9	60,39	59,10	2,13	66,222	1,334	0,152
7.67	10	62,85	61,12	2,75	79,000	1,155	0,135

В процесі моделювання росту тварин визначається асимптота (A) – це потенційний максимальний показник живої маси. Цікавим є той факт, що для 5 з 8 австралізованих ліній визначені асимптоти є вищими на 0,2...20,3 кг, порівняно з 100 лінією. На нашу думку це пов'язано з більшою кінетичною енергією росту для баранців австралізованих ліній. Представники лінії 8.31, 1444 та 7.1 мають параметри моделі для живої маси більш близькі до австралійських мериносів, з чим пов'язана і менша асимптота.

За моделлю Т.Бріджеса визначаються кінетична (α) та експоненційна (κ) енергія росту. Найменші значення кінетичної енергії росту мають лінії 1376 та 5, точність прогнозу у який була найгірша. Значення кінетичної енергії росту з експоненційною мають обернений зв'язок: збільшення одного параметра веде до зменшення іншого. Отже, для вказаної ліній характерний інтенсивний ріст за останні місяці вирощування, а представники інших ліній більш інтенсивно ростуть в перші місяці вирощування.

Вивчені параметри моделей охарактеризовані в методиці, а в додатку R продемонстровані середні значення параметрів моделі Т. Бріджеса для дослідних ліній.

При описанні росту баранів до 14 – місячного віку асимптота (A – прогнозоване максимальне значення живої маси) значно перевищує фактичну масу. Високе значення асимптоти свідчить про великий генетичний потенціал енергії росту дослідних тварин, що підтверджується значеннями кінетичної і експоненційної енергії росту.

Відповідно до коливань вказаних параметрів змінюється і їх співвідношення: для лінії 5 та 1444 – найменші, а для 374 – найвище.

За допомогою використаної моделі одночасно визначалися і такі параметри росту як інтенсивність формування (ИФ), індекс рівномірності (ИР), середньо добовий темп росту (СР), загальний темп наростання (ВП), індекс напруги росту (ИН). При вивченні цих показників помітна залежність значень від генотипу і показників фактичної живої маси (додаток R).

Тварини асканійської тонкорунної породи мають високу інтенсивність формування (ИФ = 6,007%), однак інтенсивність формування найбільша для ліній 5, 1444, 1376, як і показники живої маси в різні періоди вирощування. Представники ліній 8.31 та 7.1, продуктивність яких аналогічна чистопородним австралійським мериносам, є тваринами з низькою інтенсивністю формування. Отже, вплив генів австралійських меринів обумовлює особливості в інтенсивності формування помісний нащадків різних поколінь.

Індекс рівномірності росту показує, наскільки сталими в різні періоди вирощування є показники приростів живої маси. Зв'язок цього параметра з початковою живою масою обумовлює інші закономірності, на відміну від попереднього показника. Для контрольних тварин індекс має середній рівень значення, їх

перевищують представники ліній 1376, 5, 374. Баранці цих генотипів при відлученні мали живу масу майже типову для асканійських овець, а під час бонітування не поступалися чистопородним тваринам. Індекс рівномірності підтверджує визначені раніш закономірності росту ремонтних баранів різних австралізованих ліній.

Значення середньодобового темпу росту мають аналогічні закономірності, для ліній 7.1, 7.67, 8.31 значення приростів найменші (менше 0,175), що обумовлює велику різницю щодо кінцевої живої маси.

Заслугує на увагу показник загального темпу збільшення (ВП), він не є великим для контрольних тварин (0,117), для більшості аналізованих генотипів він є вищим, що, на нашу думку, обумовлено більш інтенсивними процесами росту представників таврійського типу після відлучення.

Індекс напруги росту враховує інтенсивність формування, відносний та середньодобовий приріст, тому є найбільш об'єктивним показником процесу росту та розвитку дослідних тварин. Асканійські чистопородні тварини ростуть більш напружено ніж австралізовані ровесники. Різниця значень індексу складає від 0,028 до 0,436, що свідчить про значний вплив поліпшуючої породи на ріст та розвиток баранів таврійського типу.

Параметри AdN, a, p є показниками наростання прогнозованої величини і безпосередньо пов'язані зі значеннями живої маси у перші місяці вирощування. Для лінії 100 вони мають середнє значення, у порівнянні з іншими лініями. Перевага цих значень при моделюванні росту представників ліній 1376, 5, 374 вже пояснювалася більшою живою масою як при відлученні, так і при вирощуванні.

При селекційній роботі можливо використання всіх проаналізованих параметрів моделі, для ранньої оцінки і відбору ремонтних баранців за результатами перших трьох місяців вирощування

При використанні моделі Ф. Річардсона отримали більшу точність прогнозу, у порівнянні з моделлю Т. Бріджеса (табл. 7).

Помилка математичного прогнозування живої маси до 14-місячного віку не перевищує 2%, встановлені в біології порогові значення для аналогічних прогнозів складають 5%. Точність моделі Ф. Річардсона є висока.

Найбільше відхилення що до точності прогнозу отримані для ліній 1376 та 7.67, як і при використанні моделі Т. Бріджеса, що підтверджує генотипові особливості росту і розвитку представників цих ліній.

Таблиця 7

Точність прогнозу при використанні моделі Ф. Річардсона

Лінія	n	Жива маса у 14 місяців, кг		Похибка прогнозу, %	M	α	к
		фактична	прогноз				
100	21	65,76	65,15	0,93	71,905	0,246	-0,060
1376	20	66,20	65,53	1,01	72,750	0,245	1,189
5	10	67,30	67,29	0,01	73,800	0,257	0,006
374	19	64,79	64,36	0,66	69,263	0,300	0,006
7.1	9	59,44	58,92	0,87	64,333	0,267	0,168
1322	10	63,30	62,71	0,93	69,700	0,290	0,176
1444	10	59,90	59,89	0,02	62,200	0,368	0,007
8.31	9	62,67	62,70	0,05	69,889	0,235	0,007
7.67	10	64,50	63,57	1,44	77,500	0,245	0,449

Для контрольної лінії похибка прогнозу на середньому рівні у порівнянні з дослідними генотипами. Найбільш продуктивні за живою масою і параметрами росту лінії 5, 1444 та 8.31 які мають й найбільшу точність прогнозу. Таким чином, їх ріст та розвиток є цілком передбачуваним.

Величина асимптоти (M) перевищує фактичну живу масу, але різниця між цими параметрами менша ніж при використанні моделі Т. Бріджеса і коливається від 5 до 13 кг.

За значенням α (кінетичної енергії росту), представники дослідних генотипів 1376, 5, 8.31, 7.67 не дуже відрізняються від асканійської тонкорунної породи, значення дуже близькі. Інші лінії значно переважають контрольну – від 0,021 до 0,122. Ці відмінності збігаються з особливостями показника напруги росту, і підтверджуються параметрами росту дослідних тварин.

Експоненційна енергія росту для австралізованих генотипів дуже відрізняється від 100 (контрольної лінії) і відображає суттєву зміну генотипу таврійського типу овець.

Вивчені показники росту мають обернений зв'язок, як і в моделі Т. Бріджеса. Але закономірності формування ліній 1376 та 5, виявлені при використанні моделі Т. Бріджеса, при використанні моделі Ф. Річардсона не підтверджуються.

Крім проаналізованих показників за моделлю Ф. Річардсона визначаються і ряд інших показників росту та розвитку (табл. 8). Моделлю передбачений незалежний розрахунок початкової живої маси біологічного об'єкта, цей показник відхиляється від фактичного на 5-6 кг незалежно від генотипу. Таким чином, математичний розрахунок передбачає періодичність процесу росту, що підвищує точність прогнозу.

За розрахунками коефіцієнту інтенсивності формування (ІФ) ремонтні барани таврійського типу переважають асканійських не менш ніж на 4%. Виключенням є лінія 7.67, яка на 0,7% поступається контрольним тваринам.

За індексом рівномірності росту (ІР) аналогічна картина. Розраховані за моделлю показники повністю співпадають з фактичними показниками. Контрольній лінії значно поступаються лінії 1376, 7.1, 1322, 8.31, 7.67, представники яких мають менш рівномірний ріст, обумовлений генотипом.

Таблиця 8

Параметри моделі Ф. Річардсона

Лінія	Жива маса у віці 5 місяців, кг		ІФ	ІР	СП	ВП	ІН	а	р
	факт	прогноз							
100	28,43	21,68	1,161	0,893	0,889	0,175	0,182	1,087	5,926
1376	28,10	21,83	6,937	0,785	0,846	0,143	0,502	0,929	6,546
5	27,80	21,29	10,421	0,895	0,979	0,148	1,026	0,840	7,904
374	25,89	19,36	6,056	1,000	1,023	0,189	0,507	0,907	7,450
7.1	26,33	20,63	3,035	0,724	0,750	0,184	0,289	1,019	5,307
1322	27,00	20,79	5,804	0,907	0,904	0,161	0,896	0,944	6,702
1444	25,70	19,47	7,920	0,972	1,050	0,186	0,622	0,872	7,927
8.31	27,89	22,11	5,711	0,743	0,786	0,138	0,119	0,932	6,053
7.67	27,90	21,53	0,756	0,747	0,761	0,153	0,436	1,087	5,249

Відмінності за середньодобовими та відносними приростами (СП та ВП) обумовлені різною початковою масою, і характеризують різні лінії. Представники лінії 1444 та 374, які значно поступалися на початку вирощування, мали більші середньодобові прирости, компенсували відставання, тому переважали за відносним приростом, та іншими показниками інтенсивності росту.

Індекс напруги росту (ІН) для всіх генотипів вищий ніж для асканійської породи, тобто таврійський тип має більшу енергію і

напругу росту. Це дозволяє компенсувати відставання на початкових етапах постембріонального розвитку.

Параметри моделі a і p мають обернений зв'язок і лише у представників лінії 7.1 та 7.67 наближений до контрольного показника і повторно вказану залежність.

Отже модель Ф. Річардсона має високу точність при прогнозуванні росту та розвитку овець як асканійської тонкорунної породи, так і таврійського типу цієї породи.

Селекційна робота базується на ефективному використанні закономірностей росту і розвитку тварин. Моделі дозволяють прогнозувати живу масу в певному віці на підставі даних перших 4 місяців вирощування. Нами доведена висока точність прогнозування живої маси за математичними моделями Т. Бріджеса і Ф. Річардсона. Визначено, що показники інтенсивності росту овець за моделями і фактичні мало відрізняються.

Модель Т. Бріджеса базується на визначенні асимптоти, за нашими даними зв'язок фактичної продуктивності і асимптоти з віком посилюється, як у контрольній лінії, так і у представників австралізованих генотипів (табл. 9).

Для лінії 100 цей показник змінився від 0,163 до 0,817, в останні два періоди був найбільш вірогідним. Представники ліній 7.1 та 1444 мали аналогічні характеристики, але зв'язок ознак мав більші значення ніж у контрольних тварин у всі вікові періоди.

Незалежно від напрямку зв'язку та ступеню він зростає для всіх ліній, за винятком лінії 1376, де навпаки – зменшується.

Зв'язок кінетичної (α) та експоненційної (κ) енергій росту з віком має пряму залежність від генотипу ліній тварин. Так кінетична енергія росту для контрольної лінії з віком змінює напрям зв'язку, аналогічною є така закономірність і для представників ліній 5, 374, 7.1, 1444, 8.31, і 7.67. Рівень зв'язку зростає, для ліній 5 та 374 з низького до середнього рівня, а для лінії 7.1 з 0,345 до -0,602.

Зв'язок з експоненційною енергією для вказаних ліній з віком зменшується (лінія 7.1 – з -0,569 до 0,396) або залишається майже незмінним (лінія 374 з -0,084 до -0,034).

Таким чином, параметри моделі доцільно використовувати для ранньої оцінки майбутніх плідників за параметрами моделі. Цікавим є зв'язок аналогічних параметрів в моделі Ф. Річардсона, табл. 10.

Таблиця 9

Зв'язок параметрів моделі Т. Бріджеса з фактичною живою масою ремонтних баранів дослідних ліній у віці 5, 12 та 14 місяців

Лінія	n	Асимптота			α			κ		
		5	12	14	5	12	14	5	12	14
100	21	0.163	0.741***	0.817***	0.234*	-0.178	-0.319	-0.254*	0.121	0.213
1376	20	0.434**	-0.062	-0.041	0.436**	0.259	0.110	-0.246*	-0.272	-0.129
5	10	0.238	0.452*	0.505*	0.017	-0.184	-0.223	0.004	0.326	0.367*
374	19	0.121	0.396*	0.409*	0.038	-0.179	-0.217	-0.084	-0.025	-0.034
71	9	0.308	0.789***	0.848***	0.345	-0.409*	-0.602*	-0.569*	0.242	0.896*
1322	10	-0.233	-0.262	-0.233	0.211	0.286**	0.282	-0.066	-0.227	-0.219
1444	10	0.416*	0.792***	0.870***	0.274	-0.317	-0.496*	-0.561*	0.173	0.324
8.31	9	0.054	0.646**	0.885***	0.037	-0.221	-0.467*	-0.064	-0.333	-0.165
7.67	10	0.076	0.123	0.184	0.108	-0.076	-0.107	-0.262	-0.074	-0.063

Таблиця 10

Зв'язок параметрів моделі Ф. Річардсона з фактичною живою масою ремонтних баранів дослідних ліній у віці 5, 12 та 14 місяців

Лінія	n	Асимптота			α			κ		
		5	12	14	5	12	14	5	12	14
100	21	0.250	0.878***	0.941***	-0.230	-0.160	-0.256	0.169	-0.179	-0.247
1376	20	0.382	0.737***	0.778***	-0.050	0.058	-0.010	0.164	0.030	-0.015
5	10	0.546	0.743**	0.840**	0.171	0.460	0.387	-0.036	-0.364	-0.396
374	19	0.533	0.849***	0.934***	-0.254	-0.385	-0.473*	0.280	-0.066	-0.169
71	9	0.185	0.850**	0.944***	0.239	-0.103	-0.322	0.456	0.501	0.430
1322	10	0.605	0.887***	0.871***	-0.368	-0.337	-0.304	0.163	0.059	0.181
1444	10	0.447	0.899***	0.975***	-0.602	-0.467	-0.514	-0.032	-0.263	-0.415
8.31	9	0.370	-0.202	-0.054	-0.534	0.149	0.107	-0.182	0.373	-0.074
7.67	10	-0.008	0.064	0.265	0.135	0.361	0.470	0.302	0.466	0.570

З'ясувалося, зв'язок асимптоти з фактичною живою масою для контрольної і австралізованих ліній з віком зростає і стає більш близьким, отримані дані високо достовірні, виключенням є лінії 8.31 та 7.67. Значення зв'язку для ліній 7.1, 1322 та 1444 більш високі ніж для аналогічних показників моделі Т. Бріджеса, що може бути пов'язане з більш високою точністю прогнозу.

Модель Ф. Річардсона так само передбачає визначення кінетичної (α) та експоненційної (κ) енергій росту, зв'язок яких з фактичною живою масою також вивчався. Зв'язок кінетичної енергії росту не є достовірним. Але з віком він потерпає змін. Для контрольної лінії значення майже зберігаються (-0,230, -0,256). Аналогічні закономірності відзначені і для ліній 1322 та 1444, для інших зв'язок з віком зростає, наприклад у лінії 374 змінюється від -0,254 до -0,473.

На відміну від моделі Т. Бріджеса, в цьому випадку не відбувається різкого зростання ступеня зв'язку та його напрямку. Для моделі Ф. Річардсона характерним є відносно сталий і спрямований зв'язок кінетичної енергії росту моделі з фактичною масою дослідних тварин.

Відносно експоненційної енергії росту, то тут навпаки, з віком змінюється напрям і ступінь зв'язку, для лінії 100 від 0,169 до -0,247, аналогічно для лінії 374 та 8.31. В інших лініях зв'язок з віком міцніє, в лінії 1322 від 0,163 до 0,181, а лінії 1444 – від -0,032 до -0,415.

Таким чином, нами визначено закономірності зв'язку параметрів дослідних моделей з фактичною живою масою овець різних генотипів. У більшості випадків зв'язок параметрів моделей з фактичною живою масою в різні вікові періоди є достовірним.

Висновки

1. Тварини таврійського типу асканійської тонкорунної породи (лінії 374, 1376 та 7.1) характеризуються тоншою вовною, більшою товщиною епідермісу та більш тонким шаром власної дерми, у порівнянні з лінією 100 асканійської тонкорунної породи. Бажаними як за тониною вовни, так і за її одноманітністю є тварини лінії 1376. Результати вивчення кореляції показали, що для тварин лінії 100 асканійської тонкорунної породи, та для тварин таврійського типу лінії 374 та 1376 товщина вовни має високий зв'язок з товщиною епідермісу.

2. Виявлено зв'язок між інтенсивністю росту тварин таврійського типу асканійської тонкорунної породи та формуванням їх продуктивності. Визначено вплив показників

інтенсивності росту на живу масу і настриг вовни баранів-плідників та їх нащадків.

3. Встановлена доцільність використання математичної моделі Т.Бріджеса та Ф.Річарсона, індекса інтенсивності формування тварин для прогнозування живої маси у віці 14 місяців за даними, отриманими в перші місяців вирощування.

Література:

1. Біологи отримали ДНК вівці віком 1600 років завдяки знахідці в іранській соляній шахті. <https://ukr.media/science/434803/> дата публікації 19 Липня 2021, 17:13 дата звернення 01 серпня 2021

2. Дзицюк К, Туринський В. Хромосомний поліморфізм овець / Інтернет ресурс <http://zhivotnovodstva.net/index/Hromosomnyj-polimorfizm-ovets.html> дата звернення 25.10.2020)

3. Вівчарство// Інтернет ресурс http://b-ko.com/book_173_glava_30_2.3.4.Vivcharstvo.html (дата звернення 25.10.2020)

4. Ryder, S. J., et al. "Immunohistochemical detection of PrP in the medulla oblongata of sheep: the spectrum of staining in normal and scrapie-affected sheep." *Veterinary Record* 148.1 (2001): 7-13. [Google Scholar]].

5. Sherratt A. In: *Patterns of the Past: Studies in Honour of David Clark*. Hodder I, Isaacs G, Hammond N, editors. Cambridge University Press; Cambridge: 1981. [Google Scholar]

6. Helmer D, Gourichon L, Vila E. *Anthropozoologica*. 2007;42:41. [Google Scholar]

7. Статистичні дані FAOSTAT [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QL/E>

8. Антонєць О. Г., Болотова Т. Г. Продуктивність і якісні характеристики вовни переярок таврійського типу ДГ «Асканійська». *Науковий вісник «Асканія-Нова»*. 2010. Вип. 3. С. 4-8.

9. Стало известно, как в Украине изменилось количество поголовья основных сельскохозяйственных <https://latifundist.com/novosti/50166-stalo-izvestno-kak-v-ukraine-izmenilos-kolichestvo-pogolovya-osnovnyh-selhozhhivotnyh>

10. Папакіна Н.С., Архангельська М.В. Гістологія шкіри тонкорунних овець різних ліній. *Slovak international scientific journal*. <http://sis-journal.com/sis-journal/> 2017 г. № 3. p. 6-8.

11. Чайченко Г. М. та ін. Підручник: Фізіологія людини і тварин: / За ред. В. О. Цибенка. К.: Вища шк., 2003. 463 с.
12. Іванов В.О., Костюк В.К., Самойлюк В.В. Навчальний посібник: Морфологія сільськогосподарських тварин Херсон: Олді-плюс, 2012. 192 с.
13. Кацы Г.Д. Кожа млекопитающих: теория и практика. Луганськ: Из-во „Русь”, 2000. 144 с.
14. Орехова Л.А. Генеалогическая структура овец породы прекокс и их помесей с баранами австралийский меринос и полварс. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2003. № 1. С. 33-36.
15. Папакіна Н.С., Нежлукченко Т.І. Лінійне походження, тонина вовни, гістологія шкіри баранців таврійського типу в умовах традиційної технології виробництва вовни. *Вівчарство* 2005. Вип. 31-32. С. 110-113.
16. Коваленко В.П., Халак В.І., Нежлукченко Т.І., Папакіна Н.С. Біометричний аналіз мінливості ознак сільськогосподарських тварин і птиці Херсон: РВЦ «Колос». 2009. 160 с.
17. Папакіна Н.С., Нежлукченко Т.І., Масюткін А.М. Генотипова диференціація тонкорунних овець за інтенсивністю росту в ранньому онтогенезі *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2001. Вип. 18. С. 126-130.
18. Папакіна Н.С., Нежлукченко Т.І., Масюткін А.М. Вплив спадкових факторів і спрямованого відбору на живу масу ягнят таврійського внутрішньо породного типу. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2001. Вип. 19. С. 111-114.
19. Свечин Ю.К. Прогнозирование продуктивности животных в раннем онтогенезе *Вести с.-х. науки* 1985. С. 1-3-107.
20. Коваленко В.П. Моделирование процесу росту і продуктивності сільськогосподарських тварин *Зб. наукових статей “Перспектива”* Херсон: Айлант. 1999. С. 58-59.
21. Нежлукченко Т.І., Масюткін А.М. Прогнозування живої маси ягнят різних типів інтенсивності росту в ранньому онтогенезі *Молоді вчені – тваринництво / Мат Міжнародна конф. молодих вчених-вихованців шкіл видатних вчених ак. М.Ф. Іванова і Л.К. Гребня* 2000. С. 15-17.
22. Коваленко В.П., Болелая С.Ю. Рекомендации по использованию моделей основных селекционных признаков сельскохозяйственных животных и птицы. Херсон. 1997. 38 с.

РОЗДІЛ 4. СУЧАСНІ ЄВРОПЕЙСЬКІ ТА СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-247-3-8>

Antonenko A. V.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kyiv National University of Culture and Arts
Kyiv, Ukraine*

Vasylenko O. V.

*Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Kyiv National University of Culture and Arts
Kyiv, Ukraine*

Kryvoruchko M. Yu.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kyiv National University of Trade and Economics
Kyiv, Ukraine*

Tolok H. A.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine*

Stukalska N. M.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National University of Food Technologies
Kyiv, Ukraine*

Prihodko K. O.

*Graduate Student
Kyiv National University of Culture and Arts
Kyiv, Ukraine*

Dzyundzya O. V.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kherson State Agrarian and Economic University
Kherson, Ukraine*

INNOVATIVE TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PRODUCTION OF FUNCTIONAL PURPOSES SAUZES WITH DIETARY SUPPLEMENTS

*According to the results of the analysis of scientific and patent sources,
the urgency of developing technologies of sauces of high nutritional value*

through the use of dietary and food supplements is substantiated and proved, which allows to expand the range of functional products. The formation of structures characteristic of sauces occurs due to the complexation in the system of gum arabic-pectin-lactate calcium, the intensity of which increases with decreasing pH of the medium from 7.3-7.7 to 4.9-5.1. Complex formation in model systems is evidenced by an increase in the molecular weight of the complexes (gum arabic-pectin-calcium lactate) from 89 to 671 kDa. According to the results of studies of physicochemical properties of BJD, gum arabic, pectin, calcium lactate, their rational ratios in dry composite mixtures for sauces were determined as 5: 6: 2: 2. The studied physicochemical properties of model sauce systems (the share of free moisture decreased by 15.7-27%, bound – increased by 4.7-5.1%). A comprehensive assessment of the quality of the developed sauces, the complex quality of which exceeds the corresponding values of control (100 units) by 62.4 units. ("Solar"), 71.4 units. ("Balance"), 64.2 units. ("The Highlander"), 71.6 units. ("Rainbow"), which corresponds to high quality food products. The introduction of new technologies of functional sauces will expand the range of restaurant products and functional products.

Introduction

At the present stage of development of the restaurant industry, the production of functional sauces by enriching them with biologically active components is promising. The scientific strategy and methodology of designing functional foods involves the modification of traditional technologies, which provides an increase in the content of essential ingredients in products to a level consistent with physiological norms of consumption.

The development of functional foods is based on scientific principles developed by the World Health Organization and harmonized with domestic science. These principles cover the main medical, biological and technological aspects and take into account new data from modern science on the role of nutrition and certain nutrients in maintaining human health and life, the body's needs for certain nutrients and energy, the real structure of nutrition and actual supply of vitamins. macro- and microelements of the population of Ukraine, as well as take into account the experience of production, use and evaluation of the effectiveness of functional foods in Ukraine and abroad.

Scientific bases of creation of functional food products include:

- medical and biological aspects, which include the choice of carrier, the choice of additives that adjust the chemical composition of the product, the level and safety of enrichment;
- technological aspects that consider the issues of product quality, preservation of micronutrients and compatibility of micronutrients with food mass, as well as their interaction with individual components of food systems;
- clinical efficacy, which should confirm the use of evidence-based medicine bioavailability of the enrichment component, as well as the reliability of the correction of deficiency and improve health when using functional foods.

1. Modeling of a composite mixture of dietary supplements and food systems as the basis of functional sauces

Due to an unbalanced, polydeficient diet, polymacromicronutrient deficiency is widespread in the population of Ukraine due to a deficiency in the diet of a number of nutrients. Studies show that priority should be given to preventive measures aimed at overcoming vitamin deficiencies, insufficient essential amino acids, polyunsaturated fatty acids of the $\omega 3$ family in cis-form, dietary fiber, minerals: calcium, potassium, magnesium, phosphorus, iron [1].

Based on scientific data on the relationship between calcium, potassium, magnesium, phosphorus, iron and dietary fiber deficiencies in human nutrition and health, as well as data on the effectiveness of calcium absorption in the presence of phosphorus and magnesium, it is planned to choose these nutrients defining criteria for optimization in the development of functional sauces. Increasing the calcium content in sauces is important because in addition to performing metabolic functions in the body, it will help block the absorption of strontium-90. The protective functions of magnesium are manifested in the fact that it is a link in the formation of a complex between structural, transport and information RNA, which provides protein synthesis, stimulates intestinal motility, affects cholesterol levels and maintains pH balance. Increasing the amount of iron in sauces will have a positive effect on the body's defenses. It is known that the body does not absorb dietary fiber, but in the process of digestion, they play an extremely important role – contribute to intestinal peristalsis; in addition, they are able to form insoluble chemical compounds with toxic substances, radionuclides and remove them from the body [2].

It is known that the body does not absorb dietary fiber, but in the process of digestion, they play an extremely important role – contribute to intestinal peristalsis; in addition, they are able to form insoluble chemical compounds with toxic substances, radionuclides and remove them from the body.

In this regard, keep in mind that functional sauces must contain calcium, potassium, magnesium, phosphorus, iron, β -carotene, polyunsaturated fatty acids, essential amino acids and dietary fiber, the deficiency of which is quite common and adversely affects human health [3].

Technological studies of the technology of sauces with the use of the developed composite mixture instead of wheat flour and starch, which are the determining factors of rheological and organoleptic parameters. Based on the physiological needs of the human body, the existing deficiency of nutrients in the diets of modern man formulated the basis of the requirements for sauces as functional products (Table 1) [4, 5].

Table 1

Requirements for sauces as functional products

Task	Ways to solve
Enrichment of the product with deficient substances in the diet	1) β -carotene, calcium, potassium, magnesium, phosphorus, iron and dietary fiber. 2) Nutrient content 10-30% of the average daily needs of the human body. 3) Organic sources of minerals.
Maximum absorption of nutrients, taking into account the mutual influence	1) Optimal absorption of calcium with sufficient intake of phosphorus, magnesium and vitamin D. 2) Improving the absorption of nutrients depends on the functioning of the intestine due to the influence of dietary fiber (prebiotics).
High consumer properties of the product	1) High organoleptic properties 2) Shelf life 3) Safety indicators

Summarizing the above, it is determined that the natural sources of functional ingredients (dietary fiber, minerals, vitamins), promising for use in the technology of sauce products, should include gum arabic, pectin, soy products and calcium supplements. Given the high nutritional value and pronounced therapeutic effect of the above dietary supplements, they should be considered a promising raw material for the production of functional foods, including sauces [6].

Composite mixture is a multicomponent system consisting of fine raw materials and characterized by low weight and volume with a high

dry matter content. The quality of the composition mixture for sauces is determined by the recipe composition and a number of interrelated processes that occur in the technological flow during the preparation of sauces [7].

An important requirement for the quality of both individual components and mixtures is their active interaction with water and long-term preservation of functional properties. Therefore, for substantiation and development of technology of composite mixtures rational modes of reception of a basis are established. The simulation found that the composite mixture of dietary supplements and sauces based on it is influenced by various factors: the concentration of hydrocolloids in the aqueous medium, the duration of hydration of polysaccharides and protein-fat additives, temperature and pH of the aqueous medium, duration of heat treatment and others. On the basis of the conducted researches modeling of a composite mix of dietary additives for sauces is carried out [8].

Mathematical and experimental methods based on physicochemical parameters of interaction of hydrocolloids, chemical composition determined the rational ratio in the compositional mixture of protein-fat supplement from soybean "Super" ECO, gum arabic, pectin and calcium lactate as 5:6:2:2.

When developing the composite mixture took into account the conditions and terms of its storage. To determine the shelf life, we took into account the shelf life of individual prescription components specified in the regulations, which were respectively for pectin – 12 months, gum arabic – 12 months, calcium lactate – 12 months, BJD – 6 months. The shelf life of BJD was decisive, under conditions of humidity $\varphi = 75\%$ at a temperature of $t = 18-20^{\circ}\text{C}$.

Further use of the composite mixture can be carried out in two directions: the production of sauces; packing, marking, storage. The use of composite mixture allows to reduce the technological process of production of sauces, expand the range, improve the quality of finished products. [9]

The composite mixture of dietary supplements is a homogeneous powder mass with a pleasant smell and taste of cream. Organoleptic characteristics of the mixtures are presented in table. 2.

Table 2

**Organoleptic characteristics of the composite mixture
of dietary supplements**

Indicator	Characteristics of composite mixtures
Appearance	Fine dry powder sprinkled with particles of protein-fat additive, the presence of easily destructive lumps is allowed
Color	Belongs to this type of mixture, from white with a cream tint to light yellow
Consistence	Powdered
Taste and smell	The taste of the mixture is pure, sweet with a creamy aftertaste.

The composite mixture is characterized by a significant content of nutrients: protein – 13.46, fat – 6.94, carbohydrates – 58.3, of which 49.8 – dietary fiber; minerals: K – 597 mg, Ca – 1742 mg, P – 217.3 mg, Mg – 81.6 mg, Fe – 5.5 mg, S – 88 mg, Mn – 1009.2 mcg, I – 3.1 mcg, Se – 4.1 mcg); vitamins: β -carotene – 0.03 mg, E – 6.87 mg, B1 – 0.35 mg, B2 – 0.08 mg, B3 – 0.65 mg, PP – 0.82 mg, folacin – 74.8 mcg, choline – 97.3 mg, biotin – 21.8 mg. The amino acid composition of the composite mixture of dietary supplements. [9]

The results of microbiological studies show that the indicators for the composite mixture are within the limits allowed by sanitary norms during storage (up to 6 months at a temperature of 18-20 ° C and relative humidity not exceeding 75%). BGKP, bacteria of the genus *Staphylococcus Aureus*, *Proteus*, *Salmonella* were not found in the composite mixture.

Due to the unfavorable environmental situation, great importance is attached to indicators that characterize the content of toxic elements. The content of lead (0.2 mg/kg), copper (0.18 mg/kg) and zinc (1.31 mg/kg) is within the permissible concentrations of 0.4, 0.6, 5.0 mg/kg, respectively. Cadmium, arsenic and mercury were not detected.

The results of research have shown that the composite mixture meets the requirements of regulatory documentation, and the actual content of toxic elements is less than the maximum allowable concentrations, which indicates the level of safety and recommends the developed products for implementation in restaurants and food industry [10].

To substantiate the technology of sauces based on the composite mixture, it is necessary to model the conditions of production of milk, white and sweet sauces. To model the technology of new sauces and study the rheological characteristics, we have identified food

heterogeneous systems: "milk – composite mixture", "broth – composite mixture", "plum puree – composite mixture", "apple juice – composite mixture".

The dependence of the effective viscosity of the food system for milk sauces at different shear rates at different concentrations (3-18%) of the composite mixture (CS) has been studied.

The studied milk-CS model systems are characterized as non-Newtonian fluids because they change the viscosity at different values of shear rates. A model dairy system with a composite mixture concentration of 3% at a shear rate of 69 s^{-1} has an effective viscosity of $0.41 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. In model systems with a concentration of the mixture of 6, 9, 12, 15, 18% under these conditions, the viscosity increases by 9, 21, 48, 74, 95%. Accordingly, at a concentration of 3% of the composite mixture at low values of the shear rate of 10 s^{-1} , the effective viscosity is $0.7 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ and increases by 19, 13, 71, 98% and 2.7 times, respectively.

Based on the experimentally obtained data, the dependences of the shear stress on the shear rates for the composite mixture of dietary supplements at different concentrations (3-18%) were constructed.

Shear stress at shear rates of 10 and 69 s^{-1} for the system "milk – CS" with a concentration of the composite mixture of 3% is 7.8 and 20.1 Pa, respectively. When the concentration of the composite mixture increases to 18%, the shear stress increases to 19.8 and 75.2 Pa, ie 2.5 and 3.7 times, respectively.

The dependence of the effective viscosity of the food system for white sauces at different shear rates at different concentrations (3-18%) of the composite mixture was studied.

Broth-CS model systems are also non-Newtonian. The broth-based model system with a composite mixture concentration of 3% at a shear rate of 69 s^{-1} has an effective viscosity of $0.37 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. In model systems with a concentration of composite mixture of 6, 9, 12, 15, 18%, the effective viscosity increases by 10, 35.2, 48.6, 62.2, 86.5%. At a concentration of 3% CS at low values of the shear rate of 10 s^{-1} , the effective viscosity is $0.63 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ and increases by 12.7, 42.8, 58.7, 130.4, respectively.

Based on the experimentally obtained data, the dependences of the shear stress of the broth-based system on the shear rates of the composite mixture of dietary supplements at different concentrations (3-18%) were constructed.

Shear stress at shear rates of 10 and 69 s^{-1} for a system based on broth with a concentration of the composite mixture of 3% is 7.1 and

21.7 Pa. When the concentration of the composite mixture increases to 18%, the shear stress increases to 17.1 and 66.3 Pa, respectively.

The dependence of the effective viscosity of the food system for fruit sauces, at different shear rates at different concentrations (3-18%) of the composite mixture. Model systems "plum puree – KS" with a concentration of the latter 3% at a shear rate of 68 s^{-1} has an effective viscosity of 0.09 Pa·s. In model systems with a concentration of composite mixture of 6, 9, 12, 15, 18% under these conditions, the viscosity increases by 2.1, 3.8, 3.9, 4.4, 5.05 times. Accordingly, at a concentration of 3% of the composite mixture at low values of the shear rate of 10 s^{-1} , the effective viscosity is 0.33 Pa·s and increases by 51.7%, 2.0, 2.4, 2.9, 3.6 times, respectively.

Based on the experimentally obtained data, the dependences of the shear stress of the broth-based system on the shear rates of the composite mixture of dietary supplements at different concentrations (3-18%). 3% is 3.1 and 6.1 Pa. When the concentration of the composite mixture increases to 18%, the shear stress increases to 4.5 and 4.6 times, respectively.

The dependence of the effective viscosity of the food system for sweet sauces at different values of shear rates and concentrations (3-18%). Shear stress at shear rates of 10 and 69 s^{-1} for a system based on broth with a concentration of the composite mixture of 3% is 7.1 and 21.7 PA. When the concentration of the composite mixture increases to 18%, the shear stress increases to 17.1 and 66.3 PA, respectively.

The dependence of the effective viscosity of the food system for fruit sauces, at different shear rates at different concentrations (3-18%) of the composite mixture. Model systems "plum puree – KS" with a concentration of the latter 3% at a shear rate of 68 s^{-1} has an effective viscosity of 0.09 Pa·s. In model systems with a concentration of composite mixture of 6, 9, 12, 15, 18% under these conditions, the viscosity increases by 2.1, 3.8, 3.9, 4.4, 5.05 times. Accordingly, at a concentration of 3% of the composite mixture at low values of the shear rate of 10 s^{-1} , the effective viscosity is 0.33 Pa·s and increases by 51.7%, 2.0, 2.4, 2.9, 3.6 times, respectively.

Based on the experimentally obtained data, the dependences of the shear stress of the broth-based system on the shear rates of the composite mixture of dietary supplements at different concentrations (3-18%). 3% is 3.1 and 6.1 Pa. When the concentration of the composite mixture increases to 18%, the shear stress increases to 4.5 and 4.6 times, respectively.

The dependence of the effective viscosity of the food system for sweet sauces at different values of shear rates and concentrations (3–18%) of the composite mixture is obtained. viscosity 0.22 Pa·s. In model systems with a concentration of the mixture of 6, 9, 12, 15, 18%, the effective viscosity increases by 9.2, 40.8, 80.3%, 2.45 and 2.8 times. Accordingly, at a concentration of 3% CS at low values of the shear rate of 10 s^{-1} , the effective viscosity is 0.9 Pa·s and increases by 11.6, 20.4, 32.4, 54.9, 61.8%, respectively.

The dependences of the shear stress of the apple juice-based system on the shear rates for the composite mixture of dietary supplements at different concentrations (3–18%) were constructed on the basis of experimentally obtained data. The shear stress at shear rates of 10 and 69 s^{-1} for the system based on broth with a concentration of COP 3% is 10.1 and 17.2 Pa. When the concentration of CS increases to 18%, the shear stress increases by 1.6 and 2.5 times, respectively.

The effective viscosity and shear stress of traditional sauces at a shear rate of 69 s^{-1} is for dairy 0.6 Pa·s and 45 Pa, white – 0.5 Pa·s and 40 Pa, plum – 0.4 Pa·s and 25 Pa, apple – 0.3 Pa·s and 35 Pa. The values of effective viscosity and shear stress of the experimental model systems of sauces are close to the control samples at a concentration of the composite mixture of 15%.

Since the composition of the CS includes calcium lactate, to confirm the reactivity of pectin substances with calcium salts is the molecular weight distribution of pectin substances in solution at different pH values. It is established (table that the composition of pectin is dominated by fractions with low molecular weight of 20–70 kDa, accounting for 63% of the total amount of pectin. The average molecular weight of pectin is 367 kDa. It is established that the presence of calcium lactate at pH 7.1–7.5 does not affect the increase in the average molecular weight of pectins, which indicates the absence of complexation and low stabilizing ability under these conditions. with a molecular weight of 2000 kDa (from 9.8% to 6.8%) and 1000 kDa (from 9.5% to 8.9%) with the accumulation of pectins with a molecular weight of 500 kDa (up to 19.2%) and 20 kDa (up to 25.3%) It was found that non-reactive calcium (at alkaline pH values) can be dissolved with decreasing pH, which leads to the formation of pectins in the presence of soluble pectins and stabilization of the heterogeneous system. Toron to values of 5.0–5.2, an increase in the average molecular weight (from 351 kDa to 522 kDa) was recorded, which is the result of the dissolution of calcium with decreasing pH. It is seen that the share of high molecular weight fractions of pectins increases with a simultaneous

decrease in the share of low molecular weight fractions with a molecular weight of 20–40 kDa. Thus, the content of fractions with a molecular weight of 2000 kDa (from 6.8% to 13.2%), 1000 kDa (from 8.9% to 12.8%), 110 kDa increases (from 7.7% to 12.0%). The increase in weight average molecular weight is the result of complexation of low molecular weight pectins through calcium bridges with the formation of complexes with a certain degree of polymerization in the form of calcium pectates, which is a necessary prerequisite for stability of heterogeneous structures. It is obvious that at a certain concentration of pectins in solution, this course of the reaction can lead to chemical changes with the formation of a gel-like system.

Table 4

Molecular weight distribution of pectin substances at different pH values

Molecular weight of markers, kDa	The content of fractions,% of the total		
	pectin solution	pectin solution with calcium lactate, pH = 7.1-7.5	pectin solution with calcium lactate, pH = 5.0- 5.1
20	10,6	25,3	11,0
40	21,2	19,2	14,4
70	31,2	12,9	17,2
110	9,5	7,7	12
500	8,2	19,2	19,4
1000	9,5	8,9	12,8
2000	9,8	6,8	13,2
Всього	100,0	100,0	100,0
\bar{M}_m	367	351	522

In order to establish the possible complexation between gum arabic and calcium in the solution, gel chromatography of gum arabic and gum arabic was performed in the presence of 2% calcium lactate. As a result of the molecular distribution of gum arabic and the gum arabic-calcium lactate system, eight fractions were identified. Dominant is the fraction with a molecular weight of 4.3 kDa (32%), fractions with molecular masses of 1.9 kDa and 1 kDa were found in amounts of 6.7% and 10.6%, respectively, high molecular weight fraction obtained with free volume. – more than 2000 kDa – is 0.8% of the total. The remaining fractions (49.9%) are classified by us as polysaccharides with a molecular weight of less than 1 kDa.

After the addition of calcium lactate, there is a decrease in the number of fractions to six. A decrease in the total area under the peaks was found. There is a decrease in the fraction with a molecular weight of more than 2000 kDa by 2.7 times, which is 0.3%, new fractions with a molecular weight of 3.2 kDa (50.3%) and 1 kDa (15.8%) were found. 2, curve 2), the content of the fraction with a molecular weight less than 1 kDa is 33.6%, which confirms the precipitating effect of calcium ions on high molecular weight fractions of gum arabic. The appearance of a fraction with a molecular weight of 4.3 kDa may be associated with the complexation of low molecular weight fractions with calcium ions. Thus, it was confirmed that calcium precipitation, which is achieved at pH 7.1–7.5, leads to an increase in the solubility of polysaccharides and a decrease in their molecular weight (Fig. 1).

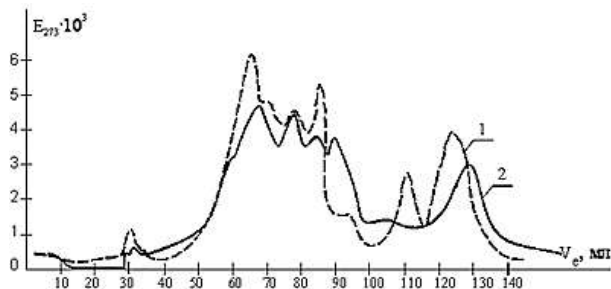


Fig. 1. Gel chromatography curves:
1 – gum arabic; 2 – gum arabic in the presence of calcium lactate

Confirmation of the formation of gum arabic complexes with low-esterified pectin is gel chromatography. A study of the molecular weight distribution of gum arabic in the presence of pectins at pH 7.1–7.5. The distribution of polysaccharides of gum arabic and pectin using a buffer ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 / \text{NaH}_2\text{PO}_4$), which maintains a pH of 7.4, obtained two peaks with molecular weights of 537 kDa and 10.5 kDa, the average molecular weight is 96 kDa. Their shares in the total composition of polysaccharides were 16.3% and 83.6%, respectively. The presence of a certain intermediate optical activity of the elution curve from the abscissa in the zone of high molecular weights indicates that there are fractions with molecular weights of about 500 kDa, which are difficult to separate. Comparing the distribution of gum arabic fractions in the presence of pectin with the distribution of gum arabic fractions, it is seen that the introduction of pectin leads to a significant increase in molecular weights of the

fractions recorded, which may be associated with intramolecular complexes between gum arabic and pectin. In order to determine the reactivity of gum arabic and pectin against calcium ions and possible complexation, 2% calcium lactate was introduced into the system containing gum arabic and pectin. Seven peaks were obtained under the same elution parameters: with molecular weights of 2000 and more kDa, 4.7 kDa, 2.4 kDa, 1.1 kDa and three fractions with molecular weights less than 1 kDa. Their share in the total composition was 3.0%, 32.3%, 12.7%, 12.5% and 39.5%, respectively (Fig. 2). This distribution of molecular weights is close to the distribution of gum arabic, which indicates the absence of the precipitating effect of calcium ions on gum arabic, which also confirms the preservation of the potential of pectins to complex formation.

Thus, it can be argued that calcium ions in the presence of gum arabic will react with pectins, forming calcium pectates, thus stabilizing the colloidal system. In order to establish the complexation between gum arabic, pectins and calcium lactate by lowering the pH value, which is a necessary condition for calcium dissolution, a study of the molecular weight distribution of gum arabic when the pH drops to 5.0-5.2. As a result of the distribution, two peaks with molecular masses of 762 kDa (99%) with high optical activity (Fig. 2, curve 3) and 1.1 kDa (1%) were obtained, which indicates the formation of intermolecular gum-pectin complexes. The molecular weight increases from 89 kDa to 761 kDa, which is evidence of the formation of complexes (gum arabic – pectin – calcium lactate).

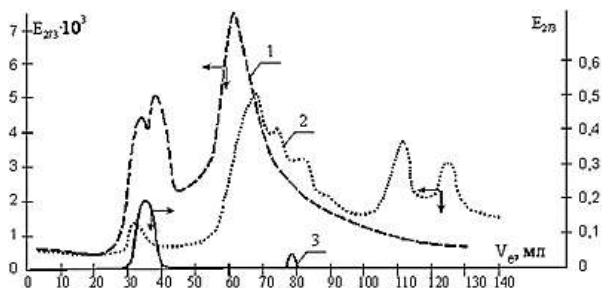


Fig. 2. Gel chromatography curves: 1 – solution containing gum arabic (6%) and pectin (2%) (pH = 7.1-7.5); 2 – solution containing gum arabic (6%), pectin (2%) and calcium lactate (2%) (pH = 7.1-7.5); 3 – solution containing gum arabic (6%) and pectin (2%) (pH = 5.0-5.2)

A study of the interaction of gum arabic with calcium lactate at a concentration of 1-3%. Analyzing the IR spectra in the range 3300 – 3380 cm^{-1} , it was found that the addition of calcium lactate in these quantities does not reduce the absorption band -OH groups, which could only be the case when the hydroxyl groups could bind to dynamic bonds. ligaments with calcium ions. This is indirect evidence that at these concentrations, calcium lactate is not a dehydrating agent relative to gum arabic and does not significantly affect the conformation of molecules in the solvent.

The simultaneous presence of these absorption bands is a confirmation of the presence of impurities of nitrogen-containing substances. Under these conditions, the addition of calcium lactate may lead to "oxygen-metal" bonds, which can significantly affect the structure. At the same time, it is possible to replace divalent metals with monovalent metals, resulting in interchain depolymerization and, as a consequence, increased mobility of polysaccharide monochains, which may be the cause of greater compaction of the structure of complexes.

2. Development of technology of sauces of functional purpose with dietary supplements

On the basis of the conducted researches the rational concentration of the composite mixture of dietary supplements (KSDD) and the ratio of other prescription components in sauces were determined. After testing the technology, formulations of milk sauce "Sunny" and white "Balance", technological schemes of their production were developed.

The technology of "Solar" sauce consists of the following stages:

And the stage. Hydration of the composite mixture. Hot milk or a mixture of milk and water is gradually poured into the composite mixture. The mass is brought to a boil, stirring constantly to prevent the formation of lumps, and boil for 4-5 minutes.

Stage II. The technology of making puree. Pre-prepared pumpkin, carrots, celery roots are boiled to readiness, crushed and ground to obtain a puree.

Stage III. Combining prescription components. The brewed composite mixture is combined with vegetable puree in a ratio of 2:1 and mixed to form a homogeneous mass and boiled for 2-3 minutes.

The technological process of production of Balance sauce is carried out in the following sequence: a quarter of hot broth or vegetable broth from onion, parsley root or celery is gradually poured into the composition mixture and butter is added. Mix thoroughly. Then

gradually pour the remaining liquid and boil for $4.2 \cdot 10^2 - 6.0 \cdot 10^2$ s. At the end of cooking add salt, black pepper peas, bay leaf. The sauce is filtered, grind boiled vegetables, and bring to a boil. The finished sauce is used to prepare derived sauces. If the sauce is used alone, it is seasoned with citric acid and butter.

The technology of sweet fruit sauces "Highlander", "Rainbow" has been developed. The technological process of production of Highlander sauce is carried out in the following sequence: fresh plums are cut in half and boiled, adding water until the plums boil. Then remove the skin and bone, then grind the mass to a puree-like consistency and boil for 30 minutes. on low heat. In technology, fresh plums can be replaced with plum puree. Chopped garlic, dill, coriander, mint, pepper, salt and the composition mixture are added to the mashed mass and heated, stirring, for $4.2 \cdot 10^2 - 6.0 \cdot 10^2$ s. The sauce is filtered and served.

The technology of production of "Rainbow" sauce consists of the following operations: peeled, sliced apples with peel are filled with hot water and left for 6-8 minutes. in a closed container until ready. Then grind to a puree-like consistency. You can use apple puree in technology. Add sugar, citric acid and a composite mixture based on BJD "Super" ESO, gum arabic "Fibregum", pectin "GRINDSTED YF 738", calcium lactate E327. Add sugar, cinnamon and bring to a boil. Strain and serve.

The use of a composite mixture of dietary supplements in the production of milk, white, fruit and sweet sauces allows to expand the range of sauce products for functional purposes of high nutritional value.

3. Quality and safety of functional sauces with dietary supplements

To conduct organoleptic evaluation of sauce products, a method of evaluation on a 10-point scale was developed. The organoleptic properties of sauces were studied using a composite mixture of dietary supplements, compared with traditional sauces.

Based on the generalization of expert assessments, it was found that the organoleptic characteristics of the developed sauces are at the level of control. Both control and test samples were characterized by fragrant odor and pronounced color, characteristic of the main raw material. Experts gave the developed sauces a slightly lower rating in terms of appearance compared to the control (0.8-1.0 points). However, the sauces were characterized by fairly high organoleptic characteristics. Based on the generalization of the results of tastings, it was found that the average organoleptic evaluation of the developed sauces is lower than the control by 0.15-0.30 points. On a ten-point

scale, the quality of control and experimental samples can be characterized by a high organoleptic evaluation. [13]

An important characteristic of the quality of sauce products using a composite mixture are physico-chemical parameters (Table 4).

Table 4

Physico-chemical characteristics of sauce products

Indexes	Control	Experiment	Deviation,%
Sauce	"Lactic"	"Solar"	
Dry matter content,%	14,2±0,53	16,6±0,62	16,90
Acidity, pH	7,1±0,36	7,0±0,35	-1,41
Free moisture,%	16,3±0,75	13,6±0,62	-16,56
Bound moisture,%	83,7±1,62	86,4±1,42	3,23
Effective viscosity at $\gamma = 69\text{s}^{-1}$, Pa·s	0,6±0,03	0,59±0,03	1,5
Sauce	"White"	"Balance"	
Dry matter content,%	15,6±0,51	18,1±0,47	16,03
Acidity, pH	4,5±0,17	4,5±0,19	0
Free moisture,%	13,4±0,42	11,3±0,39	-15,67
Bound moisture,%	84,6±3,12	88,7±3,03	4,85
Effective viscosity at $\gamma = 69\text{s}^{-1}$, Pa·s	0,5±0,03	0,52±0,03	4,0
Sauce	"Tkemali"	"Highlander"	
Dry matter content,%	13,5±0,41	14,4±0,34	6,67
Acidity, pH	7,3±0,31	7,3±0,28	0,00
Free moisture,%	17,1±0,56	12,9±0,42	-24,56
Bound moisture,%	82,9±2,12	87,1±2,38	5,07
Effective viscosity at $\gamma = 69\text{s}^{-1}$, Pa·s	0,4±0,02	0,42±0,02	5,0
Sauce	"Apple"	"Rainbow"	
Dry matter content,%	16,1±0,61	17,0±0,63	5,59
Acidity, pH	4,5±0,17	4,5±1,6	0,00
Free moisture,%	14,8±0,44	10,8±0,41	-27,03
Bound moisture,%	85,2±3,48	89,2±3,51	4,69
Effective viscosity at $\gamma = 69\text{s}^{-1}$, Pa·s	0,3±0,02	0,31±0,02	3,0

The increase in dry matter content is due to the increase in the mass fraction of structurant (CS), which is positive because the main share is dietary fiber. Moisture in sauces remains mainly in a bound state not only due to the dry matter retention of constituent components, but

also due to the ability of polymers and reactants (pectin, gum arabic, calcium lactate) to swell and retain free moisture in the spatial framework. polymer complexes. The state of water in experimental and control sauces was experimentally determined.

Analysis of wood charts shows a change in the specific content of free and bound moisture in the developed sauces: the share of free moisture in the total mass decreases, bound – increases. It is established that the ratio of free and bound moisture in the control and experimental samples differs, because instead of flour and starch, a composite mixture of dietary supplements is used.

Analysis of changes in the fractional composition of water shows that simultaneously with the increase in dry matter content in the developed sauces there is an increase in the specific content of bound water – the ratio of bound water to the dry matter mass of sauces (Table 5).

Table 5

Specific content of bound water in sauce products

Samples of sauces	The ratio of components, % by weight		Specific content of bound water, g (water) / g (dry matter)
	dry matter	water	
"Dairy" (control)	14,2±0,53	85,8±3,61	6,04±0,27
"Solar" (experiment)	16,6±0,62	83,4±3,24	5,02±0,21
"White" (control)	15,6±0,51	84,4±3,55	5,41±0,24
"Balance" (experiment)	18,1±0,47	81,9±3,18	4,52±0,23
Tkemali (control)	13,5±0,41	86,5±3,11	6,41±0,29
"Highlander" (experiment)	14,4±0,34	85,6±3,17	5,94±0,23
"Apple" (control)	16,1±0,61	83,9±3,09	5,21±0,20
"Rainbow" (experiment)	17,0±0,63	83,0±3,32	4,88±0,19

It has been experimentally established that the specific content of bound moisture in sauces increases: "Solar" by 16.8, "Balance" – 16.3, "Highlander" – 7.2, "Rainbow" – 6.3% compared to the corresponding values of control samples. The increased specific content of bound water in the test samples compared to the control samples can be explained by the complex action of hydrocolloids present in the composition of the composition compared to wheat flour and starch, which are used in the control samples.

The humidity of the developed sauces decreases in the range of 1.0 – 3.1%. It is possible to keep moisture in new sauces due to the use of a composite mixture of dietary supplements (BJD, gum arabic, pectin, calcium lactate), which in complex use are able to form a polymer framework. The presence of milk and butter also contributes to better moisture retention. This is due to the formation of new active centers for the binding of water, which are formed by the combination of proteins of butter and milk with substances of polysaccharide nature.

Given the higher ability of polysaccharides to hydrate than BJD, we can assume that the formation of moisture-retaining ability of sauces belongs more to polysaccharides than proteins. Thus, the increase in moisture retention in the developed sauces is due to changes in the quantity and quality of hydrogen bonds, increasing the number of hydrophilically active centers, retention of free moisture in the three-dimensional framework of polymer hydrocolloids. This, in turn, reduces the mobility of water molecules in the developed sauces. The acidity of the experimental sauces, which is at the level of control samples, was studied. [14]

Studies of the rheological parameters of sauces have confirmed the improvement or compliance of the control of the following rheological indicators: aggregative and kinetic stability, thixotropy and thermal stability of new sauce products.

It was found that the effective viscosity of the developed sauces at $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ is higher compared to the control samples, which is a consequence of the increase in dry matter content (Table 6). Thus, the sauce "Solar", made on the basis of the composite mixture, contains dry matter 16.6 ± 0.62 ($P \leq 0.05$) and has an effective viscosity (at $\gamma = 69\text{s}^{-1}$) – 0.59 ± 0.03 Pa·s, which is 16.9% and 1.5% lower than the control. Balance sauce contains dry substances 18.1 ± 0.47 ($P \leq 0.05$), and the effective viscosity (at $\gamma = 69\text{s}^{-1}$) is 0.52 ± 0.03 , which is 16% and 4% above control. A similar trend is observed for Highlander and Rainbow sauces: they contain 14.4 ± 0.34 and 17 ± 0.63 dry matter, and the effective viscosity (at $\gamma = 69\text{s}^{-1}$) is 0.42 ± 0.02 and 0.31 ± 0.02 Pa·s ($P < 0.05$), which is 6.6–7.0% by dry matter content and 5% and 3% by effective viscosity higher than control samples in accordance.

Table 6

Rheological characteristics of sauce products

Indexes	Control	Experiment	Deviation,%
Sauce	<i>"Lactic"</i>	<i>"Solar"</i>	
Aggregative stability,%	96,1±1,4	99,3±0,7	3,3
Kinetic stability,%	98,0±1,6	99,2±0,8	1,2
Thixotropy,%	76,1±1,2	81,1±1,6	6,6
Thermal stability,%	72,5±1,3	79,4±1,9	9,5
Sauce	<i>"White"</i>	<i>"Balance"</i>	
Aggregative stability,%	96,3±1,8	98,4±1,9	2,2
Kinetic stability,%	98,1±1,4	99,2±2,1	1,1
Thixotropy,%	74,1±2,5	79,6±2,1	7,4
Thermal stability,%	71,1±2,1	76,2±2,1	7,2
Sauce	<i>"Tkemali"</i>	<i>"Highlander"</i>	
Aggregative stability,%	99,9±0,1	99,9±0,1	0,0
Kinetic stability,%	93,1±2,4	97,2±2,9	4,4
Thixotropy,%	78,3±2,1	82,6±2,0	5,5
Thermal stability,%	73,1±1,6	76,2±1,7	4,2
Sauce	<i>"Apple"</i>	<i>"Rainbow"</i>	
Aggregative stability,%	99,9±0,1	99,9±0,1	0,0
Kinetic stability,%	91,1±2,2	96,2±2,7	5,6
Thixotropy,%	76,2±2,8	83,1±2,9	9,1
Thermal stability,%	74,8±2,1	79,6±2,2	6,4

The effective viscosity of the developed sauces before and after heat treatment at a shear rate of 10 s^{-1} for Molochny sauce was 1.95 and 1.52, White – 1.38 and 1.13, Tkemali – 1.81 and 1.43, Apple – 2.83 and 2.31 Pa·s. The same figure was at the same shear rate in the experimental sauce systems: "Solar" – 2.05 and 1.73, "Balance" – 1.38 and 1.21, "Highlander" – 1.82 and 1.55, "Rainbow" – 2.84 and 2.56 Pa. in accordance.

Thus, the results of research show that the developed sauces in terms of organoleptic, physicochemical, effective viscosity, thixotropy, sedimentation and aggregation resistance meet the requirements for sauce products.

Experimental data show that the use of traditional vegetable raw materials in the technology of sauces and the introduction of non-traditional raw materials – dietary supplements (protein-fat supplements, gum arabic, pectin and calcium lactate), which contain biologically active substances, cause positive changes in the chemical composition of the finished food [15].

The study of the nutritional value of sauce products using a composite mixture of dietary supplements showed that the amount of protein, fat and carbohydrates of polysaccharide structure increases compared to the control (Table 7).

It is experimentally established that the total protein content increased in sauces: "Sunny" – 2.3 times, "Balance" – 2.5 times, "Highlander" – 3 times, "Rainbow" – 3.8 times compared to the control (the difference with the control is significant) (Table 15). There was an increase in fat content by 9.7%, 14.2%, by 1.84 g, and 1.81 g in the developed sauces, according to the control (the difference with the control is significant).

The increase in protein, fat and carbohydrates in the new sauces is due to the use in the technology of a composite mixture of dietary supplements. The content of the carbohydrate component also increased: in sauces "Sunny" – by 63.7%, "Balance" – 86.0%, "Highlander" – 23.9%, "Rainbow" – 15.3%.

Table 7

Nutritional and energy value of sauces using a composite mixture

Sauce	Indexes				
	Water	Proteins	Jury	Carbohydrates	Energy value, kCal
"Lactic"	85,80±1,32	2,00±0,08	6,00±0,11	7,04±0,31	92,86±2,52
"Solar"	83,40±1,21	4,74±0,11*	6,58±0,12*	11,53±0,35*	127,90±4,45
"White"	84,40±1,54	1,27±0,05	2,89±0,05	5,43±0,21	54,35±1,56
"Balance"	81,80±1,34	3,20±0,13*	3,30±0,04*	10,10±0,23*	85,22±2,45
Tkemali	86,50±1,52	0,8±0,01	0,10±0,003	14,2±0,34	62,43±1,45
"Highlander"	85,60±1,65	2,36±0,05*	1,85±0,03*	17,60±0,38*	99,04±3,1
"Apple"	83,90±1,82	0,60±0,01	0,10±0,003	22,10±0,42	94,00±2,57
"Rainbow"	83,00±1,67	2,15±0,05*	1,82±0,03*	25,50±0,45*	130,29±4,32

There was an increase in the energy value of new sauces: "Sunny" – by 37.7%, "Balance" – 56.8%, "Highlander" – 58.6%, "Rainbow" – 38.6% compared to control due to the use of a composite mixture of dietary supplements, which will adjust energy the value of meals and diets.

Experimentally, 18 amino acids were identified in the protein, with the total number of essential amino acids for sauces: "Sunny" – 41.0%, "Balance" – 37.3%, "Highlander" – 32.0%, "Rainbow" – 35, 9% of their total number, which characterizes the sauce products as a product of high biological value (Table 8).

The biological value of a protein at the amino acid rate was assessed by comparing it with the amino acid rate of the "ideal protein". Analysis of the data shows that the level of amino acids relative to the ideal protein decreases the amino acid rate of methionine + cystine (Soy

sauce – up to 94.3, "Balance" – 91.4, "Highlander" – 79.1, "Rainbow" – 79.1 and "Rainbow" – 87.7 and threonine "Highlander" – 87.0).

Table 8
Characteristics of the amino acid composition of sauces based on a composite mixture of dietary supplements

Name of amino acids	FAO / WHO scale	Sunny Sauce		Balance Sauce		Highlander Sauce		Rainbow Sauce	
	mg / 1 g of protein	mg / g protein	Amino acid speed	mg / g protein	Amino acid speed	mg / g protein	Amino acid speed	mg / g protein	Amino acid speed
Leucine + isoleucine	110,0	142,0	129,1	132,0	120,0	110,9	100,8	127,7	116,1
Lysine + histidine	55,0	102,0	185,5	91,0	165,5	78,0	141,8	88,9	161,6
Valine	50,0	60,0	120,0	60,0	120,0	52,7	105,4	58,3	116,6
Tryptophan	10,0	16,0	160,0	16,0	160,0	13,6	136,0	12,7	127,0
Threonine	40,0	46,0	115,0	42,0	105,0	34,8	87,0	40,1	100,3
Phenylalanine + tyrosine	60,0	99,0	165,0	79,0	131,7	68,0	113,3	74,3	123,8
Methionine + cystine	35,0	33,0	94,3	32,0	91,4	27,7	79,1	30,7	87,7

For biologically complete proteins, not only the presence of all essential acids is essential, but also their balance. To determine the balance of essential amino acids, calculations were performed according to existing methods using "tryptophan" and "threonine" indices (Tables 9, 10).

Table 9
Balance of essential amino acids of sauces based on a composite mixture of dietary supplements according to the "tryptophan" index

Name of amino acids	FAO / WHO standard scale	Sunny Sauce	Balance Sauce	Highlander Sauce	Rainbow Sauce
Threonine	2-3	2,88	2,63	2,56	3,16
Lysine + histidine	3-5	6,38	5,69	5,81	7,00
Valine	4	3,75	3,75	3,88	4,59
Leucine + isoleucine	7-10	8,88	8,25	8,15	10,06
Phenylalanine	2-4	3,25	2,94	3,04	3,53
Methionine	2-4	1,38	1,00	1,08	1,14
Tryptophan	1	1,00	1,00	1,00	1,00

The results of the calculation of amino acid balance in sauces by determining the "tryptophan" index show that the ratio is not enough valine and methionine (in the rainbow sauce valine is more than normal), but the protein is overloaded with lysine and histidine. According to the "tryptophan" index, the protein is balanced.

Table 10

Balance of essential amino acids of sauces based on a composite mixture of dietary supplements on the "threonine" index

Name of amino acids	FAO / WHO standard scale	Sunny Sauce	Balance Sauce	Highlander Sauce	Rainbow Sauce
Threonine	1	1,00	1,00	1,00	1,00
Lysine + histidine	1,1	2,22	2,17	2,27	2,22
Valine	1,5	1,30	1,43	1,51	1,45
Leucine + isoleucine	3,1	3,09	3,14	3,19	3,18
Phenylalanine	1,1	1,13	1,12	1,19	1,12
Methionine	0,7	0,48	0,38	0,42	0,36
Tryptophan	0,25	0,35	0,38	0,39	0,32

The results of the calculation of amino acid balance in sauces by the definition of the "threonine" index show that the ratio is not enough valine (exception – Highlander sauce) and methionine, but the protein is overloaded with lysine + histidine and tryptophan. According to the "threonine" index, the protein is balanced.

In the production of traditional and developed sauces, we used butter, a composite mixture of dietary supplements, wheat flour of the highest grade, which contain a significant proportion of fat. In this regard, the fatty acid composition of lipid fractions of sauce products was determined. Of particular interest in the study of fatty acid composition is the presence of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids.

The analysis of the obtained data showed that saturated fatty acids are dominant for the sauce "Sunny" and "Balance": 66.4% and 59.9% of the total fat, the predominant of which are palmitic – 26.4 and 25.2%, stearic – 11.6 and 11.3% and myristic – 8.6 and 7.8%. This content of saturated fatty acids is mainly due to the fact that sauces contain butter. Among monounsaturated and polyunsaturated, oleic acid dominates – 26.6 and 25.9% and lenoleic – 10.7 and 13.5% of the total fatty acids. Polyunsaturated and monounsaturated fatty acids dominate in Goretts and Veselka sauces: linoleic – 48.7 and 53.3%, oleic – 30.3 and 22.6%,

respectively. Saturated fatty acids are represented mainly by palmitic – 10.8 and 12.3% and stearic – 3.5 and 3.8% of the total fatty acids. At the same time, the quantitative and qualitative composition of carbohydrates in the developed sauces changes structurally: the amount of dietary fiber increases (Table 11).

The content of polysaccharides in the developed sauces increases: "Sunny" – 2.2 times, "Balance" – 2.2 times, "Highlander" – 3 times, "Rainbow" – 2.8 times. Polysaccharides are a significant amount of carbohydrates in sauce products, the bulk of which, in control samples, is starch. The composite mixture of dietary supplements contains significantly less starchy substances than wheat flour and starch. Therefore, with the complete replacement of high-grade flour and starch by the composite mixture, the experimental samples show a decrease in starch by 83%, 71%, 91%, 91% compared to the control and the amount of dietary fiber increases by an order of magnitude.

Of particular note is the increase in the amount of dietary fiber in the experimental samples compared to control: by 7.4 g – in sauces "Sunny" and "Balance", 7.3 and 7.2 g – "Highlander" and "Rainbow", respectively. This is mainly due to the increase in the content of pectin and gum arabic, which are contained in the composite mixture.

Table 11
The composition of polysaccharides of sauce products based on the composite mixture

Sauce	The total number	Mono- and disaccharides	Starch and dextrins	Dietary fiber
"Lactic"	7,04±0,21	3,37±0,11	3,57±0,11	0,1±0,004
"Solar"	11,53±0,32	3,42±0,13	0,61±0,02	7,5±0,23
"White"	5,43±0,11	1,49±0,05	3,84±0,10	0,1±0,004
"Balance"	10,1±0,22	1,48±0,05	1,12±0,03	7,5±0,22
Tkemali	14,2±0,23	11,5±0,43	2,1±0,04	0,6±0,01
"Highlander"	17,6±0,33	9,5±0,33	0,2±0,01	7,9±0,21
"Apple"	22,1±0,85	19,2±0,62	2,1±0,06	0,8±0,01
"Rainbow"	25,5±0,97	17,3±0,58	0,2±0,005	8,0±0,31

Minerals play an important role in the metabolic processes of the human body. They are included as a plastic material in the supporting tissues bones, cartilage, teeth, are involved in hematopoiesis (iron, cobalt, copper, manganese, nickel); affect water metabolism, affect the osmotic pressure of blood plasma, are part of a number of hormones,

vitamins and enzymes. Enrichment of sauce products with minerals through the use of natural raw materials, which contain a significant amount of them, is of great social importance.

It should be noted that a necessary condition for the developed sauces is the ability to enhance the protective functions of the human body, due to the increased amount of certain minerals. In this regard, the use of a composite mixture of dietary supplements in the technology of sauces affects the improvement of their nutritional value (increase in the content of minerals in their composition) (Table 12).

Table 12

The content of minerals in functional sauces

Sauce	Potassium, mg/100 g	Calcium, mg/100 g	Magnesium, mg /100 g	Phosphorus, mg/100 g	Iron, mg/100 g
Milk Sauce	151,4±4,3	112,9±3,4	18,9±0,4	103,0±3,1	392,1±7,4
Sunny sauce	284,0±5,7	376,0±7,6	31,9±0,1	103,2±3,1	3491,4±8,8
The difference,%	87,6	233,0	68,6	0,2	794,9
White sauce	20,0±0,5	4,0±0,1	6,3±0,1	21,1±0,6	300,2±9,5
Balance Sauce	85,9 0±2,1	269,0±8,1	12,0±0,1	32,9±0,7	810,3±10,3
The difference,%	329,5	6640,6	91,7	56,3	170,0
Tkemali Sauce	214,0±6,5	20,0±0,5	9,0±0,1	20,0±0,6	500,2±13,6
Highlander sauce	268,0±6,8	295,4±6,9	19,7±0,2	49,0±1,8	1225,6±18,5
The difference,%	24,8	1376,8	118,3	144,8	145,0
Apple Sauce	124,0±3,8	12,0±0,3	7,0±0,1	17,0±0,3	1301,3±15,9
Rainbow Sauce	190,6±4,3	290,4±9,1	19,0±0,8	49,0±1,8	2104,8±24,6
The difference,%	53,7	2319,6	171,4	187,9	61,5

Analyzing the quantitative composition of micro- and macronutrients, it should be noted an increase in potassium (in the sauce "Sunny" - 1.9 times, "Balance" - 4.3 times, "Highlander" - 1.25 times, "Rainbow" - 1.54 times), calcium ("Sunny" - 3.3 times, "Balance" - 265 mg, "Highlander" - 14.7 times, "Rainbow" - 24 times), magnesium "Sunny" - 1.7 times, "Balance" - 1, 9 times, "Highlander" - 2.2 times, "Rainbow" - 2.7 times), phosphorus "Solar" - at the level of control, "Balance" - 1.6 times, "Highlander" - 2.5 times, "Highlander" - 2.5 times, "Rainbow" - 2.9 times), iron (" Sunny" - 9 times, " Balance" - 2.7 times, " Highlander" - 2.2 times, " Rainbow" - 1.6 times) on control, which is important because it helps to increase immunity and resistance organism to adverse environmental factors.

With increasing mineral content in sauces, the satisfaction of the daily needs of the human body in certain nutrients increases (Table 13).

Table 13

Satisfaction of daily demand for mineral elements when consuming 100 g of sauce products

Sauce	Satisfaction of daily needs,%				
	Potassium, mg / 100 g	Calcium, mg / 100 g	Magnesium, mg / 100 g	Phosphorus, mg/100 g	Iron, mg/100 g
Age requirement	2000,0	1200,0	300-350,0	800-1200,0	15,0
Milk sauce (control)	7,6	9,4	5,4	10,6	2,6
Solar sauce (experiment)	14,2	31,3	10,1	10,6	23,3
White sauce (control)	1,0	0,3	1,8	1,8	2,0
Balance sauce (experiment)	4,3	22,4	3,4	2,7	5,4
Tkemali Sauce (Control)	10,7	1,7	2,6	1,7	3,3
Highlander sauce (experiment)	13,4	24,6	5,6	4,1	10,2
Apple Sauce (Control)	6,2	1,0	2,0	1,4	8,7
Rainbow Sauce (experiment)	10,5	24,2	5,4	4,1	14,0

The study of mineral composition determined that the developed sauces have a higher content of macro- and microelements compared to traditional analogues and the quantitative content of minerals can be attributed to functional products. They can be recommended for use in health and preventive nutrition for all segments of the population as functional foods.

Analysis of the vitamin composition of the developed sauces revealed an increase in vitamins in sauces: "Solar" (niacin – 33%, thiamine – 45.5%, riboflavin – 18%, ascorbic acid – 154%, carotenoids – 4.2 times compared to control), "Balance" (niacin – by 40.0%, thiamine – 104.0%, riboflavin – 36.0%, ascorbic acid – 55.0%, carotenoids – by 23%), "Highlander" (niacin – by 85.0%, thiamine – 83.3%, riboflavin – 2.1 times, ascorbic acid – 7%, carotenoids – 2.3 times), "Rainbow" – niacin – 2.4 times, thiamine – 6.3 times, riboflavin – 60.0%, ascorbic acid – by 7%, carotenoids – 2.3 times, respectively) (Table 14).

The increased content of vitamins and vitamin-like compounds (carotenoids, thiamine, niacin, riboflavin, ascorbic acid) in the test samples is due to the presence in their composition of a composite mixture of dietary supplements.

Table 14

**Content of vitamins and vitamin-like substances
in sauce products**

Sauce	Indexes				
	Carotenoids , mg / 100g	Thiamine (B1), mg / 100g	Riboflavin (B2), mcg / 100g	Niacin (PP), mg / 100g	Ascorbic acid (C), mg / 100g
Milk Sauce	0,140±0,001	0,055±0,001	0,143±0,002	0,200±0,002	1,300±0,03
Sunny sauce	0,605±0,002	0,080±0,001	0,169±0,002	0,266±0,002	3,30±0,09
The difference,%	1400,0	45,5	18,2	33,0	153,8
White sauce	0,130±0,001	0,025±0,001	0,013±0,001	0,100±0,001	0,200±0,007
Balance Sauce	0,160±0,001	0,051±0,00	0,017±0,001	0,140±0,001	0,310±0,01
The difference,%	23,1	104,0	36,0	40,0	55,0
Tkemali Sauce	0,100±0,001	0,060±0,0011	0,010±0,001	0,600±0,02	1,600±0,027
Highlander sauce	0,230±0,002	0,110±0,001	0,021±0,002	1,110±0,03	1,710±0,03
The difference,%	130,0	83,3	110,0	85,0	6,9
Apple Sauce	0,100±0,001	0,010±0,001	0,020±0,002	0,380±0,009	1,800±0,039
Rainbow Sauce	0,230±0,002	0,063±0,002	0,032±0,002	0,920±0,02	1,920±0,04
The difference,%	130,0	530,0	60,0	142,1	6,7

It should be emphasized that the daily requirement of vitamins due to new sauces is possible: carotenoids – up to 20%, thiamine, niacin, riboflavin, ascorbic acid – up to 10%. According to the generalized results of experimental research, it was found that the developed sauces "Sunny", "Balance", "Highlander" and "Rainbow" have a higher content of vitamins and vitamin-like substances than traditional sauces. Thus, increasing the content of the above vitamins in sauces using a composite mixture of dietary supplements allows us to predict that the new sauce products will increase immunity and resistance to adverse environmental factors.

Due to the high moisture content, sauces are a favorable environment for the development of microflora. Given the rapid deterioration of raw materials and favorable natural conditions for the development of microflora in sauces, high moisture content (80-90%), control of total microbiological contamination and detection of pathogenic bacteria is a mandatory step in the study of sauces.

It has been found that the moisture in the sauces is mainly in a bound state as a result of the use of complexing substances – a

composite mixture of dietary supplements that helps reduce water activity and the speed of physico-chemical reactions. Due to the variety of processes that occur during storage of sauces, the degree of freshness was determined by organoleptic and microbiological indicators, given that changes in the quality of sauces in laboratory research are better than in sensory analysis.

To determine the microbiological safety of new sauces based on the composite mixture, the total number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (MAFANM) in 1 g of finished product, the presence of *Escherichia coli* bacteria and other microorganisms was determined experimentally. The control was served by sauces made by traditional technology (according to microbiological indicators must meet the requirements of IBC № 5061, GSTU 18.06. When studying the shelf life of the developed sauces, it was found that the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms after storage ($t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 24 h) is $1.86\text{--}2.07 \cdot 10^2$, which is 6–9% less compared to the control. Sauces after storage for 48 hours. also meet the requirements for microbiological standards of food safety.

In our opinion, increasing the proportion of dry matter and bound moisture helps to increase the osmotic pressure and slow down the growth of microorganisms. Bound moisture, in contrast to free, is inaccessible to microorganisms, so with a decrease in the proportion of free moisture or its transfer to the bound development of the microflora in food is suppressed. As a result of research of control and research samples of sauces of organophosphorus pesticides it is not revealed. According to the content of heavy metals, functional sauces correspond to IBC № 5061 (Table 15).

Table 15

Content of heavy metals and arsenic in sauce products

Name sauce	Heavy metal content, mg / kg					
	Lead (Pb)	Cadmium (Cd)	Arsenic (As)	Copper (Cu)	Mercury (Hg)	Zinc (Zn)
"Lactic"	0.02	Not found	Not found	0.10	Not found	0.40
"Solar"	0.02	Not found	Not found	0.05	Not found	0.42
"White"	0.03	Not found	Not found	0.11	Not found	0.51
"Balance"	0.03	Not found	Not found	0.12	Not found	0.53
Tkemali	0.03	Not found	Not found	0.12	Not found	0.60
"Highlander"	0.03	Not found	Not found	0.12	Not found	0.50
"Apple"	0.02	Not found	Not found	0.12	Not found	0.40
"Rainbow"	0.02	Not found	Not found	0.11	Not found	0.36

The results of the study showed that the microbiological parameters of both control samples and developed sauces of functional purpose during the established shelf life met the "Medico-biological requirements and sanitary standards of quality of food raw materials and food products" № 5061 from 01.08.89, which indicates safety of new sauces within the shelf life. Storage conditions of the developed sauces ($t = 4^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 75\%$, $T \leq 24$ h) were established. A positive conclusion of the state sanitary-epidemiological examination was obtained for functional sauces № 05.03.02-06 / 43755 dated 17.07.2009

One of the main indicators of product quality during storage are organoleptic. The organoleptic parameters of freshly prepared and after 6, 12 and 24 h storage in control and developed sauces using a composite mixture were studied. [16]

The first 6 hours of storage of sauces had almost no effect on the organoleptic characteristics of control and experimental samples. Organoleptic evaluation for freshly made control samples of sauces was: "Dairy" – 8.77 ± 0.15 , "White" – 8.78 ± 0.15 , "Tkemali" – 8.79 ± 0.15 , "Apple" – 8.80 ± 0.15 points; for experimental: "Solar" – 8.54 ± 0.18 , "Balance" – 8.61 ± 0.18 , "Highlander" – 8.51 ± 0.18 , "Rainbow" – 8.56 ± 0.18 points. After 12 hours of storage, the organoleptic evaluation of traditional sauces was respectively: 8.75 ± 0.15 , 8.76 ± 0.15 , 8.74 ± 0.15 , 8.55 ± 0.18 points, and experimental 8.54 ± 0.18 , 8.61 ± 0.18 , 8.50 ± 0.18 , 8.55 ± 0.18 . The decrease in organoleptic evaluation of all indicators during storage of sauces for 12 hours was mainly by 0.61-0.72 points in both control and experimental samples. After 24 h of storage, the organoleptic characteristics of the control and experimental sauces decreased by 0.65-0.73 points compared to the samples stored for 12 hours.

It is noted that the values of organoleptic evaluation of the developed sauces after 24 hours of storage of sauces are: "Sunny" – 7.22 ± 0.11 , "Balance" – 7.29 ± 0.14 , "Highlander" – 7.18 ± 0.12 , "Rainbow" – 7.23 ± 0.14 points, and control. samples – 7.43 ± 0.12 , 7.44 ± 0.14 , 7.42 ± 0.11 , 7.42 ± 0.12 points, respectively.

Indicators of thixotropy, aggregative and kinetic stability in control and experimental samples remained virtually unchanged throughout the shelf life.

Conclusions

According to the results of the research, it was determined that according to organoleptic evaluation, physicochemical, rheological and

safety indicators, the new sauces were at a sufficiently high level during the established shelf life and correspond to high quality food products.

Based on organoleptic, physicochemical and chemical composition indicators, taking into account the weighting factors, complex quality indicators of functional sauces have been determined. As a standard for sauces, a conditional product has been identified that meets the set scientific objectives: to create a functional food product with a high content of nutrients, which provides 25% of the daily need for them. The safety of developed products (microbiological indicators, content of salts of heavy metals, pesticides and other pollutants) is taken into account when calculating the complex quality indicator. The "veto" rule was used: if the product does not meet the established sanitary and hygienic requirements, its complex quality indicator is multiplied by 0, if it meets – by 1. Complex quality indicators of developed sauces exceed the corresponding control values (100 units) and are: for sauces: "Sunny" – 162.4, "Balance" – 171.4, "Highlander" – 164.2, "Tkemali" – 171.6 units, exceeding the control by 62.4 – 71.6%, respectively.

Based on the obtained unit indicators, the quality profiles of sauces were constructed in comparison with the standard (for which a conditional product was adopted, which provides 25% of the daily requirement for certain nutrients). The quality profiles of the developed sauces have a larger surface area: "Sunny" – 9.2; "Balance" – 5.4; "Highlander" – 8.2; "Rainbow" – 8.1 times compared to the control and close to the reference. The increased content of physiologically necessary substances allows us to recommend new sauce products in the health of all segments of the population, especially those living in contaminated areas.

References:

1. Mazaraki A.A. Functional food technology. Kyiv: KNTEU. 2012. 1116 s.
2. Lvovich I.Ya. Promising trends in science: technology and technology. Odessa: KUPRIENKO ST. 2016. 197 s.
3. Cherevko O.I. Innovative technologies of functional food products. Kharkiv: KhDUHT. 2017. 591 s.
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 s.

5. Rusavskaya V.A. Theoretical and practical approaches to the effective functioning of the market of hotel and restaurant services: status, problems, trends. Kyiv: Lira Publishing House. 2018. 420 s.
6. Preobrazhensky A.P. The level of development of machinery and technology in the XXI century. Odessa: KUPRIENKO SV 2019. 227 s.
7. Gamayunova V.V. Innovative technologies in the life of modern man. Odessa: KUPRIENKO ST. 2020. 209 c.
8. Mazaraki A.A. Collection of recipes for culinary products and functional drinks. Kyiv: Kyiv. nat. trade and economy University, 2013. 772 p.
9. Kravchenko M.F. Scientific substantiation and development of fruit systems as a basis for sweet sauces. International. scientific-practical magazine "Goods and markets". 2009. № 2. P. 76–82.
10. Kravchenko M.F. Technological aspects of making fruit sauces based on plant hydrocolloids and dietary supplements. Scientific works of the National University of Food Technologies, Kyiv NUHT 2010. № 32. P. 46-47.
11. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. Bulletin of the National Academy of Management of Culture and Arts: Science. Journal, 2018. №2. P. 91-94.
12. Kravchenko M.F. Composite mixtures of ESO grain products in emulsion food technologies. Odessa National Academy of Food Technologies. Scientific works. Odessa 2010. № 38 (2). Technical Sciences Series. P. 43-46.
13. Kravchenko M.F., Mikhailik V.S. Fruit and berry systems as a basis for sauces. Kharkiv State University of Nutrition and Trade. Collection of scientific works of KhDUHT 2013. № 2. P. 102-108.
14. Antonenko A.V. Quality and safety of sauces of high nutritional value. International. scientific-practical magazine "Goods and markets". № 1 (17) 2014. P. 166-172.
15. Antonenko A.V. Technology of sweet sauces with the use of persimmon powder and dietary supplements. INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION OF FUNCTIONAL FOODS. Current issues of functional nutrition and innovative technologies, P. 11-15, APRIL – 2015.
16. Kravchenko M.F. Safety assessment of sauce products. International. scientific-practical magazine "Goods and markets". 2010. № 1. P. 41–45.

Пархоменко А. М.

*аспірант кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства
Національний університет харчових технологій
м. Київ, Україна*

Мукоїд Р. М.

*доцент кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства
Національний університет харчових технологій
м. Київ, Україна*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ДЕФЕКТІВ
У ПИВОВАРІННІ**

Робота присвячена дослідженню причин виникнення дефектів у пивоварінні.

З кожним днем попит на смачне та якісне пиво зростає все більше. Причиною цього є в першу чергу те, що розвиток виробництва розширює асортимент продукції та її смакові властивості. Тому для кожного пивовара важливо створити конкурентоспроможний продукт, який повинен відповідати високим якісним показникам.

Під час виробництва пива зустрічаються дефекти, які пов'язані із сировиною, неправильним веденням технологічного процесу, що в подальшому призводить до порушень біологічних, фізико-хімічних та, власне, органолептичних властивостей пива. Тому актуальним є дослідження причин виникнення дефектів у пивоварінні.

На основі теоретичних і експериментальних даних встановлено причини виникнення найпоширеніших дефектів в пивоварінні та розглянуто механізми утворення побічних продуктів бродіння, досліджено показники якості пива в процесі. Науково обґрунтовано ефективність застосування способів виявлення та усунення дефектів для підвищення якості готового пива.

Вступ

Створення пива – тривалий, складний технологічний процес, на кожному етапі якого можуть виникнути як великі, так і маленькі проблеми. З кожним днем попит на смачне та якісне пиво зростає все більше. Причиною цього є в першу чергу те, що розвиток виробництва розширює асортимент продукції та її

смакові властивості. Тому для кожного пивовара важливо створити конкурентоспроможний продукт, який повинен відповідати високим якісним органолептичним та фізико-хімічним показникам.

Пиво – вразливий продукт, підвладний примхам природи, і його легко зіпсувати мікроорганізмами, погано доглянутими системами розливу, і – найлегше – плином часу.

Недоліки пива відносяться до будь-якої ознаки, не передбаченої пивоваром. Дуже важливо розуміти, що недоліки не обов'язково продиктовані сенсорними уподобаннями або стилістичними рекомендаціями, а є скоріше відхиленнями від стандарту, розробленого пивоваром.

Навіть якщо ми не здатні визначити конкретні побічні аромати чи смаки, то все одно можемо упізнати пиво, яке уже трохи видихалося чи втомилося, розгубило свої аромати і свіжість. А отже важливо розуміти причини виникнення тих чи інших дефектів в ході виробництва та зберігання пива.

Під час виробництва зустрічаються дефекти, які пов'язані із сировиною, неправильним веденням технологічного процесу, біологічного походження, що в подальшому призводить до порушень біологічних та фізико-хімічних властивостей пива. Тому актуальним є дослідження причин виникнення дефектів у пивоварінні та розроблення рекомендацій щодо їх усунення.

Для виконання дослідження було поставлено наступні завдання: визначити причини виникнення дефектів в готовому пиві; визначити вплив дефектів на якість напою; визначити фактори, які впливають на утворення побічних продуктів бродіння; дослідити причини біологічних і колоїдних помутнінь в пиві.

1. Причини виникнення дефектів у пивоварінні

На сьогоднішній день пивоварна промисловість України і світу переживає один з наймасштабніших моментів розвитку та перебудови виробництва.

Розвиток пивоварного виробництва розширює асортимент продукції та смакові властивості, так як попит на смачне та якісне пиво зростає день за днем.

Кожен смаковий чи ароматичний відтінок пива у келиху залежить від рішень, які приймає пивовар. Легкі горіхові ноти і натяки на родзинки? Це все солод для світлих елів легкого обсмажування. Різкий свіжий аромат хмелю? Це наслідок

ретельного вибору і вчасного додавання найкращих ароматичних хмелів під час кип'ятіння, або в процесі бродіння. Також на загальний смак та аромат напою впливає робота правильно підібраної раси пивоварних дріжджів.

1.1 Формування якості пива

Для виготовлення якісного пива важливо контролювати кожен етап виробництва починаючи з прийому сировини і закінчуючи умовами зберігання готового продукту.

Основною сировиною для виробництва пива є ячмінний солод, хміль та вода. Як додаткову сировину використовують пивні дріжджі, несолоджені матеріали, ферментні препарати [2].

Вода є основним видом сировини і важливою складовою готового продукту. Для смаку пива має значення, перш за все, сольовий склад технологічної води. До води, що використовується для приготування пива, висуваються вимоги щодо жорсткості, активної кислотності (рН), смаку та запаху, механічної і мікробіологічної чистоти [7].

Мінерали у воді змінюють не лише смак і аромат. Іони у воді є хімічно активними і мають неабиякий вплив на пивоварний процес. За роки експериментів з різними сортами та типами пива було підібрано ідеальний склад води для кожного стилю пива і відповідного пивоварного процесу.

Ячмінь є основною сировиною для виробництва солоду. Він не лише має великий запас крохмалю, який перетвориться на цукор, і зовнішню плівку зерна, яка слугує чудовим фільтруючим шаром, але й головний інструмент – ферменти, які запускають процес перетворення.

Унікальна ферментна система ячменю робить його ідеальною пивоварною сировиною, адже дозволяє розщеплювати запаси крохмалю у твердих зернинах на прості цукри, якими житимуться в подальшому дріжджі і перероблятимуть їх на алкоголь [6].

Солод набуває своїх характерних властивостей під час солододорощення, проте, деякі з них залежать від властивостей ячменю, який був використаний. Найбільш важливими вимогами до якості зерна, що використовується для солодування, є активне його проростання (90-95 %), невисока плівчастість (не більше 10 % від маси), помірний вміст білка (не нижче 9 і не вище 12 %) та високий вміст крохмалю (до 65 %) [4; 8].

Підвищена плівчастість зерна негативно впливає на екстрактивність і смакові ознаки пива за рахунок гірких речовин, що містяться в оболонці. Зі зниженням крохмалистості використаного зерна – пиво стає слабко екстрактивним, а низький вміст білка в ячмені є причиною отримання пива зі слабкою піною і невираженим смаком. Зерно ячменю, багате на білки, важко переробляється і є причиною отримання, як правило, нестійкого під час зберігання пиво [1; 21].

Процес солодоращення починається з вибору якнайкращого ячменю і замочування його впродовж 2-4 діб, поки він не досягне вмісту вологи 43 % і більше. Це запускає ферментативні процеси, які проходять у зерні. Основною метою пророщування є накопичення гідролітичних ферментів, які необхідні для подальших технологічних процесів у виробництві пива. Замочений солод транспортують в солодоростильне відділення, де витримуються всі технологічні параметри для його пророщування. Солод пророщують, поки паросток не досягне 1,5 довжини зерна. [13].

На цьому етапі вологе пророщене зерно відправляється на висушування. При сушінні солоду протікають біохімічні та фізико-хімічні процеси. Солод висушують в дві стадії: 1. підсушування, видалення води при низьких температурах до вологості приблизно 10 %; 2. власне висушування солоду до потрібної вологості. При висушуванні солоду протікає три фази сушіння: фізіологічна, ферментативна та хімічна.

Залежно від способу висушування, солод має дуже широку кольорову гаму – від 2 одиниць Ловібонда у найсвітліших солодах до 500 одиниць у чорному солоді найпотужнішого обпалення.

Несолоджені матеріали застосовують для збільшення екстрактивності, створення певного смаку та зниження собівартості пива. Як несолоджену сировину використовують ячмінь, рис подрібнений, кукурудзяну знежирену крупу, сою, пшеницю, обрушений ячмінь, буряковий цукор тощо [15].

Під час переробки несолоджених матеріалів передбачено використання ферментних препаратів. Якщо їх не використовують, то кількість несолодженої сировини не повинна перевищувати 20 % [20].

Застосування заміників солоду не завжди позитивно впливає на якість пива. Так, ячмінь у невеликих кількостях (6-10 %) поліпшує піну і наповнює смакову гаму пива. Однак зі

збільшенням його кількості в рецептурі екстрактивність пива знижується, ускладнюється процес виробництва [23].

Ферментні препарати. Для виготовлення пива з додаванням несолодженої сировини використовуються ферментні препарати. З їх допомогою можна переробляти менш якісну зернову сировину, одержувати пивне сусло заданого складу, поліпшувати якість продукту [17].

У наш час випускаються промисловістю і застосовуються у виробництві пива наступні ферментні препарати: Амілоризин Пх, Цитороземін Пх, Амілосубтилін ПІ 10х, комплексний ферментний препарат МЕК (Мультиензимна композиція) тощо. Активність цих ферментних препаратів у декілька разів перевищує активність ферментів солоду, а їх застосування сприяє успішній переробці несолодженої сировини, інтенсифікації процесу пивоваріння, зменшенню матеріалоемності продукції [17].

Хміль – друга після солоду основна пивоварна сировина.

Найважливішими складовими хмелю є гіркі речовини, що надають пиву характерної гірчинки; дубильні речовини, що сприяють стійкості пива; ефірні олії – важливий компонент аромату пива [22].

Для пивоваріння найважливішими компонентами хмелю є гіркі речовини (альфа- і бета-кислоти), поліфеноли і ефірна олія. Їх вміст коливається залежно від сорту хмелю та ґрунтово-кліматичних умов.

Дріжджі – за морфологічними ознаками відносяться до класу грибів роду *Saccharomycetes*. Пивні дріжджі поділяються на дріжджі верхового і низового бродіння. Дріжджі, які застосовуються в пивоварному виробництві, переважно відносяться до низових дріжджів рас 7; 76; 11; 47. Ці дріжджі глибоко і швидко зброджують екстракт сусла, надають пиву яскравого аромату і м'якого смаку. Дріжджі верхового бродіння використовуються тільки для зброджування елевих сортів пива [15].

1.2 Характеристика дефектів пива та причини їх виникнення

Вивчаючи дегустаційну науку, ми вчимося спочатку впізнавати знайомі аромати і смаки в пиві, потім – уловлювати складні поєднання, відчувати і описувати ледь помітні відтінки. Але найвищий рівень – виявити в напої сторонні запахи та присмаки, розпізнати дефекти і виявити їх джерело. Під час

проведення дегустації є певний порядок дій, які допоможуть в повній мірі оцінити напій [10].

В першу чергу необхідно оцінити зовнішній вигляд напою. Варто враховувати те, що пиво різних стилів може виглядати по-різному. В бокалі не має бути жодних сторонніх домішок, білкового осаду в вигляді пластівців, неосаджених частинок хмелю та інших включень. Для нефільтрованих сортів допустима незначна опалесценція [12].

Далі необхідно оцінити аромат пива. Спочатку аромат вдихають на невеликій відстані від бокалу, далі – впритул до напою. Потім необхідно трохи покрутити бокал і вдихнути повторно, для того щоб отримати весь спектр ароматів.

Останнім етапом дегустації є оцінка смаку напою. На відміну від вина, пиво необхідно обов'язково проковтнути, оскільки на корені язика знаходяться рецептори, які відповідають за гіркоту. Без повного ковтка ми не зможемо відчутти гіркоту, яка є важливою складовою смаку напою.

Недоліки пива відносяться до будь-якої ознаки, не передбаченої пивоваром. Дуже важливо розуміти, що недоліки не обов'язково продиктовані сенсорними уподобаннями або стилістичними рекомендаціями, а є скоріше відхиленнями від стандарту, розробленого пивоваром [12].

Виробництво пива – тривалий багатостадійний процес, тому проблеми можуть з'являтися на різних етапах виробництва. Дефекти можна розділити на дві основні категорії: ті, які отримані в процесі пивоваріння і ті, що виникають в пиві вже після розливу. Ці групи можуть поділятися на сенсорні та фізичні дефекти [10; 12].

1.2.1 Дефекти, пов'язані з сировиною

Запах варених овочів (кукурудзи, гороху). Викликається речовиною диметилсульфід. Попередники цієї речовини містяться в солоді і випаровуються при кип'ятінні сусла, тому найчастіше цей дефект пов'язаний з недостатньою інтенсивністю і тривалістю кип'ятіння, а також з неякісним солодом [12].

Неприємна, в'язка хмельова гіркота. Причиною зазвичай є неправильно розраховане задання хмелю (тобто хміль задається не в той час і не в тих кількостях) і невірний вибір його сорти для надання пиву гіркоти (наприклад, що містить підвищений рівень когумулону) [24].

Запах «кішки», «скусса» або інтенсивний аромат чорної смородини. Викликається розкладанням компонентів хмелю під дією ультрафіолету. Таке пиво називають «засвіченим». Дефект більш характерний для сильноохмелених сортів напою: їм достатньо кілька годин постояти на світлі, щоб він проявився [25].

Металевий смак. Може бути пов'язаний як з низькою якістю води, так і з особливостями сировини і стилю пива (так, англійські елі іноді мають такий присмак) [12].

Легкі світлі лагери повинні бути максимально «чистими»: без відчутної кількості ефірів, альдегідів або діацетилю. У бельгійських же міцних елях концентрація вищих спиртів і ефірів зазвичай підвищена. За рахунок цього вони отримують свій характерний смак [10].

1.2.2 Дефекти смаку, пов'язані з порушенням технології виробництва

Порожній смак має пиво з низьким вмістом спирту, тобто недостатньо зброжене; пиво, виготовлене з сусла з високим вмістом декстринів і низьким ступенем збродження. Порожній смак іноді зустрічається також у пива з сильнорозчиненого солоду, він може з'явитися у результаті надмірного розщеплення білків при затиранні, через надмірне окислення або при занадто різкій фільтрації [28].

Неприємний гіркий і терпкий смак найчастіше має пиво з жорсткої карбонатної води, води сильно лужної, головним чином при пом'якшенні перекальцинованої води; в цьому випадку пиво має також більш інтенсивний колір [12].

Часто причиною неприємної гіркоти пива буває недостатнє осадження і видалення гірких частинок в апаратах для осадження і в процесі головного бродіння, або неправильний зняття бродильних дек. Гірким буває також пиво з погано розчиненого солоду.

Іншою причиною гіркового смаку пива є окислювання. Воно може з'явитися в ході технологічного процесу або при розливі готового пива в транспортну тару. У пиві в пляшках причиною цього буває високий вміст кисню повітря в шийці пляшки, який, крім того, негативно впливає на смак і колоїдну стабільність пива переважно при пастеризації.

Іноді причиною гіркового смаку буває переробка влуженого хмелю або неправильне дозування хмелю [27].

Терпкий або пригорілий присмак темного пива походить від неякісного кольорового солоду або з карамелі невідповідного якості [12].

Кислий присмак зустрічається у пива під час головного бродіння і доброджування при підвищеній температурі і у молодого, невитриманого пива. Крім того, старі дріжджі 3-5 генерації, які дегідрували і частково піддані автолізу, збережені при високих температурах під водою, можуть стати причиною дріжджового присмаку. Дріжджовий присмак може мати пиво з великою кількістю завитків [10].

Незрілий смак має пиво, яке доброджувалося короткий час або повільно. Вважають, що причиною незрілого смаку пива є, з одного боку, присутність меркаптанів і деяких альдегідів і, з іншого – присутність летючих сірчистих сполук, головним чином сірководню і діоксиду сірки, які утворюються при головному бродінні. При холодному і досить тривалому доброджуванні ці летючі речовини видаляються з вуглекислим газом, що виходить через шпунт-апарат. У молодого пива цей процес протікає лише частково і пиво зберігає «незрілий» смак [5].

Підвальний присмак – це різні відхилення від нормального чистого смаку, які зустрічаються у пива деяких заводів у зв'язку з якимось виробничим недоліком. Найчастіше причинами бувають різні недоліки чистки виробничого устаткування або середовища. Рідко причиною буває постійна помилка в операціях.

Різні присмаки можуть виникнути також при переробці неякісної сировини (солоду чи хмелю) [10].

Пастеризаційний (хлібний) присмак має майже все пастеризоване пиво. Його інтенсивність різна, зростає з температурою і часом, протягом якого діє температура пастеризації. Тому прагнуть досягти необхідного дії пастеризації при максимально низькій температурі, що дає ефект пастеризації і за короткий час. При пастеризації з'являється також окислювання пива киснем повітря з шийки пляшки, при цьому утворюється кислий присмак, який до речі з'являється також і в непастеризованому вигляді через певний час зберігання. Причиною кислого присмаку вважається фенілаланін; при його окисненні утворюється фенілоцтова кислота, яка етерифікується [10].

Сонячний присмак дуже неприємний і утворюється в пиві в пляшках (і пиві в склянці) при відносно швидкій дії прямих сонячних променів або при тривалому впливі розсіяного денного світла.

Цей дефект – результат фотохімічного впливу ультрафіолету на сульфогідрильні групи екстрактивних речовин з утворенням етилмеркаптану [5].

1.2.3 Дефекти смаку, які з'являються при взаємодії пива зі сторонніми матеріалами

Смак деревини утворюється при взаємодії пива з незахищеною спеціальним покриттям деревиною, головним чином з новою, яка не використовувалася при виробництві пива [14].

Смак смоли з'являється при обробці бочок смолою, що містить багато летких речовин. Часто причиною буває недостатнє видалення смоляних парів з засмоленої бочки або розлив пива в щойно оброблені бочки, що не були промиті водою [12].

Смак гасу може зустрічатися у пива з бродильних апаратів, покритих свіжим парафіном, якщо був використаний парафін з низькою точкою плавлення, що містить леткі фракції гасу [12].

Смак лаку має пиво з бродильних чанів, покритих пивним лаком поганої якості. Неякісними бувають пивні лаки з деяких замінників натурального шелаку [12].

Металевий і чорнильний присмак утворюється при реакції дубильних речовин пива з незахищеною поверхнею залізного устаткування. Таке пиво має при цьому піну коричневого кольору [14].

Фенольний (карболовий, лікарняний) присмак утворюється з багатьох причин. В першу чергу він буває у пива з виробничої води з високим вмістом нітратів. Його може викликати також вільний хлор, якщо ячмінь замочується у воді з добавкою хлорного вапна, або фільтраційна маса стерилізується хлорним вапном і навіть залишки хлору не видаляються хімічним шляхом (сульфітом) [10].

При редукції сульфатів або сульфідів з сульфітованого хмелю можуть утворюватися меркаптани або сірководень. У випадках, якщо бродіння недостатньо бурхливе, щоб вуглекислий газ міг видалити ці речовини з пива, то також з'являється фенольний (карболовий) присмак.

Нарешті, причиною фенольного присмаку може бути частковий автоліз дріжджів при доброжуванні. Причина полягає в поганому фізіологічному стані насінневих дріжджів, якщо їх задають кілька разів без промивання або довго зберігати під водою із досить низькою температурою [26].

1.2.4 Дефекти біологічного походження

Сторонні мікроорганізми, що інфікують пиво в виробничому процесі, викликають смакові недоліки пива за рахунок утворення продуктів метаболізму. Інфіковане пиво водночас мутніє [16].

Якщо в суслі при охолодженні розмножаться звані термобактерії, то в пиві утвориться характерний присмак, що нагадує *смак селери*. Цей присмак в суслі дуже сильний і він залишається в пиві. Він зустрічається часом в пиві, виготовленому на невеликих пивоварних заводах, де сусло зброджують з запізненням.

Якщо в пиві, розлитому в транспортну тару, відновиться бродіння культурними дріжджами, то виникає *дріжджовий присмак*.

Якщо пиво має дріжджовий присмак після фільтрації, то цей недолік виник при доброджуванні в результаті автолізу мертвих дріжджових клітин [18].

Пиво, інфіковане дикими дріжджами, піддається різним смаковим змінам. Дикі дріжджі, головним чином *Sacch. pastorianus*, надають пиву терпко-гіркий смак, який підвищується до такого рівня, що пиво може стати непридатним.

Молочнокислі бактерії (Lactobacillus pastorianus) сприяють утворенню молочної кислоти та інших кислот. Якщо перевищена гранична межа, то пиво стає непридатним [18].

Сарциновий смак – це комбінація кислого смаку зі смаком діацетилу, який є продуктом метаболізму, так званої пивний сарцини (*Pediosoccus cerevisiae*). Смак дуже неприємний, робить пиво непридатним. Слабкий присмак діацетилу можна усунути при додаванні завитків до пива. При редуруючій дії дріжджів з діацетилу утворюється ацетоїн, смак якого проявляється в меншій мірі. Однак велика кількість ацетоїну теж надає пиву неприємний смак [10].

Присмак цвілі буває частиною так званого підвального присмаку, який залежить від виду цвілі, поширеної в приміщеннях, де розміщені бродильні апарати. Часто присмак цвілі пива походить від різних видів *Penicillii*, а затхлий підвальный присмак від *Mico*. Підвальною цвіллю є бактерії, які викликають «запліснявіння» дерев'яних бродильних апаратів і лагерних бочок *Dematium pullulans* і *Oospora lactis*. Пиво дуже вразливе до сторонніх запахів і легко сприймає запах цвілі або підвальный присмак [10].

Смак гвоздики, мускатного горіха. 4-вініл гваякол (2-метокси-4-вінілфенол) – головна фенольна сполука пшеничного пива, дає пиву аромат гвоздики, мускатного горіха, духмяного перцю. Утворюється шляхом перетворення ферулової кислоти дріжджами.

Ферулова кислота важлива для пивоваріння як попередник 4-вініл гваякола, вона міститься у пшеничних висівках. Екстракція кислоти відбувається при температурній паузі 43-45 °С під час затирання із щільних оболонок пшеничного зерна.

Під час ферментації ферулова кислота перетворюється в 4-вініл гваякол ферментом цинамат-декарбоксилазою (декарбоксилазою ферулової кислоти). Цей фермент продукується штамми дріжджів з активною формою гену POF, до яких відносяться пивоварні пшеничні, хлібні дріжджі, а також більшість диких дріжджів.

Для того, щоб досягти більш вираженого характеру гвоздики в пиві необхідно збільшити вміст ферулової кислоти. Цього можна досягти шляхом вибору специфічного штаму дріжджів, в особливості *Brettanomyces*, які можуть суттєво впливати на формування специфічного смаку і аромату пива [12].

1.3 Характеристика біохімічних процесів, що відбуваються при зберіганні готового пива

Проблема підвищення стійкості пива набуває першорядного значення у зв'язку зі зростанням вимог до конкурентоздатності пива, розширенням ринку його збуту та реалізації на великій відстані від місця виробництва. Процеси помутніння та пов'язані з цим зміни аромату і смаку пива спричиняють дві групи факторів – біологічні, що обумовлені розвитком у готовому пиві мікроорганізмів і визначають біологічну стійкість, та фізико-хімічні перетворення колоїдних речовин пива, які обумовлюють його колоїдну стійкість [9; 19].

1.3.1 Біологічна стійкість пива

Біологічна стійкість пива обумовлена розвитком у ньому мікроорганізмів, які здатні викликати в ньому помутніння або утворення осаду, а також призводити до псування пива за рахунок продуктів життєдіяльності. Кількість таких мікроорганізмів невелика, оскільки пиво завдяки наявності спирту, CO₂ і гірких речовин, а також низькому рівню рН, анаеробному середовищу та низьким температурам в процесі приготування позбавляє

більшості мікроорганізмів, особливо патогенних і термостійких можливості розвиватися. Таким чином, в пиві здатні розвиватися лише молочнокислі бактерії, грамнегативні бактерії родів *Pectinatus* і *Megasphaera*, а також активні дріжджі [11].

Від моменту контамінації мікроорганізмами до появи помутніння чи осаду проходить певний час, який залежить від ступеня контамінації, приналежності мікроорганізмів до того чи іншого роду і від ступеня їх адаптації до середовища, а також від властивостей пива, наявності кисню і температури зберігання [15].

1.3.1.1 Причини контамінації пива

Бактерії *Pediococcus damnosus* поряд з моно- і диплококами формують специфічні тетради і утворюють в пиві після розливу осад (іноді помутніння), а також надають пиву кислий маслянистий присмак діацетилу. Ці небезпечні мікроорганізми, що викликають псування пива, в якості первинного контамінанта зустрічаються насамперед у відділенні зберігання чистої культури дріжджів, бродильному цеху і відділенні доброджування. Уже в ході бродіння вони можуть зумовити підвищений вміст діацетилу, а при сильній контамінації можуть проходити і через фільтр. Завдяки останнім інноваціям в технології фільтрування ці бактерії досить рідко потрапляють в пиво після розливу [15].

Більшість проблем виникає в «дріжджовому білому» пиві (*Hefeweissbier*), якщо якась кількість педіококів присутня в дозованих дріжджах. Поряд з *Pediococcus damnosus* зустрічається також *Pediococcus inopinatus*, але цей вид на пивоварних виробництвах набагато менше поширений [15].

Пивні *молочнокислі бактерії* представлені численними видами, які можуть призводити до псування пива. Найчастіше це гетероферментативні види *Lactobacillus brevis* і *Lactobacillus lindneri*, здатні викликати помутніння і надавати пиву кислуватий присмак через утворення молочної і оцтової кислот, CO₂ і етилового спирту, проте діацетил вони не продукують. Іноді зустрічаються також гомоферментативні види *Lactobacillus casei* і *L. coaguliformis*, що викликають інтенсивне утворення діацетилу (особливо в слабоохмеленому пиві, наприклад, в дріжджовому білому). Ці облигатні мікроорганізми можуть бути як первинними (*L. lindneri*), так і вторинними контамінантами (численні штами *L. brevis*). Так як осадження молочнокислих бактерій відбувається

не так інтенсивно, як у педіококів, то вони присутні у всьому обсязі пива, що знаходиться в цеху доброджування і частіше потрапляють на фільтруючі шари; при гідравлічних ударах вони нерідко заносяться в пиво після розливу [15].

В останні роки все активніше виходять па передній план *грамнегативні анаеробні бактерії* родів *Pectinatus* і *Megasphaera*. Причини цього полягають, перш за все, у використанні безкисневих технологій, особливо на ділянці розливу, а також у деякому підвищенні значень рН пива, оскільки не відбувається біологічного підкислення сула. Бактерія *Megasphaera cerevisiae* утворює відносно великі скупчення овальної форми, які грають у парах або ланцюжка. Внаслідок продукування цими бактеріями масляної, валеріанова і капронової кислот пиво стає абсолютно непридатним до вживання [7].

Подібним чином поводитьися і *бактерія Pectinatus cerevisiphilus*, що продукує головним чином пропіонову кислоту і ацетоїн. Ця бактерія має форму злегка викривлених або штопороподобних паличок. На початку розвитку вони рухливі внаслідок монолатерального (гребенчатого) ураження жгутиковими бактеріями. Цей вид зустрічається частіше деяких молочнокислих бактерій (ним викликається більше 10% мікробіологічних проблем пива) [16].

Потенційна і непрямі контамінація, що викликає псування пива. Поряд з вищевказаними облігатними бактеріями, що викликають псування пива, в пивоварному виробництві часто зустрічаються також мікроорганізми, що представляють потенційну або непрямі небезпеку. Сторонні мікроорганізми не можуть розвиватися в пиві, розлив якого здійснювався звичайним способом, але якщо вони досить довго існують на виробництві, то з часом здатні адаптуватися до пивного середовища. Крім того, вони можуть надати негативну дію на окремі типи пива (наприклад, на безалкогольне або слабоохмеленне пиво, пиво з підвищеним значенням рН). Зазвичай це стосується бактерій *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus plantarum* або *Micrococcus kristinae*. Грамнегативні ентеробактерії викликають неприємний «селеровий» присмак через продукування ДМС, ацетоїна та інших з'єднань [15; 16].

Дикі дріжджі рідше, ніж бактерії, виступають в якості контамінантів. Найчастіше мова йде про сильноброджуючі штами *Saccharomyces cerevisiae*, а саме *S. diastaticus* і *S. logos*.

Завдяки зброджуванню декстринів ці дріжджі здатні розмножуватися в добре зброженому пиві з утворенням в пляшковому пиві помутнінь і осаду. Крім того, в більшості випадків в пиві утворюється нетиповий аромат і «дряпаючий» гіркий сторонній присмак. Ці види дріжджів можуть виступати як в якості первинних, так і вторинних контамінантів пива, що зберігаються в бочках і пляшках [16].

Культурні дріжджі. Якщо вони потрапляють в пиво після розливу внаслідок недостатньої ефективності фільтрування, то в деяких умовах в ньому може утворюватися легкий осад або відбуватися розмноження колоній дріжджів на дні пляшки. Крім того, зростанню культурних дріжджів сприяє підвищене поглинання кисню при розливі пива. Такому ризику піддається також безалкогольне пиво, що отримується методами переривання бродіння або контакту з дріжджами, оскільки при цьому в пиві присутня ще достатня кількість легкозброджуваних цукрів. З огляду на це, дані типи пива по можливості слід пастеризувати в пляшках [15].

Мікроорганізми-індикатори. У сучасній мікробіології пива постійно необхідно виявляти «слідову» контамінацію. Оскільки виявлення слідів ускладнено і велику роль тут відіграє випадковість, то в даний час з метою підвищення надійності застосовують підтвердження контамінації шляхом використання так званих «мікроорганізмів-індикаторів». Мова йде, перш за все, про специфічні для пивоваріння оцтовокислі бактерії (*Acetobacter pasteurianus* і *Gluconobacter frateurii*), які часто супроводжуються іншим мікроорганізмам, що викликає псування пива. Якщо ці мікроорганізми-індикатори систематично і в підвищених концентраціях зустрічаються в місцях контакту з пивом, то в таких «точках ризику» необхідно провести мийку та дезінфекцію, а також теплову обробку (паром) [16].

1.3.1.2 Забезпечення біологічної стійкості пива

Біологічна стійкість пива забезпечується застосуванням бездоганних з мікробіологічної точки зору активних насінневих дріжджів, їх контролем та наскрізною мийкою та дезінфекцією танків, трубопроводів і апаратів. При цьому особливої уваги потребують установки автоматичної мийки. Високоякісне фільтрування в поєднанні з розливом без доступу повітря за умови якісно вимитої тари створює передумови біологічної стійкості пива

навіть без його нагрівання і пастеризації. На окремих етапах виробництва, таких як бродіння, доброджування, фільтрування і розлив, необхідний ретельний мікробіологічний контроль [16].

Для виявлення різних мікроорганізмів, що викликають псування пива, потрібні спеціальні культуральні середовища селективної дії. Так як певні мікроорганізми, що викликають псування пива (зокрема *L. lindneri*), вкрай вимогливі до особливих ростових речовин (наприклад, з'єднань, що продукуються в ході метаболізму дріжджів), то індикаторні середовища також повинні характеризуватися оптимальним складом поживних і ростових речовин. Основними вимогами в мікробіологічному аналізі є надійність виявлення, вибірковість, оперативність, простота застосування і хороша інтерпретація результатів аналізу.

Заходи виробничого контролю слід проводити систематично і регулярно, забезпечуючи своєчасне виявлення «слабких місць». В інструкціях по мікробіологічному контролю вказуються найважливіші точки відбору проб, а також відповідні методи аналізу [15].

1.3.2 Колоїдна стійкість пива

Розрізняють два типу помутніння: холодне (оборотне) і необоротне [9].

Показником холодної нестабільності пива є поява каламуті при охолодженні пива. Холодне помутніння визначається як помутніння при температурі 0 °С, яке зникає при температурі 20 °С.

До складу осадів, що утворилися при низьких температурах, входять частинки з молекулярної масою від 10 до 100 кДа. Розмір частинок холодного помутніння коливається від 0,1 до 1,0 мкм, в основному вони мають кулясту форму [9].

1.3.2.1 Холодне помутніння

Причиною появи каламуті в свіжому пиві при його охолодженні є взаємозв'язок низькомолекулярних фенольних сполук з кислими білками пива [9].

Крім того, при низьких температурах йдуть процеси дегідратації колоїдних частинок і утворення колоїдів з різними зарядами. Найбільше це стосується поліпептидів і полісахаридів, які в подальшому адсорбуються на поліфеноли. При підвищенні температури спостерігається руйнування комплексів, які

утворилися, так як поліфеноли і поліпептиди пов'язані між собою нестійкими водневими зв'язками [9].

Колоїдний склад пива змінюється в ньому при збільшенні концентрації етанолу, при цьому відбувається зміна співвідношення між колоїдними частинками різної хімічної природи: збільшується частка поліфенольної і полісахаридної фракцій, в той час як кількість поліпептидів в осадах зменшується [9].

1.3.2.2 Необоротне помутніння

Стойке (необоротне) помутніння не зникає при температурі 20 °С, воно виникає в процесі зберігання пива. В цьому випадку має місце утворення як множинних водневих зв'язків між високомолекулярними сполуками, так і міцних ковалентних зв'язків. Розмір частинок необоротної каламуті вище, ніж у оборотної, і коливається від 1 до 10-20 мкм [7].

Процес появи стійкої каламуті прискорюється при збовтуванні пива і його зберіганні при високих температурах: вище 12°С – для непастеризованого пива і вище 20 °С – для пастеризованого. Велика частина необоротних помутнінь розчиняється при нагріванні пива до температури від 40 до 70°С [7].

Цей тип помутніння пов'язаний з полімеризацією флавоноїдів шляхом окисної конденсації, тобто з утворенням високомолекулярних фенольних сполук – таноїдів, які зв'язуються з білками не тільки за допомогою водневих зв'язків, а й за допомогою гідрофобних та іонних зв'язків, що не руйнуються при нагріванні.

Вміст сполук, що входять в необоротне помутніння, становить від 6,6 до 14,6 мг/дм³. Хімічний склад осаду може значно відрізнятись в різних зразках пива. Ці коливання залежать від якісних характеристик сировини і технології виробництва пива [9; 16].

1.3.3 Шляхи підвищення колоїдної стійкості пива

Можна виділити наступні напрямки в підвищенні колоїдної стабільності пива [9]:

- застосування сировини з низьким вмістом сполук, відповідальних за колоїдне помутніння;
- використання технологічних режимів в процесі отримання суслу і пива, спрямованих на зменшення вмісту в продукті білків, полісахаридів, поліфенолів, оксалатів, кисню;

- застосування протеолітичних і амілолітичних ферментів, які здійснюють гідроліз білків і полісахаридів до з'єднань з меншою молекулярною масою;
- інтенсифікація процесу бродіння і своєчасне видалення дріжджів;
- доброджування пива при низьких температурах;
- фільтрування пива з використанням марок кізельгуру з різною проникністю;
- застосування адсорбентів, що видаляють з пива нестійкі високомолекулярні сполуки білкової і фенольної природи, а також їх комплекси;
- оптимізація режиму фільтрування, спрямована на наукове обґрунтування співвідношення між окремими фракціями кізельгуру і адсорбентів при наміванні;
- зниження вмісту кисню в пиві.

1.4 Основи сенсорної оцінки пива

І великі, і малі пивоварні повинні постійно оцінювати своє пиво на сталість якості, відсутність вад, відповідність ніші ринку. Навіть для маленьких пивоварень запровадження систематичних дегустацій може відіграти значну роль у майбутніх продажах. Інші учасники пивної галузі теж повинні вміти відрізнити хороше пиво від поганого, стиль від стилю, стежити за дотриманням певних правил і шукати пиво, яке забезпечить їхнім споживачам найбільше радості. І навіть дегустатори-ентузіасти, що витратять час і зусилля на опанування належної дегустаційної процедури і словника, відкриють для себе безліч нових знань, вражень і задоволення від кожного келиха пива [12].

Відчуття починається з подразнення і завершується сприйняттям. Коли наші органи чуття контактують із зовнішнім світом, сенсорні нерви спрацьовують в особливий спосіб, стимульовані певною кількістю різноманітних хімічних речовин, сигнали проходять крізь кілька етапів обробки у дуже давню та часто-густо напрочуд емоційну частину нашого мозку, і лише потім добираються до свідомості. Починається все з простих кодів, які проходять кілька рівнів обробки і перетворюються на думки, спогади і, зрештою, втілюються в слова [12].

Смак і нюх – науковою мовою смакова і ольфакторна системи – об'єднуються у систему хімічного упізнання, частково їй допомагають тактильні сенсори у роті. Це напрочуд тонко

налаштований механізм, відточений сотнями мільйонів років еволюції, і, безумовно, попередник «вищих» чуттів слуху і зору. Майже кожне створіння на планеті має такий механізм тої чи іншої потужності. Дуже довго науковці з упередженням ставилися до цих життєво необхідних чуттів, вважаючи їх примітивними і не вартими вивчення. Дослідження останніх десятиліть довели, що вони глибоко помилялися [12; 23].

Нюх, смак і тактильні відчуття – основні засоби пізнання пива, але інші органи чуття теж беруть участь у дегустаційному процесі. Якщо ви навчитеся добре ними користуватися, вони розкажуть про цей напій все, що ви хочете знати. І хоча це окремі чуття, наш мозок збирає їх до купи, що зазвичай корисно, але, може, подеколи ускладнює процес розрізнення цих чуттів. Ми всі здебільшого уявляємо, що таке «букет», але насправді це зовсім не відчуття, а враження, що складається з взаємодії всіх трьох задіяних у системі хімічного упізнання чуттів, можливо, за участі інших, ба навіть когнітивного процесу упізнання бренду [12].

Тому ми маємо вчитися за потреби відрізнити одне чуття від іншого і чітко їх описувати. Ми часто називаємо запах солодким, але це просто неможливо, бо солодкість відчувається винятково язиком. Насправді продукти на кшталт карамелі, какао чи ванілі у наших щоденних асоціаціях настільки прив'язані до солодкого смаку, що ми не можемо підібрати інше слово для опису їхнього запаху. Тому частина навчання дегустаторській справі полягає у тому, щоб «розучити» мозок від такого допоміжного зазвичай зв'язування всіх цих речей воедино, а потім навчитися розбирати ці шари [12].

Мета дегустації – дізнатися максимум можливої інформації про дегустаційний зразок. Зазвичай, дегустації влаштовують з конкретною метою, а вона може бути різною. У пивоварнях дегустації з метою контролю якості влаштовують регулярно, щоб не допустити смакових відхилень і побічних смакових домішок, яких не має бути у пиві. Професійні бармени можуть зосереджувати увагу на проблемах спричинених старінням пива і чистотою систем розливу. Незалежно від мети, ми всі використовуємо певні інструменти і здатності нашого мозку і тіла. І завдяки певним технікам, тренуванню і практиці ми можемо видобути дуже багато інформації навіть з маленького дегустаційного келиха. Кілька простих правил і підходів роблять це завдання цілком посильним [12].

Для дегустацій ідеально підходить келих для білого вина, але щорічно мільйони зразків пива оцінюють поданими у звичайних пластикових стаканчиках. Але яким би келихом ви не користувалися, ніколи не наповнюйте його більш ніж на третину, оскільки важливо лишити достатньо місця для накопичення аромату [12].

Переконайтеся, що пиво має відповідну температуру, для лагерів і легких елів це кілька градусів вище за нуль, міцніше пиво подається прохолодної температури, не слід забувати, що пиво швидко гріється під час наливання. Якщо пиво надто холодне, затисніть келих у долонях і обережно погойдуйте, утворюючи невеликий коловорот, тоді пиво швидко нагріється.

Добре, коли дегустація відбувається у тихому, спокійному місці, де ніщо не відволікає від процесу [12].

Налийте пиво. Останню порцію вилийте вертикально в самісінький центр келиха, щоб підняти трохи піни.

Далі піднесіть келих прямо до носа і зробіть кілька коротких вдихів. Що ви відчуваєте? Переберіть весь пивний лексикон і спробуйте розкласти по полочках свої враження: це хлібний, солодовий, з нотами печива, карамелі, паленого цукру, підсмаженої скоринки, палений солодовий профіль, чи можливо, трав'янистий, квітковий, тропічний хмелевий характер, чи пікантні, фруктові або дикі дріжджів? [12].

Після знайомства з ароматом оцініть зовнішній вигляд пива. Який воно має колір і прозорість? Чи привабливі вони? Чи стійка і пишна піна? Але не забувайте, що зовнішні риси пива досить обмежені у варіаціях і можуть бути оманливими [12].

Тепер надпийте. Потримайте пиво у роті і зверніть увагу, як щосекунди змінюються смаки. Кислота буде помітна одразу ж, тоді в гру вступає солодкість, і – заждіть трошки – потроху наростає гіркота. Куштуючи дуже охмелене пиво, кульмінації гіркоти можна чекати хвилину чи навіть більше. Не кваптеся ковтати. Дайте пиву нагрітися і лише тоді неспішно проковтніть рідину, повільно видихаючи через ніс, не розтуляючи вуст. Це буде ретроназальна ольфакція, надзвичайно важлива частина процесу дегустації, що дуже відрізнятиметься від втягування аромату носом з келиха [12].

Не забувайте і про важливість консистенції. Колоїдальна сітка протеїнів у пиві збільшує в'язкість і робить тіло більш щільним, а вуглеводи типу глюканів надають йому оксамитової, кремової текстури. Карбонізація теж є важливою рисою. У міцніших сортах

пива алкоголь може відчуватися язиком як гаряче чи легке поколювання [10].

Після того, як ви проковтнули пиво, ви відчуваєте його смак ще якийсь час разом із тривкою гіркотою і; можливо іншими нотами, такими, як в'яжуче відчуття або зігріваюче тепло алкоголю. Смак пива має початок, середину, кінець і навіть післясмак. Кожен з цих етапів надзвичайно важливий. Справді досконале пиво має прекрасні смак і аромат від початку до повного згасання післясмаку.

Для того, щоб опанувати витончене і чудернацьке мистецтво дегустації, немає обхідних коротких шляхів. Це подорож довжиною у життя, у якій ніколи не досягаєш кінцевого пункту призначення, а лише крок за кроком стаєш більш досвідченим мандрівником. [10; 12].

Відповідно до опрацьованої літератури можна зробити наступні висновки:

1. На смак і аромат пива впливає великий спектр органічних і неорганічних речовин. На збалансування в пиві цих речовин істотно впливає кількісний і якісний склад амінокислот в суслі.

2. Для виготовлення якісного пива важливо контролювати кожен етап виробництва починаючи з прийому сировини і закінчуючи умовами зберігання готового продукту.

3. Під час виробництва зустрічаються дефекти, які пов'язані із сировиною, неправильним веденням технологічного процесу, що в подальшому призводить до порушень біологічних та фізико-хімічних властивостей пива.

4. Проблема підвищення стійкості пива набуває першорядного значення у зв'язку зі зростанням вимог до конкурентоздатності пива, розширенням ринку його збуту та реалізації на великій відстані від місця виробництва.

5. Процеси помутніння та пов'язані з цим зміни аромату і смаку пива спричиняють дві групи факторів – біологічні, що обумовлені розвитком у готовому пиві мікроорганізмів і визначають біологічну стійкість, та фізико-хімічні перетворення колоїдних речовин пива, які обумовлюють його колоїдну стійкість.

2. Дослідження причин виникнення дефектів у пивоварінні

2.1 Дослідження органолептичних властивостей дослідних зразків пива

Для здійснення органолептичної оцінки пива було обрано 6 зразків пива, отриманих на пивоварних підприємствах України, а саме:

- **Зразок № 1** – Лагер «Світле» з масовою часткою сухих речовин в початковому суслі 11 %;
- **Зразок № 2** – Лагер «Premium» з масовою часткою сухих речовин в початковому суслі 11 %;
- **Зразок № 3** – Британський ель з масовою часткою сухих речовин в початковому суслі 14 %;
- **Зразок № 4** – Milk Stout з масовою часткою сухих речовин в початковому суслі 15,5 %;
- **Зразок № 5** – International Pale Lager з масовою часткою сухих речовин в початковому суслі 12 %;
- **Зразок № 6** – «Lager Czech» з масовою часткою сухих речовин в початковому суслі 11 %.

Дослідні зразки порівнювали з контрольними зразками відповідних типів пива. Для дегустації використовували скляні циліндричні склянки об'ємом 200 см³ та діаметром 60 мм, температура дослідних зразків становила 12-14°C. Порядок дегустації зразків встановлювали за кольором пива та масовій концентрації сухих речовин в початковому суслі (за зростанням).

Дегустаційна оцінка дослідних зразків пива наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Дегустаційна оцінка дослідних зразків пива

Зразок	Назва показника	Дослідний зразок	Контроль
1	2	3	4
Зразок № 1	<i>Зовнішній вигляд</i>	Прозоре, світло-солом'яного кольору зі стійкою мілкозернистою піною білого кольору	Прозоре, світло-солом'яного кольору зі стійкою піною середньої зернистості білого кольору

Сучасна траєкторія розвитку науково-технічного прогресу в Україні та світі

	Аромат	Слабко виражений, солодовий з відтінком варених овочів	Слабко солодовий з легкими зерновими нотами
	Смак	Пустий, ледь відчутна хмелева гіркота, у післясмаці проявляється солодкість. З неприємним «засвіченим» присмаком	Досить нейтральний, солодовий. У післясмаці проявляється незначна солодкість і трав'янисто-хмелева гіркота
	Загальне враження	Неприємний смак без відчутної карбонізації	Легкий, майже позбавлений смаку лагер середньої карбонізації
	Виявлений дефект	«Сонячний» присмак внаслідок утворення етилмеркаптану	
Зразок № 2	Зовнішній вигляд	Прозоре, блідо-жовтого кольору зі щільною піною білого кольору	Прозоре, блідо-жовтого кольору зі щільною піною білого кольору
	Аромат	Нейтральний, ледь солодовий	Легкий солодовий аромат з незначним проявом дріжджового характеру
	Смак	Легкий солодовий смак з нехарактерним гірким присмаком	Децю солодовий з низьким рівнем гіркоти і свіжим післясмаком
	Загальне враження	Не виражений смак та аромат	Легкотілий лагер з нейтральним смаковим профілем і помірною гіркотою
	Виявлений дефект	«Сонячний» присмак внаслідок утворення етилмеркаптану	
Зразок № 3	Зовнішній вигляд	Темно-золотавий колір, піна низька, не стійка білого кольору	Темно-золотого кольору, піна кремового кольору з незначною стійкістю
	Аромат	Сильний хмелевий	Насичений хмелевий з фруктовими нотками

Сучасна траєкторія розвитку науково-технічного прогресу в Україні та світі

	Смак	Пустий, прогірклий смак з сильною нехмелевою гіркотою	Хмелевий, подібний аромату. Відчуття гіркоти середньої інтенсивності
	Загальне враження	Пустий смак з неприємною гіркотою	Насичений хмелевий смак та аромат з м'яким, округлим тілом
	Виявлений дефект	Порожній смак з гірким, терпким післясмаком	
Зразок № 4	Зовнішній вигляд	Темно-брунатний колір з високою, стійкою кремовою піною	Темно-брунатний колір з кремовою піною рудуватого забарвлення
	Аромат	М'який, насичений аромат паленого солоду	М'який аромат паленого зерна з нотами шоколаду
	Смак	Сильно солодовий, гармонійний з нехарактерною кислотою	Профіль паленого солоду з шоколадними нотами, у післясмаці проявляється солодкість і хмелева гіркота
	Загальне враження	Кислий, не збалансований смак	Темний, солодкий повнотілий ель з натяками на паленість
	Виявлений дефект	Незрілий смак з кислим присмаком	
Зразок № 5	Зовнішній вигляд	Світло-золотого кольору з білою щільною піною	Золотавого кольору з білою щільною піною та незначною мутністю
	Аромат	Солодовий з відтінком вареної кукурудзи	Солодовий з пряними хмелевими нотками середньої інтенсивності
	Смак	Зерновий, з незначною гіркотою та відчутним смаком варених овочів	Зерново-солодовий, злегка солодкий з незначною хмелевою гіркотою
	Загальне враження	Легкий, з вираженими овочевими смаком та ароматом	Легкий, свіжий, добре збалансований

			смак з приємною гіркотою
	Виявлений дефект	Диметилсульфід	
Зразок № 6	Зовнішній вигляд	Золотистого кольору з легкою опалесценцією і щільною дрібнозернистою піною	Блідо-жовтого кольору з білою щільною піною
	Аромат	Нейтральний, злегка солодовий	Легкий солодовий з легкими квітковими нотами
	Смак	Солодовий, досить не виражений з масляним присмаком	Солодовий, досить нейтральний зі свіжим післясмаком та незначною хмелевою гіркотою
	Загальне враження	Нейтральний смаковий профіль з масляним присмаком	Світлий, легкотілий лагер з помірною гіркотою та нейтральним смаковим профілем
	Виявлений дефект	Діацетил	

Для перевірки можливості виникнення дефекту «сонячного» присмаку внаслідок утворення етилмеркаптану в пиві, зразки № 1 і № 2 було витримано під дією прямих сонячних променів протягом 60 діб.

Як видно з табл. 2.1, дефекти в пиві можуть зустрічатися незалежно від типу пива. Найчастіше дефекти виникають внаслідок порушення технології виробництва.

Отримані результати свідчать про те, що внаслідок тривалої дії ультрафіолету в фільтрованому пастеризованому пиві може бути утворений етилмеркаптан. Також з'ясовано, що нетривале зберігання непастеризованого пива провокує його скисання, а якщо напій був приготований з порушенням технології, то при зберіганні утворюються дефекти, які роблять неможливим вживання такого пива.

Для більш детальної оцінки смакових властивостей аналізованих зразків пива було створено смакові профілі пива, які наведено на рис. 2.1-2.6.



Рис. 2.1. Смаковий профіль досліджуваного зразка № 1



Рис. 2.2. Смаковий профіль досліджуваного зразка № 2



Рис. 2.3. Смаковий профіль досліджуваного зразка № 3



Рис. 2.4. Смаковий профіль досліджуваного зразка № 4



Рис. 2.5. Смаковий профіль досліджуваного зразка № 5



Рис. 2.6. Смаковий профіль досліджуваного зразка № 6

Органолептична оцінка дослідних зразків пива в балах наведена в табл. 2.2-2.3. Дослідні зразки № 1, № 2 оцінювали за 25-бальною шкалою для фільтрованого пива, а зразки № 3 – № 6 оцінювали – 22-бальною шкалою для нефільтрованого пива.

Таблиця 2.2

**Органолептична оцінка дослідних зразків пива
(фільтроване)**

Зразок №	Найменування показників якості						Сумарна оцінка в балах
	Прозорість	Колір	Аромат	Смак		Піноутворення	
				Повнота смаку	Хмельова гіркота		
<i>Оцінка в балах</i>							
	1-3	1-3	1-4	2-5	2-5	2-5	9-25
1	3	3	2	2	2	4	16
2	3	3	3	2	2	4	17

За результатами оцінювання, наведеними в табл. 2.2 видно, що зразок пива № 2 отримав вищу дегустаційну оцінку – 17 балів, однак смак пива виявився неприємним, різким та невідповідним стилю.

Незважаючи на те, що в кожному з дослідних зразків були виявлені дефекти, це майже не вплинуло на утворення піни та її стійкість у зразків.

Також з табл. 2.2 видно, що виявлені дефекти незначно впливають на ароматику та зовнішній вигляд напоїв.

Таблиця 2.3

**Органолептична оцінка дослідних зразків пива
(нефільтроване)**

Зразок №	Найменування показників якості					Сумарна оцінка в балах
	Колір	Аромат	Смак		Піноутворення	
			Повнота смаку	Хмельова гіркота		
<i>Оцінка в балах</i>						
	1-3	1-4	2-5	2-5	2-5	8-22
3	2	3	2	2	3	12
4	3	4	3	3	5	18
5	3	2	3	3	4	15
6	2	3	3	3	5	16

З табл. 2.3 видно, що найкращим за всіма показниками є зразок № 4. Виявлений в цьому зразку дефект спровокований порушенням режиму зберігання і незначно впливає на аромат, зовнішній вигляд та піностійкість зразка.

Дефекти в зразках № 5 і № 6 пов'язані з порушенням технологічного режиму виробництва. Ці дефекти, а саме наявність ДМС та діацетилу впливають на смак та аромат зразків, однак

майже не впливають на піностійкість. Також в даних зразках наявний незначний осад.

Інтенсивність аромату дослідних зразків пива оцінювали із застосування профільного методу. Результати оцінювання наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Результати оцінювання рівня інтенсивності аромату пива

Характерні ознаки аромату	Оцінка в балах по зразкам пива					
	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 4	Зразок № 5	Зразок № 6
Хмельовий	2	1	4	3	2	2
Солодовий	2	2	3	4	2	3
Свіжий	2	2	2	3	1	3
Насичений	1	2	4	4	2	3
Фруктовий	1	1	1	2	1	1

Відповідно до результатів, отриманих в табл. 2.4 побудуємо профіль аромату досліджуваних зразків пива, представлених на рис. 2.7-2.12.

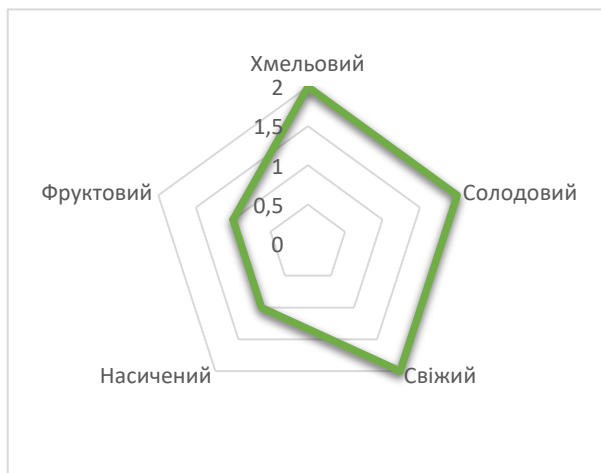


Рис. 2.7. Профілі аромату досліджуваного зразка № 1



Рис. 2.8. Профілі аромату досліджуваного зразка № 2



Рис. 2.9. Профілі аромату досліджуваного зразка № 3



Рис. 2.10. Профілі аромату досліджуваного зразка № 4



Рис. 2.11. Профілі аромату досліджуваного зразка № 5

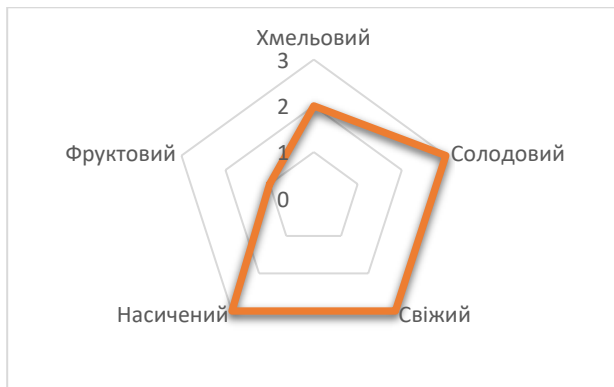


Рис. 2.12. Профілі аромату досліджуваного зразка № 6

2.2. Дослідження якості пива в процесі його зберігання

Для дослідження якості пива в процесі його зберігання було досліджено зразки пива №1 (світле пастеризоване з масовою часткою сухих речовин у початковому суслі 11 %) та № 6 (світле непастеризоване з масовою часткою сухих речовин у початковому суслі 11 %).

Дослідні зразки пива зберігали у склянках з широким горлом в темному місці за температури 20-22°C при постійному контакті з атмосферним повітрям. Після кожної доби зберігання аналізували фізико-хімічні показники зразків.

В табл. 2.5 наведено зміну фізико-хімічних показників дослідних зразків пива в залежності від терміну його зберігання.

Як видно з даних табл. 2.5, рН зразку №6 знизився після 3 діб зберігання, показник титрованої кислотності на 3 добу зберігання перевищив гранично-допустимі ДСТУ [3] значення – 2,8 од. і склав 2,9 од. На 5 добу зберігання спостерігалось швидке помутніння пива. Це свідчить про процес розвитку дріжджів, які не було видалено повністю під час виробництва.

В зразку №1 показник рН знизився на 7 добу зберігання, титрована кислотність перевищила гранично-допустиме ДСТУ [3] значення – 2,8 од. і склала 4,8 од. на 8 добу зберігання. На сьому добу зберігання також спостерігалася поява каламуті, яку можна пояснити біологічним псуванням пива.

Таблиця 2.5

Фізико-хімічні показники якості пива під час зберігання

Показник	Доба зберігання								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Зразок №6									
рН	4,4	4,4	4,4	4,4	4,0	4,0	3,9	3,9	3,7
Титрована кислотність, см ³ 0,1 моль/дм ³ розчину NaOH на 100 см ³ пива	2,2	2,2	2,2	2,9	3,4	3,4	3,8	4,4	5,0
Мутність, од. ЕВС	0,69	0,73	0,75	0,81	1,2	4,09	4,47	4,78	5,23
Колір, см ³ 0,1 моль/дм ³ розчину йоду на 100 см ³ води	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Амінний азот, мг/100 см ³	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,4	13,4	13,3	13,3
Зразок №1									
рН	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,3	4,0
Титрована кислотність, см ³ 0,1 моль/дм ³ розчину NaOH на 100 см ³ пива	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,0	2,3	4,8
Мутність, од. ЕВС	0,31	0,37	0,39	0,42	0,45	0,5	0,62	0,76	0,89
Колір, см ³ 0,1 моль/дм ³ розчину йоду на 100 см ³ води	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Амінний азот, мг/100 см ³	13,4	13,4	13,4	13,4	13,3	13,3	13,3	13,3	13,2

Інші показники якості зразків №1 та №6 не змінювалися. Це можна пояснити тим, що ці показники характеризують колоїдну стійкість пива, а в умовах експерименту біологічне псування наступало раніше.

Для оптимізації досліджень причин виникнення дефектів у пивоварінні було складено математичну модель, на яку діють вхідні та вихідні параметри.

В якості змінної стану було вибрано мутність пива.

На мутність пива впливають наступні показники:

- титрована кислотність;
- тривалість зберігання;
- кількість дріжджів.

Отримана математична модель має вигляд:

$$C_{\text{мут.}} = 1,082 - 0,11 \cdot C_{\text{титр.кисл.}} - 0,046 \cdot C_{\text{трив.збер.}} - 0,007 \cdot C_{\text{к-ть др.}} + 0,0077 C_{\text{титр.кисл.}} \cdot C_{\text{трив.збер.}}$$

Щоб отримати точні значення вхідних параметрів, дотримуючись яких, можна досягти мінімальної мутності готового пива в процесі зберігання, було проведено ще ряд дослідів і змінено діапазон варіювання факторів. Отримані результати опрацьовували за допомогою програми «Statistica» (рис. 2.13-2.18).

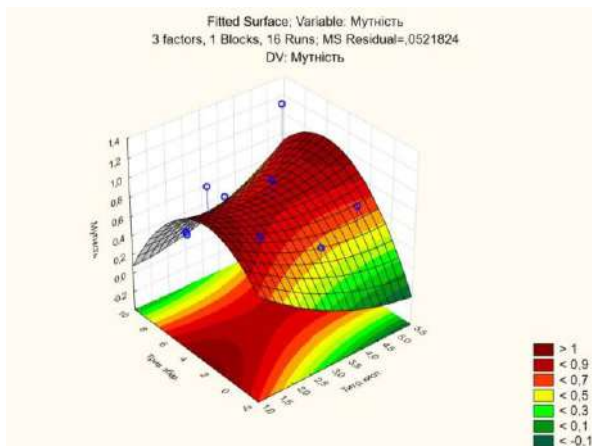


Рис. 2.13

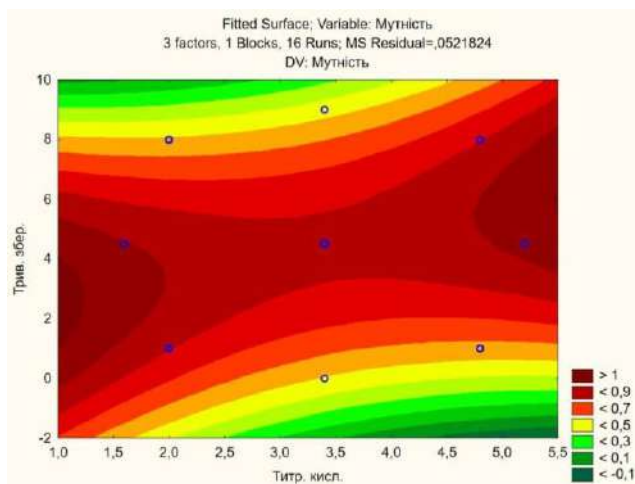


Рис. 2.14

Поверхня відгуку та лінії рівня поверхні відгуку математичної моделі залежності мутності від тривалості зберігання і титрованої кислотності при фіксованій кількості дріжджів, що рівна 20 млн. др. кл. в см³ сула

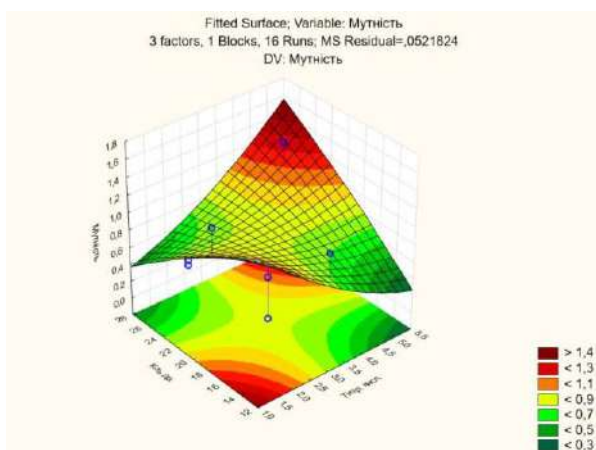


Рис. 2.15

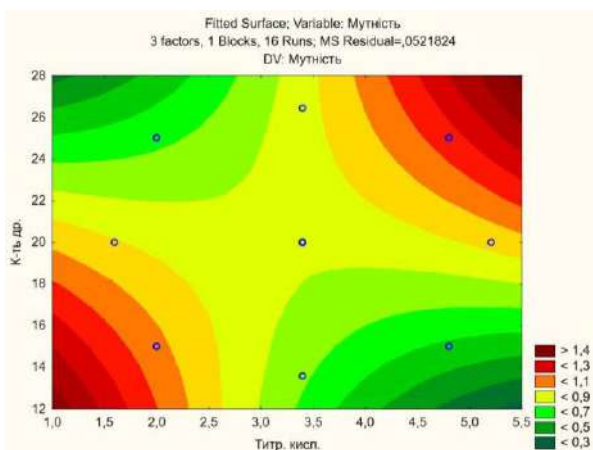


Рис. 2.16

Поверхня відгуку та лінії рівня поверхні відгуку математичної моделі залежності мутності від кількості дріжджів і титрованої кислотності при фіксованій тривалості зберігання, що рівна 4,5 діб

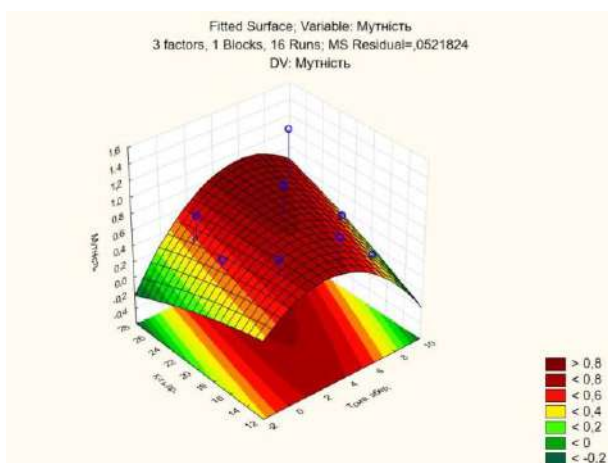


Рис. 2.17

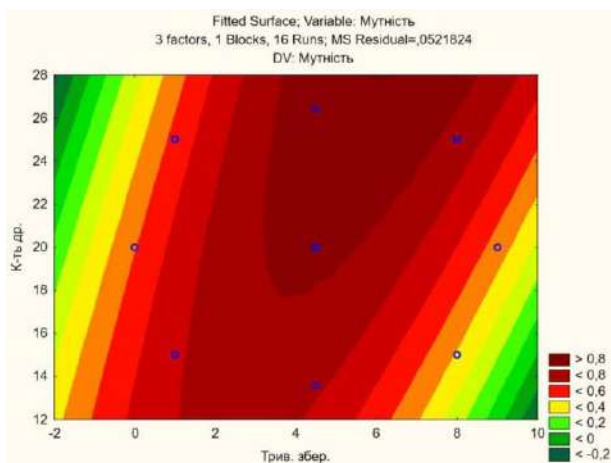


Рис. 2.18

Поверхня відгуку та лінії рівня поверхні відгуку математичної моделі залежності мутності від кількості дріжджів і тривалості зберігання при фіксованій титрованій кислотності, що рівна $3,4 \text{ см}^3$ $0,1 \text{ моль/дм}^3$ розчину NaOH на 100 см^3 пива

Відповідно до проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Дефекти в пиві можуть зустрічатися незалежно від типу пива. Найчастіше дефекти виникають внаслідок порушення технології виробництва. Ці дефекти впливають на смак та аромат пива, однак майже не впливають на піноутворення та стійкість піни.

2. Встановлено, що внаслідок тривалої дії ультрафіолетового випромінювання в фільтрованому пастеризованому пиві може бути утворений етилмеркаптан.

3. При зберіганні непастеризованого пива рН знижується вже після 3 діб зберігання, показник титрованої кислотності на 3 добу зберігання перевищує гранично-допустимі ДСТУ значення – 2,8 од. і складає 2,9 од. На 5 добу зберігання спостерігається швидке помутніння пива. Це свідчить про процес розвитку дріжджів, які не було видалено повністю під час виробництва.

4. При зберіганні пастеризованого пива показник рН знижується на 7 добу зберігання, титрована кислотність перевищує гранично-допустиме ДСТУ значення – 2,8 од. і складає 4,8 од. на 8 добу зберігання. На цьому добу зберігання також спостерігається поява каламуті, яку можна пояснити біологічним псуванням пива.

Висновки

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень було розглянуто причини виникнення дефектів у пивоварінні, що дозволяє зробити наступні висновки:

1. На смак і аромат пива впливає великий спектр органічних і неорганічних речовин. На збалансування в пиві цих речовин істотно впливає кількісний і якісний склад амінокислот в суслі.

2. Для виготовлення якісного пива важливо контролювати кожен етап виробництва починаючи з прийому сировини і закінчуючи умовами зберігання готового продукту.

3. Під час виробництва зустрічаються дефекти, які пов'язані із сировиною, неправильним веденням технологічного процесу, що в подальшому призводить до порушень біологічних та фізико-хімічних властивостей пива.

4. Проблема підвищення стійкості пива набуває першорядного значення у зв'язку зі зростанням вимог до конкурентоздатності пива, розширенням ринку його збуту та реалізації на великій відстані від місця виробництва.

5. Сучасні напрями розвитку технології пива вимагають підвищення якості готового продукту та збільшення стійкості. За таких умов необхідно мати чітке уявлення про механізми утворення дефектів у пивоварінні та способи їх усунення. Процеси помутніння та пов'язані з цим зміни аромату і смаку пива спричиняють дві групи факторів – біологічні, що обумовлені розвитком у готовому пиві мікроорганізмів і визначають біологічну стійкість, та фізико-хімічні перетворення колоїдних речовин пива, які обумовлюють його колоїдну стійкість.

6. Для виявлення дефектів у пивоварінні найпростіше використовувати сенсорну оцінку, що дозволяє оцінити порушення смаку та аромату.

7. Встановлено, що внаслідок тривалої дії ультрафіолетового випромінювання в фільтрованому пастеризованому пиві може бути утворений етилмеркаптан.

8. Найчастіше в пиві зустрічаються дефекти, які пов'язані з порушенням технології виробництва. Ці дефекти впливають на смак та аромат пива, однак майже не впливають на піноутворення та стійкість піни.

9. При зберіганні непастеризованого пива рН знижується вже після 3 днів зберігання, показник титрованої кислотності на 3 добу зберігання перевищує гранично-допустимі ДСТУ значення – 2,8 од. і складає 2,9 од. На 5 добу зберігання спостерігається швидке помутніння пива. Це свідчить про процес розвитку дріжджів, які не було видалено повністю під час виробництва.

10. При зберіганні пастеризованого пива показник рН знижується на 7 добу зберігання, титрована кислотність перевищує гранично-допустиме ДСТУ значення – 2,8 од. і складає 4,8 од. на 8 добу зберігання. На сьому добу зберігання також спостерігається поява каламуті, яку можна пояснити біологічним псуванням пива.

Література:

1. Влияние белка в солоде на качество пива / Б.Г. Цугкиев, А.В. Кожухова, Р.А. Геворкянц, И.В. Киселев. Пиво и напитки. 2007. № 2. С. 22-23.

2. Гернет М.В., Кобелев К.В., Грибкова И.Н. Исследование влияния состава сырья на качество и безопасность готового пива. Часть I. Влияние состава зернового и сахаросодержащего сырья на образование летучих компонентов в пиве. Пиво и напитки. 2015. № 2. С. 32-37.

3. ДСТУ 3888: 2015. Пиво. Загальні технічні умови. [Чинний від 2015-11-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 16 с. (Національний стандарт України).
4. ДСТУ 4282:2004. Солод пивоварний ячмінний. Загальні технічні умови. [Чинний від 2004-1-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 14 с. (Національний стандарт України).
5. Захаренко Д.Г. Формирование качества пива и разработка способов повышения его стойкости в процессе производства: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.18.15 «Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания», КТИПП. Кемерово: 2009. 20 с.
6. Исследование влияния состава сырья на качество и безопасность готового пива. Часть II. Влияние состава зернового и сахаросодержащего сырья на содержание азотистых веществ и глицерина в пиве / М.В. Гернет, К.В. Кобелев, И.Н. Грибкова, А.В. Данилян. Пиво и напитки. 2015. № 3. С. 34-38.
7. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива: пер. с нем. Санкт-Петербург: Профессия, 2009. 1100 с.
8. Меледина Т. В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. Санкт-Петербург: Профессия, 2003. 304 с.
9. Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т. Коллоидная стойкость пива: учеб. пособие. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 90 с.
10. Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т., Афонин Д.В. Качество пива: стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегустация. Санкт-Петербург: ИД «Профессия», 2011. 220 с.
11. Мелетьев А.Є., Олійничук С.Т., Данилова К.О. Дослідження хімічних процесів, що відбуваються під час зберігання готового пива і шляхи підвищення його стійкості. URL: [pr_2017_9_30.pdf](#) (дата звернення 13.10.2021).
12. Мошер Р. Смак пива. Інсайдерський путівник у світі найвидатнішого напою людства. Львів: Видавництво Старого Лева, 2019. 388 с.
13. Нарцис Л. Пивоварение. В 2 т. Т. 1. Технология солодо-рощения. Санкт-Петербург: Профессия, 2007. 584 с.
14. Нарцис Л. Вкус пива и технологические факторы. Brauwelt, Мир пива. 1996. № 2. С. 21-23.
15. Нарцис Л. Краткий курс пивоварения. Санкт-Петербург: Профессия, 2007. 640 с.

16. Покровская Н.В., Каданер Я.Д. Биологическая и коллоидная стойкость пива. Москва: «Пищевая промышленность», 1978. 272 с.

17. Романова З.М., Романов О.С., Косоголова Л.О. Інтенсифікація процесів пивоваріння за участі ферментів. URL: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/38986/1/2017_2.pdf (дата звернення 15.09.2021).

18. Третьяк Л.Н. Проблемы контроля качества пива. Вестник ОГУ. 2012. №9(145). С. 197-203.

19. Третьяк Л.Н., Лосев Ю.А., Бондаренко Е.Г. Контроль качества пива в условиях ограниченно оборудованных пивоваренных лабораторий. Вестник ОГУ. 2015. Т. 2. № 10. С. 144-149.

20. Факторы, формирующие качество пива при высокоплотном пивоварении / Кураева Т.В. и др. Пиво и напитки. 2008. №5. С. 62-64.

21. Annemüller G. Gärung und Reifung des Bieres. Berlin: VLB-Fachbücher, 2013. 872 S.

22. Bamforth C. Beer. Tap into the art and science brewing. 2 ed. Oxford: University press. 2003. P. 246.

23. Bamforth C. W. Beer. A quality perspective. Cambridge: Elsevier. 2007. P. 287.

24. Blanco C., Andres-Iglesias C., Montero O. Low-alcohol Beers: Flavor Compounds, Defects, and Improvement Strategies. URL: https://www.researchgate.net/publication/264798799_Low-alcohol_Beers_Flavor_Compounds_Defects_and_Improvement_Strategies

25. Boulton C., Box W. Formation and disappearance of diacetyl during lager fermentation. 2 ed. Oxford: Blackwell Science. 2003. P. 183-195.

26. Jackson M. Great beer guide. New York: DK Publishing, 2008. 347 p.

27. Kerbe C., Vriesekoop F. An Overview of the Utilisation of Brewery By-Products as Generated by British Craft Breweries. Beverages. 2017. №3(24). P. 2-12.

28. MqQuaid J. Tasty: The art and science of what we eat. New York: Scribner, 2015. 289 p.

29. Optimization of main fermentation oh high-gravity wort / Kosiv R. and other. Chemistry and chemical technology. 2016. Vol. 10. № 3. P. 349-353.

Петраченко Д. О.

*кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
відділу інженерно-технічних досліджень
Інститут луб'яних культур
Національної академії аграрних наук України
м. Глухів, Сумська область, Україна*

СУЧАСНИЙ УКРАЇНСЬКИЙ ТА СВІТОВИЙ РИНОК ПРОДУКЦІЇ З НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ

Коноплі завжди були привабливою культурою, що пов'язано з високою цінністю продуктів їх переробки та широкою сферою використання. У колишніх колективних господарствах країни коноплі забезпечували до 50% прибутків галузі, при цьому площа посівів культури займала близько 10% від усіх площ господарства. В сучасному виробництві промислові коноплі прийнято вважати високорентабельною культурою, що забезпечується відсутністю відходів її переробки. Всі складові рослини – насіння, волокно (довге, коротке), костриця (побічний продукт виробництва волокна) – мають широкий спектр використання в багатьох галузях промисловості та народного господарства. Підвищення світової зацікавленості до конопель змушує і Україну до перегляду ставлення до рослини. Основним фактором успішного розвитку конопляної галузі може стати впровадження останніх інноваційних напрямів переробки з метою одержання затребуваної на споживчому ринку продукції. У світі за останні роки рівень впровадження інновацій в галузі коноплярства збільшується, відкриваючи нові конкурентоспроможні напрями використання продукції з конопель. Необхідність порівняння вітчизняних та світових продуктів з насіння промислових конопель дозволить виявити більш перспективні напрями та визначити вектор подальшого розвитку українського коноплярства. Реалізація визначених напрямів забезпечить нарощування економічного потенціалу виробництва конопляної продукції та підвищить ефективність діяльності суб'єктів господарювання галузі. Метою даної роботи є дослідження та

визначення потенційних напрямів переробки насіння промислових конопель для розширення сфер використання. Це надасть можливість збільшення потенційних каналів експорту продукції на європейському та світовому ринках.

Вступ

Світова практика використання рослини конопель дозволяє виділити три напрями: промисловий (для забезпечення потреб населення), медичний (виготовлення ліків), рекреаційний (немедичне вживання) [1, с. 6]. Визначальним фактором, який обумовлює той чи інший напрям використання, є вміст в рослині конопель тетрагідроканабінолу. Тетрагідроканабінол – психоактивна речовина дельта-9-тетрагідроканабінол, яка міститься в рослинах роду коноплі та змінює свідомість людини викликаючи наркотичне сп'яніння [1, с. 6]. На законодавчому рівні кожна країна індивідуально для себе визначає вміст тетрагідроканабінолу в рослині, до якого коноплі вважаються промисловими, а після наркотичними. В Україні промисловими вважають коноплі, в яких вміст тетрагідроканабінолу не перевищує 0,08%, в країнах ЄС він дорівнює 0,2%, у США, Канаді, Китаї цей показник складає 0,3% [1 с. 8; 2; 3; 4]. Промислові коноплі є соціально безпечними, адже їх вживання не викликає наркотичного сп'яніння.

Не дивлячись на соціальну безпечність промислових конопель, в Україні вирощування рослини мало значні перепони з боку міністерства внутрішніх справ, що значно ускладнювало діяльність господарств. Були регламентовані норми щодо об'єктів та приміщень, обладнання та складів, обов'язкова наявність системи охоронної сигналізації. Також існувала жорстка вимога щодо розміщення посівів. Посіви промислових конопель дозволялося розміщувати на полях, які розташовані не ближче 1 км від населеного пункту, дороги або лісу, та 3 км від державного кордону [5].

Переломним моментом для сучасного коноплярства країни можна вважати серпень 2012 року, коли була прийнята Постанова Кабінету Міністрів України № 800 «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України» [3], якою скасовано обов'язкову охорону посівів конопель із вмістом тетрагідроканабінолу, що не перевищує 0,08%. Однак вирощування промислових конопель в Україні все ще потребує оформлення дозвільних документів, спеціальної ліцензії та квот на посіви. Для

отримання дозволу в міністерство внутрішніх справ необхідно подати перелік документів, серед яких довідка, що підтверджує факт придбання у суб'єктів насінництва, внесених до Державного реєстру виробників насіння і посівного матеріалу, насіння для культивування рослини [1, с. 11; 5].

Відміна обов'язкової охорони посівів промислових конопель позитивно позначилася на галузі коноплярства, адже воєнізована охорона спричиняла значні матеріальні витрати, що, подекуди, зводило рентабельність вирощування культури в нуль. Логічно, що зняття охорони стало стимулом для появи нових суб'єктів господарювання та збільшення посівних площ під культурою. Ще одним з факторів збільшення цікавості до культури став зростаючий попит на конопляне насіння на зовнішніх ринках.

В 2012 році, на момент зняття охорони з посівів, загальна площа під коноплями складала 650 га, а в 2016 році посівні площі досягали 3470 га – це другий показник у Європі після Франції [6, с. 7]. Однак нішевість культури та специфічність культивування конопель, необхідність спеціальної збиральної техніки, відсутність первинної та глибокої переробки призвели до перенасичення ринку коноплесировиною. В результаті пропозиція перевищила попит, що призвело до зниження цінової політики. Деякі господарства відмовились від вирощування культури, деякі знизили посівні площі і в 2020 році промислові коноплі посіяли на загальній площі 2280 га [1, с. 11-12].

Унікальність рослини промислових конопель криється в багатогранності властивостей та можливостей використання культури. Традиційно основним споживачем продукції конопель була текстильна промисловість, адже вироби з конопляних волокон цінуються за натуральність, якість, практичність, довговічність. В сучасному світовому виробництві освоюють нові напрями, де використовують не тільки волокнисту частину рослини, а й насіння, листя, костру, коріння. Паралельно з текстильним напрямком починають розвиватися харчовий, будівельний, енергетичний, тощо, де вхідною сировиною є коноплі.

В Україні ж галузь коноплярства залишається сировино орієнтованою. Коноплевиробники країни при вирощуванні рослини орієнтуються більше на експорт своєї продукції. Це є стримуючим фактором розвитку галузі та унеможливорює інтеграцію української конопляної продукції в міжнародну систему виробництва. Слід зазначити, що розвиток коноплярства

країни – це не тільки розвиток сільського господарства, а й відповідний розвиток суміжних галузей: переробної, харчової, текстильної, косметичної, будівельної тощо.

На сьогодні стрімко починає розвиватися харчовий напрям використання продукції промислових конопель. Цьому сприяє наявність в конопляному насінні поліненасичених жирних кислот, таких як ліолева (Омега-6) та ліоленова (Омега-3), в ідеальному для організму людини співвідношенні. Ці речовини вкрай потрібні для збереження і захисту функцій різних клітин організму. Вони не синтезуються в організмі, а поступають лише з їжею. Завдячуючи біохімічному складу конопляне насіння відносять до категорії природних функціональних харчових продуктів, що позитивно впливають на фізіологію організму людини [4 с. 11; 6 с. 6; 7-10]. За сучасною класифікацією насіння промислових конопель відноситься до «суперфудів» – продуктів рослинного походження з високим вмістом в своєму складі корисних для організму людини речовин [10; 11]. Як результат, насіння промислових конопель та харчові продукти його переробки привертають до себе все більше уваги та викликають не аби який інтерес не тільки у поціновувачів здорового способу життя, а й у широкої маси населення.

1. Що таке промислові коноплі

Промислові коноплі – це технічна лубоволокниста рослина, яку вирощують для одержання волокна та насіння [2, с. 8; 6, с. 9]. Коноплі характеризуються високою пластичністю та не потребують якихось особливих зональних вимог до умов вирощування. За своїм поширенням коноплі можуть культивуватися практично в усіх зонах, придатних для вирощування сільськогосподарських культур [2, с. 8].

В залежності від кінцевої мети вирощування виділяють три напрями: зеленцевий – лише для одержання волокна, двобічний – для одержання волокна і насіння, насінневий – лише для одержання насіння [6, с. 11]. У виробництві акцент робиться на двобічне вирощування культури, адже даний напрям є більш рентабельним [4, с. 133]. Пов'язано це з тим, що для господарства є можливість одержати подвійний прибуток, як від реалізації насіння, так і від реалізації конопляної трести або волокна.

Вирощування промислових конопель нічим не відрізняється від культивування інших сільськогосподарських культур. Проблеми

можуть спіткати в процесі догляду за посівами, а саме під час обприскування. Адже висота рослин на момент обробки може сягати до 1,5 метрів. В цьому випадку рекомендується використовувати засоби малої авіації або безпілотні літальні апарати (дрони).

Необхідно відмітити, що процес збирання посівів промислових конопель істотно відрізняється від збирання інших сільськогосподарських культур. Зеленцевий напрям вирощування рослини потребує наявності спеціальної вузькопрофільної збиральної техніки: жниварок, обертасів, молотарок. А от для збирання двобічних та насінневих посівів використовують сільськогосподарські машини загального призначення та зернозбиральний комбайн. Однак слід враховувати, так як коноплі волокниста культура, то перед збиранням техніка потребує проведення деякої модернізації. Наприклад, необхідно закрити всі обертаючі частини з якими контактує рослина. В іншому випадку відбувається намотування волокнистих комплексів, що може призвести до зупинки і навіть загоряння [5; 6, с. 24].

У конопель відсутня несумісність з іншими сільськогосподарськими культурами, майже немає спільних шкідників і хвороб, тому вони можуть залучатися до будь-яких сівозмін. Вибір попередника визначається післядією добрив, накопиченням у ґрунті решток, вологи, рівнем забур'яненості, можливістю своєчасного проведення всіх агротехнічних заходів. Також можливе вирощування конопель у монокультурі при достатній забезпеченості необхідними елементами живлення [6, с. 16]. Як підтвердження цьому в Інституті луб'яних культур закладено та підтримується унікальний не тільки в Україні, а й світі, дослід з беззмінного вирощування конопель на одному місці починаючи з 1931 року.

В Україні на сьогодні вирощується створена селекціонерами однодомна форма промислових конопель, а у виробництві поширюються тільки вітчизняні сорти [6, с. 11]. Станом на кінець 2020 р. до реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, внесено 13 сортів промислових конопель [1, с. 14]. Сучасні сорти промислових конопель селекції Інституту луб'яних культур поєднують високу продуктивність, скоростиглість, високий вміст волокна. В залежності від сорту вегетаційний період рослини складає 115-135 діб, висота стебла від 2,2 до 3,0 метрів, урожайність стебел від 7,5 до 11,5 т/га, потенційна урожайність насіння 0,7-2,2 т/га [4, с. 68; 6 с. 11].

Ефективність сортів промислових конопель селекції Інституту луб'яних культур визнана і в світі. Результати міжнародних сортовипробувань свідчать, що сорти промислових конопель показали себе як високоврожайні за волокном та насінням, скоростиглі за ступенем дозрівання, унікальні за низьким вмістом тетрагідроканабінолу. В результаті сорти селекції Інституту луб'яних культур зареєстровані в країнах ЄС та Канаді [12].

Традиційною продукцією конопель залишається волокно, яке виділяють зі стебел. В сучасних сортах вміст волокна в стеблах коливається в межах 30-35%. Конопляне волокно дуже міцне, повільно піддається гниттю, довго зберігає свої властивості при використанні в агресивних середовищах, завдяки чому знайшло широке використання при виготовленні різних виробів. Довге конопляне волокно використовують при виготовленні різноманітних кручених виробів, з нього отримують пряжу, різні види технічних та побутових тканин [2, с. 8]. Коротке конопляне волокно використовується при виготовленні нетканих матеріалів, зокрема катоніну, який в подальшому використовується для виготовлення виробів широкого спектру застосування [2, с. 10].

Розвиваються також нетрадиційні напрями використання конопляного волокна. Популярними стають ковдри та подушки з використанням конопляного наповнювача. Новим напрямом є виготовлення хутра з конопляного волокна. Використовують також волокно і при виготовленні товарів для тварин, зокрема повідків та підстилок для собак та котів [1, с. 18].

В світі поширюється використання конопляних волокон при виготовленні різних композитних матеріалів, які за своїми споживчими властивостями значно перевищують вироби на основі мінеральних волокон [2, с. 12].

Під час виділення зі стебел волокна отримують супутній продукт – кострицю, яка знаходить широке застосування. Кострицю використовують для виготовлення паливних брикетів, будівельних, ізоляційних та оздоблювальних плит, підстилок для тварин [2, с. 12]. Новим напрямом використання костриці є її використання в будівництві як альтернатива утеплювачам, а також заміна бетону та цегли [1, с. 17].

Не дивлячись на природні властивості і широкий спектр використання стеблової частини промислових конопель, більш цінним саме для організму людини є конопляне насіння. Насіння

конопель – це невеликий горішок, що складається з насінневого ядра з зародком вкритого плівкою та захисної оболонки (лушпиння), між якими знаходиться повітряний прошарок. Форма насінини наближена до еліптичної, округло-яйцевидна, злегка стиснута з боків. Розмір насінини визначається за трьома параметрами: довжиною (4,49-5,21 мм), шириною (3,30-4,10 мм), товщиною (2,65-3,30 мм), які істотно змінюються навіть в межах одного сорту. Вміст олії в насінні промислових конопель залежить від сорту, погодно-кліматичних умов вирощування та коливається в межах 25,0-38,0% [2, с. 10-12].

Цінність насіння промислових конопель полягає в тому, що воно є джерелом рослинного білка, яке знаходиться в легкозасвоюваній формі. В насінні містяться фітонутрієнти, які необхідні для підтримки нормального стану клітин, судин, внутрішніх органів організму людини. Також конопляне насіння багате на вітаміни А, В, D, Е, кальцій, натрій, залізо. До складу насіння входять поліненасичені жирні кислоти, харчові волокна, ферменти та антиоксиданти [13-17]. Конопляне насіння містить 30,2-38,3% ліпідів, 17,6-25,1% білка, 13,8-26,9% клітковини, 2,5-6,8% золи. Основна цінність – це наявність в складі поліненасичених жирних кислот таких як лінолева Омега-6 (54,31-57,20%) та ліноленова Омега-3 (12,09-14,75%) в ідеальному для організму людини співвідношенні. Ці речовини украй потрібні для збереження і захисту функцій різних клітин організму, вони не синтезуються в організмі, а поступають лише з їжею. В насінні промислових конопель міститься 20 амінокислот, 9 з яких є незамінними для людини [2, с. 10-12]. Згідно до досліджень [18] в конопляному насінні міститься калій (463-2821 мг/100г), кальцій (144-955 мг/100г), магній (237-694 мг/100г), залізо (1133-2400 мг/100г), цинк (42-94 мг/100 г), марганець (63-110 мг/100г). Такий унікальний склад конопляного насіння робить його більш цінним в порівнянні з іншими «суперфудами», такими як насіння кіноа, чіа, льону [16].

Насіння конопель тисячоліттями використовувалось різними культурами в якості харчової добавки з високим вмістом корисних речовин. Більшість спеціалістів радять для вживання певний баланс ненасичених жирних кислот, який відмінно збалансований саме в насінні конопель [19]. В конопляному насінні міститься гама-лінолева кислота, яка наявна в небагатьох харчових продуктах. Дана кислота має позитивний вплив на ряд

серцево-судинних захворювань та дозволяє знизити кількість поганого холестерину [20]. Наявність в насінні білка, який називається гідролізатором, дозволяє знизити кров'яний тиск, тим самим запобігаючи ризику утворення серцево-судинних захворювань. Даний білок має дивовижні терапевтичні переваги для профілактики гіпертонії [21]. Конопляне насіння є джерелом розчинних та нерозчинних харчових волокон (клітковини), які сприятливо впливають на травні процеси. Вплив цих двох типів клітковини на організм може допомогти уникнути ряду легких і серйозних захворювань [22]. В конопляному насінні міститься ряд мінералів, серед яких магній, який має заспокійливий та розслаблюючий вплив на організм людини. Магній володіє різноманітними стимулюючими властивостями щодо ферментів та гормонів, які регулюють сон. Одна ложка конопляного насіння містить біля 50% рекомендованої добової дози магнію [23; 24]. Також в насінні міститься залізо, яке є невід'ємною частиною утворення червоних кров'яних тілець в організмі людини. Дефіцит заліза може призвести до анемії, тому споживання насіння конопель може допомогти запобігти анемії, яка проявляється в таких симптомах, як втома, головний біль, м'язова слабкість і широкий спектр інших симптомів. Залізо також допомагає знизити стрес і занепокоєння [25]. Завдяки такому багатому складу поживних речовин, вітамінів, мінералів, клітковини, жирних кислот вживання насіння промислових конопель має позитивний вплив на імунну систему та допоможе захистити організм від багатьох хвороб [16].

2. Вирощування та продукція з конопель в Україні

Історично Україна займала перші сходинки з вирощування конопель. Однак світові тенденції щодо віднесення рослини до наркотичної та подальша заборона на її вирощування негативно позначилась і на ситуацію в Україні. Ще одним з факторів негативного впливу на коноплярство став розвиток альтернативного синтетичного волокна. За часів існування радянського союзу в Україні вирощували біля 120 тис. га конопель [1, с. 12]. При цьому була добре розвинена мережа як коноплезаводів, так і текстильних фабрик, оліє переробних заводів та заводів глибокої переробки коноплесировини.

Відродження коноплярства стало можливим завдячуючи селекціонерам Інституту луб'яних культур, які в 90-х роках

минулого сторіччя вивели сорти з низьким вмістом, а далі й повною відсутністю тетрагідроканабінолу. Завдяки наполегливій праці селекціонерів вдалося досягнути рекордно низької собівартості продукту в порівнянні з європейськими сортами, де вартість продукту складає 20-30 тис. євро, проти 100-150 у нас [26-27]. Тому вітчизняні сорти промислових конопель для сіви або використання в виробництві харчових продуктів сьогодні виступають головним продуктом для експорту в цій галузі. Незважаючи на спад конопляної галузі Україна зайняла першість у вирішенні наукових проблем з культивування конопель.

На сьогодні посіви промислових конопель мають фрагментарний характер в порівнянні з іншими сільськогосподарськими культурами, наприклад зерновими, які вирощуються по всій території країни. Посіви промислових конопель зосереджені в Вінницькій, Житомирській, Київській, Сумській, Харківській та Черкаській областях. Самі ж площі під коноплями коливаються від декількох соток до сотень гектарів [1, с. 10-12].

Український ринок промислових конопель та продуктів її переробки має низький рівень розвитку. Незважаючи на корисні властивості та перспективність галузі, в країні відсутні сучасні переробні заводи, немає налагоджених ринків збуту продукції, відсутня культура вживання, а також присутні значні законодавчі перепони [5]. До того ж присутня висока конкуренція з боку інших сільськогосподарських культур в усіх сферах, де можливе використання конопель. Український ринок конопляної продукції в основному складається з місцевої продукції. Згідно до аналізу [5] в 2019 році в Україні було вироблено 570 тонн конопляного насіння, 25 тонн олії та 433 тонни макухи. Для прикладу виробництво соняшникової олії в 2019 році склало 6,36 млн. тонн [5].

На зовнішньому ринку українське коноплярство в більшій мірі представлено експортом насіння. Завдяки тому, що в країні добре розвинена селекція промислових конопель, країна постачає посівний матеріал в інші країни. Також насіння експортується в якості виробничої сировини для використання в харчовій та косметичній промисловості. Адже на європейському ринку ціна за одиницю продукції в рази більша, ніж в середині країни. Також Україна експортує незначну частину конопляної олії та макухи [5].

Аналіз внутрішнього ринку продукції з насіння промислових конопель показує, що значним попитом серед населення користуються споживчі товари харчового напрямку. Основним

виробником в цьому сегменті виступає малий бізнес, який і розвиває галузь на даний час. Дослідження українського ринку продуктів з насіння конопель дозволило розділити напрями використання на три основні групи: 1 – конопляне насіння в натуральному вигляді; 2 – готові до вживання харчові продукти переробки насіння (олія, обрушене насіння, макуха); 3 – продукція на основі насіння або готових харчових конопляних продуктів (продукція вторинної переробки).

До першої групи відноситься конопляне насіння в натуральному вигляді. Даний вид продукту є популярним на ринку серед насінневої конопляної продукції через низьку ціну. Продукт представляє собою фасоване конопляне насіння, як правило по 200, 500 та 1000 грамів. Ціна на такий продукт коливається в межах 50-150 грн./кг насіння. Даний вид продукту займає найменшу частку на ринку коноплепродукції. Конопляне насіння в натуральному вигляді використовують безпосередньо в їжу, для приготування різноманітних напоїв, конопляного молока, страв та випічки. Основний недолік даного продукту є наявність на насінні неїстівної оболонки, яка відчувається під час вживання та погіршує смак. Також насіння використовують в якості добавки до корму для годівлі декоративних птахів та приготування приманки в риболовстві [28-32].

До другої групи відносяться продукти переробки конопляного насіння – обрушене насіння конопель та конопляна олія. Обрушене насіння конопель являє собою механічно оброблене насіння, яке звільнене від неїстівної оболонки. По суті це ядро насіння конопель без лушпиння. Даний тип продукту розфасований, як правило, по 250, 500 та 1000 грамів. На ринку представлено також оптове фасування вагою 10 кг. Оптова ціна на обрушене насіння складає 320-350 грн./кг, а роздрібна коливається в межах 450-600 грн./кг [28-32].

Перевага обрушеного насіння в тому, що в результаті відсутності неїстівної оболонки воно не містить неперетравних речовин, тобто повна засвоюваність організмом. На додачу приємний смак під час вживання, що і зумовлює попит і зацікавленість продуктом. За правильного виробництва та додержання технологічних прийомів обрушене конопляне насіння зберігає в собі всі корисні властивості насіння, які закладені природою. Основне використання такого продукту – це вживання в чистому вигляді безпосередньо в їжу. Також обрушене

насіння використовують для виготовлення сирих солодошів, коктейлів, соусів, халви тощо, рецепти яких пропонують як продавці обрушеного насіння, так і мережі здорового харчування [28-32]. Так як в насінні містяться поліненасичені жирні кислоти, то як і всі харчові конопляні продукти, обрушене насіння слід зберігати в закритій упаковці за низьких температур.

До другої групи продуктів також відноситься конопляна олія – рослинна олія, яку отримують в процесі пресування насіння конопель. Конопляна олія відноситься до швидковисихаючих з низькою температурою застигання. На ринку даний продукт реалізується фасований по 100, 200, 250 або 1000 мл. Роздрібна ціна на конопляну олію коливається в межах 350-450 грн./л [28-35]. Конопляну олію використовують для вживання в натуральному вигляді, а також при виготовленні різноманітних соусів та заправок для салатів. Конопляна олія має приємний горіховий смак, не має токсичних і наркотичних речовин і не потребує додаткового очищення, використовується як цінна харчова олія і біологічно активна добавка до їжі [29].

Цінність конопляної олії для людини полягає в ідеальному співвідношенні поліненасичених жирних амінокислот Омега-3 і Омега-6 як 1:3. Дане співвідношення амінокислот повністю засвоюється організмом людини. Ці кислоти вкрай необхідні для збереження й захисту функцій різних клітин організму. Також конопляна олія містить бактерицидні речовини, гліцериди, мікроелементи, вітаміни А, В1, В2, В3, В6, D, Е, антиоксиданти, каротини, фітостероли, фосфоліпіди, мінеральні речовини, включаючи кальцій, магній, калій, сірку, залізо, цинк, фосфор та інші. У конопляній олії високий вміст хлорофілу, який обумовлює її зелений колір, а також є природним антиоксидантом [2, с. 10-12; 7; 8; 36].

В насінні промислових конопель містяться поліненасичені жирні кислоти, які псуються при підвищених температурах, тому для харчових цілей олію необхідно отримувати лише методом холодного віджиму. Метод холодного віджиму характеризується відносно незначним тиском та малими температурами в робочій камері, що є оптимальним для збереження якісних показників олії. Слід враховувати, що унікальний біохімічний склад конопляної олії холодного віджиму потребує певних умов та правил зберігання. Обумовлюється це властивостями поліненасичених жирних кислот, які схильні до швидкого

окиснення. Зберігати конопляну олію треба за низьких температур в закритій пляшці, яка не пропускає сонячні промені.

Ще одним продуктом цієї групи є макуха – супутній продукт одержання олії. Макуха – це знежирена білково-клітковинна сировина, яка має унікальні поживні та енергетичні властивості, які найчастіше значно вище, ніж у самому насінні. Наприклад, білки, що входять до складу насіння, в макусі перетворюються в особливу білкову групу, що складається з корисних амінокислот. Результати власних досліджень показали, що до складу конопляної макухи, яку одержали після вичавлювання олії методом холодного віджиму, входять протеїн (21,16%), жир (11,57%), клітковина (6,68%), БЕР (25,17%). Конопляна макуха є джерелом протеїну, каротину, фітостеролів і фосфоліпідів, калію, цинку, сірки, магнію та клітковини. Конопляна макуха використовується в раціонах дієтичного харчування, в якості добавки для годівлі сільськогосподарських тварин, для годівлі в рибальстві, для виготовлення твердого біопалива. Ціна на конопляну макуху на ринку становить в межах 20-30 грн./кг [28-35]. Однак реалізовувати макуху в натуральному вигляді не вигідно. Враховуючи її корисний потенціал з економічної точки зору більш доцільно переробляти макуху на сипкі конопляні продукти – висівки, борошно, протеїн. Разом з тим конопляна макуха має ряд особливостей: вибагливі вимоги до зберігання через високу гігроскопічність сировини; вологість макухи не повинна перевищувати 10,0-12,0%, в іншому випадку можливе псування продукту по причині появи гіркоти; в разі довгого зберігання відбувається псування продукту через окиснення наявної в складі олії; нестабільність хімічного складу сировини.

До третьої групи відноситься продукція в основі якої знаходиться конопляне насіння або харчові конопляні продукти. Найбільш розповсюдженим товаром на ринку є сипкі конопляні продукти: висівки, протеїн, борошно. Дані продукти отримують в результаті переробки супутнього продукту одержання олії – конопляної макухи. Процес одержання сипких конопляних продуктів передбачає тонке механічне подрібнення макухи, що дозволяє одержати частинки сировини різні за розміром, формою, щільністю. Це пов'язано з тим, що подрібнена макуха є сипкою сумішшю і складається з подрібненого й частково знежиреного ядра, що містить основну кількість протеїну, та подрібненого лушпиння, яке складається переважно з клітковини. Це дає змогу

розділити подрібнену макуху на білкову фракцію ядра і лушпинну фракцію, що складається переважно з клітковини. Подальше просіювання отриманої конопляної суміші дозволяє отримати три готові продукти: висівки – частки розміром більше 0,3 мм; борошно – частки розміром менше 0,3 мм та більше 0,02 мм; протеїн – частки розміром менше 0,02 мм [37].

Конопляні висівки – крупнозернистий продукт темно-зеленого кольору з приємним смаком та запахом. Висівки містять 65% клітковини, в результаті їх використовують як продукт, що здатен покращити процес травлення. Цінність конопляних висівок обумовлена наявністю в складі білків, жирів, мінеральних речовин, вітамінів, фосфатидів і біологічно-активних жирних кислот. Основна перевага – це наявність значного вмісту дефіцитних грубих волокон. На відміну від висівок з інших культур, конопляні висівки мають високий вміст заліза, магнію, цинку, фосфору і вітаміну В6. Вживання висівок допомагає схуднути, відновити обмін речовин і зменшити рівень цукру в крові [37]. Роздрібна ціна на конопляні висівки на внутрішньому ринку становить від 60 грн./кг [28-35].

Конопляне борошно – продукт темно-зеленого з коричневими відтінками кольору, якому притаманний приємний горіховий смак. Конопляне борошно має високу біологічну і харчову цінність. Енергетична цінність борошна становить 290 ккал/100 грам [37]. Конопляне борошно в своєму складі містить біля 38% білків, які збалансовані за амінокислотним складом (лізин, триптофан, лейцин, фенілаланін тощо). Організм людини здатен засвоїти 90,8-97,5% білка, що міститься в борошні. В конопляному борошні міститься 10,4% харчових волокон, 7,9-10,2% жирів. Воно багате на вітаміни групи В (В1, В2, В3, В6), Е та на мінеральні речовини (фосфор, кальцій, магній тощо) [37].

Результати досліджень показують, що конопляне борошно може замінити частину пшеничного борошна при випіканні хліба. Конопляне борошно використовують при виробництві печива, крекерів, мафінів. Рекомендовано використання конопляного борошна для виробництва нових видів макаронних виробів. Досліджено, що заміна 10% яловичини на конопляне борошно під час виробництва напівфабрикатів дозволяє збільшити біологічну цінність продукту при збереженні його споживчих характеристик [37]. Роздрібна ціна на конопляне борошно на внутрішньому ринку становить від 90 грн./кг [28-35].

Конопляний протеїн являє собою темно-зелений однорідний порошок з характерним горіховим присмаком. Конопляний протеїн – повноцінний рослинний білок в легкозасвоюваній формі, в якому також наявні олія та ненасичені жирні кислоти. В ньому міститься біля 50% білка, 20 амінокислот, з яких 8 є незамінними для людини, 12% жирів в тому числі цінні Омега-3 (2,4%), Омега-6 (6,6 %) та Омега-9 (1,8 %), ряд мікроелементів, вітамінів. Також в складі присутня цінна рослинна клітковина (21%). Енергетична цінність конопляного протеїну складає 447 ккал/100 г [37]. Серед сипких конопляних продуктів конопляний протеїн має найбільшу ціну на ринку. Ціна на протеїн складає від 600 грн./кг [28-35].

Конопляний протеїн використовують в якості харчової добавки до щоденного раціону. Завдяки своїм властивостям та текстурі конопляний протеїн використовують в якості унікального джерела рослинного білку. Із збільшенням попиту на здорове харчування та вегетаріанські продукти конопляний протеїн може з легкістю знайти свою нішу [37].

До третьої групи також можна віднести урбеч – густу пасту з цілого або обрешеного конопляного насіння, ціна на яку сягає від 600 грн./кг. Це однорідна густа паста з високою концентрацією білків, вітамінів, мінералів. Користується популярністю по причині високої концентрації корисних речовин в невеликому об'ємі. Вживання такої пасти наповнює організм енергією, підвищує імунітет, є профілактичним засобом [52].

На основі насіння (цілого або обрешеного) та сипких конопляних продуктів можна виготовляти різноманітні соуси, смузі, холодні напої, молоко, хліб, цукерки, печиво, випічку тощо рецепти яких пропонують продавці конопляної продукції [28-35].

Паралельно з харчовим напрямом використання продуктів переробки насіння, на ринку представлений також і косметичний напрям. Через свої властивості конопляна олія широко використовується при виробництві косметичних засобів. Зокрема на основі або з додаванням конопляної олії виготовляють рідкі та тверді мила, креми, пінки, шампуні. В якості очищаючого компонента при виготовленні скрабів використовують розмелене конопляне насіння. Конопляна олія має позитивний вплив на шкіру, сприяє зменшенню зморшок, уповільнює процес старіння, очищує пори. Крем з конопляною олією швидко вбирається, підходить для всіх типів шкіри [36]. Використання деяких шампунів викликає

подразнення шкіри голови по причині змивання гідроліпідної оболонки. Шампуні ж на основі конопляної олії не мають такого ефекту. Завдяки високому вмісту Омега-3 та Омега-6 конопляні шампуні є ефективним засобом для зміцнення волосся, сприяють їх росту та насиченню каротином, стимулюють капіляри та покращують кровообіг шкіри голови [36]. На українському ринку представлені як продукти економ класу ціною від 50 грн. за одиницю, так і преміум класу вартістю 250-850 грн. [28-35].

3. Вирощування та продукція з конопель у світі

В світовій економіці сфера використання продуктів переробки промислових конопель стабільно збільшується. Промислові коноплі набувають статусу стратегічної культури, культивування та переробка якої є пріоритетним напрямом економічної політики урядів багатьох розвинених країн та інвестицій приватного бізнесу. Коноплесировина використовується в медичній, текстильній, легкій, харчовій, косметичній, паперовій, будівельній, авіаційній, паливній та інших галузях [39].

Розвинені країни світу демонструють стійку тенденцію на збільшення попиту на натуральні вироби побутового та харчового напрямів, в тому числі і продукцію з конопель. Завдяки специфічним властивостям, які закладені природою, натуральна продукція не може бути замінена іншими видами. Об'єм світового ринку насіння промислових конопель в 2019 році оцінювався в 710,7 млн. доларів США та за прогнозами аналітиків досягне 1634,6 млн. доларів США до 2027 року, демонструючи середньорічний темп приросту 11,1% протягом зазначеного періоду [40; 41]. Виробники коноплепродукції постійно докладають зусилля щодо впровадження інновацій та представлення на ринку нових продуктів з насіння. Це збільшує популярність та попит на даний вид товарів серед пересічних громадян.

Прогнозується, що попит на конопляне насіння залишиться стабільно високим, завдяки своїй стабільній природі і властивостям. На глобальному рівні конопляне насіння широко використовується в харчовій промисловості завдяки багатому поживному складу. Насіння конопель вживають в сирому вигляді або додають в різноманітні харчові продукти такі, як салати, маргарини, молоко, енергетичні батончики тощо. Конопляне насіння також використовують в пивоварінні та хлібобулочній галузі [41].

За прогнозами [38] європейський ринок продукції з насіння промислових конопель буде збільшуватися високими темпами, показуючи сукупний річний приріст в 12,01% протягом 2020-2027 років. Це пояснюється постійним збільшенням попиту на натуральну продукцію з конопляного насіння, особливо в таких країнах як Нідерланди, Великобританія, Італія, Німеччина.

Стрімкий розвиток ринку конопляної продукції змушує представників Європарламенту приділяти достатньо багато уваги питанням врегулювання «законодавчого поля» для ведення конопляного бізнесу. Комітету з питань екології, соціального забезпечення та санітарного контролю продуктів харчування при Європарламенті було доручено розробити законопроект, в якому можуть бути максимально враховані інтереси як виробників конопляної продукції, так і її потенційних споживачів. При цьому однією з головних цілей майбутнього законодавчого акту є надання рівних можливостей для виробництва товарів і виробів з конопель по всій території Європейського союзу, а також єдині виробничі стандарти, що спростить контроль якості і створить конкурентоспроможне середовище. Слід зазначити, що прийняття єдиної законодавчої бази для конопляної галузі допоможе відокремити легальне ведення конопляного бізнесу від незаконного ринку, а так само підтримає розвиток науково-дослідних програм, спрямованих на вивчення терапевтичних властивостей рослини, які необхідно впроваджувати для більш ефективного його використання [42].

На сьогодні Азійсько-Тихоокеанський регіон займає найбільшу частку ринку насіння промислових конопель, яка сягає 33,6%. Це пов'язано з високим використанням конопляного насіння в таких країнах як Китай, Японія, Австралія, Індія. Крім того, зростаючий ринок товарів з насіння та легалізація промислових конопель є стимулюючим фактором збільшення регіонального ринку коноплярства [41].

Приріст ринку Північної Америки обумовлений збільшенням вживання насіння промислових конопель в США та Канаді. Позитивним фактором в цьому напрямі став законопроект США про сільське господарство 2018 року. Завдяки цьому відкрилися шляхи для легалізації продуктів переробки конопляного насіння, таких як обрешене насіння, протеїн, конопляна олія. Виробники постійно впроваджують інновації, розробляючи нові продукти для збільшення частки на ринку. Для прикладу, бренд Colgate

Palmolive, розробив та представив нові продукти на основі насіння конопель, такі як зубна паста та рідина для полоскання ротової порожнини [41]. Слід відмітити, що для збереження ключових позицій на ринку коноплепродукції, розповсюджена практика поглинання крупними компаніями-гігантами невеликих ключових виробників [41].

Світовий ареал культивування промислових конопель дуже великий. Вирощуванням промислових конопель займаються Франція, Італія, Канада, Нідерланди, Естонія, Румунія, Німеччина, Польща, Китай, Чилі, Австрія, Литва [40]. Слід відмітити, що у багатьох країнах світу, на відміну від України, відсутня власна селекція конопель. Навіть лідер сучасного конопляного ринку (Франція) до недавнього часу не мала своєї селекційної бази. Франція останній час стабільно імпортувала посівний матеріал з України. Сьогодні на французьких полях багато посівів промислових конопель української селекції за ліцензією Інституту луб'яних культур НААН [26].

Першу сходинку серед виробників конопляного насіння займає Франція. В цій країні виробляється близько 68316 тонн конопляного насіння, що складає біля 59% загальносвітового обсягу. Також Франція відзначається значним обсягом виробленої целюлози і паперу з коноплесировини. Це один з найбільш розвинених ринків в країнах Європейського Союзу, на якому французькі компанії контролюють понад 50% ринку конопляного волокна і виробленого з нього кінцевого продукту. Сорти французької селекції придатні для вирощування і на насіння, і на волокно [44].

У Франції в секторі насінництва працює більше 1 тис. співробітників, а оборот фінансових коштів перевищує позначку в 500 мільйонів євро. Лідером французької ринку насінневого матеріалу сьогодні виступає компанія Hauts-de-France, яка є найбільш успішним підприємством не тільки у себе на батьківщині, але і має міжнародний досвід ведення бізнесу. Французькі виробники насінневого матеріалу, в тому числі і конопляного насіння, об'єдналися в міжгалузеву групу під егідою GNIS (національної міжпрофесійної групи насінництва), де спільно проводять дослідження в напрямку створення нових сортів рослин, маркетингу і реалізації насінневої продукції. Сім компаній, що входять в об'єднання GNIS (5 з яких належать Hauts-de-France) в 2017 році виробили 91% – насіння льону і конопель [42].

Вирощування насінневого матеріалу у Франції – строго контрольований процес. Для культивування насіння фермери укладають контракти з насінневими компаніями, де вказується обсяги поставок, терміни і показники якості виробленого продукту. Офіційна служба інспекції та сертифікації (SOC), що входить до складу GNIS і має статус державного органу, контролює і сертифікує вироблений насінневий матеріал [42].

Французький ринок продуктів з насіння конопель представлений, як правило, конопляною олією (45%), яка використовується у харчовій, хімічній та фармацевтичній промисловості. Також тут налагоджено виробництво конопляного борошна та протеїнового порошку, мюслі з насінням конопель. Поширене також обрушене насіння конопель – ядра конопляного зерна, які звільнені від неїстівної оболонки. Цільне насіння конопель використовують для корму тварин [45].

Лідером з вирощування конопель у світі є Китай. Культивування промислових конопель завжди було обов'язковою частиною китайської економіки. Не дивлячись на те, що уряд Китаю завжди боровся з використанням рекреаційних конопель, країна була та залишається одним з найбільших виробників промислових конопель протягом багатьох років [39]. У Китаї коноплі використовуються в текстильній промисловості, з метою зменшити виробництво бавовни і, можливо, навіть замінити його пізніше. На північному сході Китаю існують великі програми по впровадженню ферментативно оброблених волокон конопель в текстильну промисловість. Китайська автомобільна промисловість також використовує волокна конопель для легких конструкцій. Більше 500 патентів були видані в Китаї в конопляній галузі. Вони включають в себе посів, переробку, текстиль, продукти харчування, масло, виробництво паперу, медицину та ін. Більшість з них належать китайським компаніям і приватним підприємцям [42].

Китай має найбільші посіви конопель, які сягають 60 тис. га [45]. Країна займає першу позицію з виробництва та експорту конопляного текстилю та різноманітних виробів до складу яких входять коноплі. Китай виробляє біля 44 тис. тонн конопляного насіння в рік і країна посідає друге місце в світовому рейтингу виробників насіння. Частка Китаю складає 38% загальносвітового обсягу виробництва насіння конопель [44].

Ринок продуктів з насіння конопель в Китаї представлений конопляною олією, борошном, протеїновим порошком, обрушеним насінням та рядом продуктів на їх основі, які особливо корисні для покращення травлення та укріплення імунітету людини. В Китаї розповсюджена практика використання обрушеного насіння конопель в суміші з різними травами для лікування. Адже коноплі в Китаї вважаються однією із п'ятдесяти основних рослин китайського траволікування [45].

В Південній Корей щорічно виробляється близько 14 тис. тонн конопляного насіння, що є другим за величиною показником на теренах Азії. Однак наявні в країні адміністративні бар'єри для вирощування конопель змушують задовольняти внутрішній попит в насінні за рахунок імпорту з Канади [44]. Основними продуктами з насіння є конопляна олія, борошно, протеїновий порошок, обрушене насіння. Дані продукти використовують як в чистому вигляді, так і для приготування різноманітних страв.

В Нідерландах щорічний обсяг насіння промислових конопель складає близько 6614 тонн. Обмежена кількість посівних земель країни не дає можливості для розширення посівних площ під культурою. Тому голландські компанії спрямовують свої зусилля для вирощування конопель з низьким вмістом тетрагідроканабінолу на територіях найбідніших країн ЄС, в першу чергу в Румунії [44]. В Нідерландах найбільш розширений асортимент продукції з насіння конопель. На ряду з основними продуктами (олія, борошно, протеїн, обрушене насіння) тут виготовляють хлібобулочні та кондитерські вироби, напої, каву, цукерки, морозиво тощо. Проте серед цього асортименту значна частка припадає на продукти, які мають ефект наркотичного сп'яніння та змінюють свідомість людини [46].

В Південній Америці лідером з виробництва конопель є Чилі. Тут промислові коноплі культивуються на площі близько 43 тис. га. Щорічний обсяг виробленого в країні конопляного насіння становить біля 4385 тонн. Країна активно займається розвитком коноплярства, організувавши у себе пеньковий ярмарок континенту. Істотним недоліком коноплярства Чилі є відсутність власної селекції і як результат відсутність власного посівного матеріалу. Тому виробники вимушені імпортувати насіння для посіву з Італії та Китаю [19]. Основний напрям використання конопляного насіння в Чилі припадає на виготовлення конопляної олії, що складає близько 85% від всього

обсягу переробки насіння. У Чилі розвинене використання промислових конопель у медичних цілях [45].

Канада є потужним гравцем на конопляному ринку. Культивування конопель зосереджено в трьох провінціях (Альберта, Саскачеван, Манітоб), а загальна площа посівів складає 36 тис. га. Відповідно до «Стратегії розвитку промислового коноплярства» канадської Асоціації торгівлі коноплями, площу посівів промислових конопель планується збільшити до 1 млн. акрів (400000 га) до 2025 року, що може принести від 2,5 до 4 млрд. канадських доларів прибутку [39]. В Канаді насіння конопель використовують для виготовлення олії, борошна, протейну, хлібопекарських та кондитерських виробів, морозива та напоїв, конопляного молока та кави, снєків та печива тощо. В Канаді існує низка підприємств з виготовлення косметичної продукції на основі конопляного насіння та олії [45].

У Великобританії посіви промислових конопель складають близько 9% від посівів Європейського Союзу. Відродження коноплярства країни припало на кінець минулого сторіччя. Були створені сорти промислових конопель, а розроблені та впроваджені нові технології дозволили виготовляти з коноплесировини продукти харчування, парфумерні, будівельні, конструкційні матеріали, які користуються значним попитом як в середині країни, так і за її межами. Країна спеціалізується на використанні насіння конопель для виробництва різноманітних продуктів харчування та засобів особистої гігієни. В розвиток коноплярства інвестуються кошти як приватного бізнесу, так і державні [39].

У Великобританії існує харчова Асоціація конопляних промисловців, яка виготовляє продукцію харчового напряму з насінням конопель. Зокрема тут виробляється декілька видів поживних батончиків з насінням конопель, хлібці з пророслим насінням конопель, морозиво та супи. Дана продукція широко представлена в спеціальних магазинах натуральних продуктів та здорового харчування. Також у Великобританії існує шоколадна фабрика, яка випускає батончики і горіхові плитки на основі обробленого насіння конопель. Біля 15% виробництва цієї фабрики експортується до США та Канади [47].

У США механізм вирощування конопель не визначений, в зв'язку з чим існують обмеження по культивуванню культури на федеральному рівні. Країна являється найкрупнішим світовим імпортером коноплесировини. При чому імпортована сировина

повинна відповідати жорстким вимогам американського законодавства щодо психоактивної складової. Зусилля муніципальної влади окремих штатів щодо зняття обмежень на вирощування промислових конопель стикаються з протидією Управління по боротьбі з наркотиками країни [39].

Не дивлячись на перепони згідно аналізу [39] офіційний об'єм ринку харчових продуктів, косметичних засобів, товарів народного споживання, автозапчастин з біокомпозитних матеріалів на конопляній основі, а також продукції сфери зообізнесу в США склав близько 620 млн. доларів. При цьому офіційний об'єм ринку продуктів харчування та косметичних засобів виріс на 21,2%, що еквівалентно 14 млн. доларам.

В Австралії також розповсюджена практика щодо заборони вільного культивування промислових конопель. Хоча окремі штати практикують ліцензування посівів, однак фермерські господарства з політичних переконань обмежені вирощуванням конопель для одержання волокна та будівельних матеріалів. Це стало перешкодою для отримання доступу до стрімко розвиваючогося світового ринку харчових продуктів з конопель. На сьогодні харчові продукти з насіння промислових конопель заборонені в країні для споживання людиною, навіть незважаючи на те, що в світі існує позитивна практика вживання конопляного насіння [48].

Вирощуванням конопель також займаються в Польщі, Сербії, Чорногорії, Італії, Угорщині, Індії, Білорусії, Туреччині, Ірані. В таких країнах як Данія, Чехія, Словенія, Словаччина, Латвія, Естонія, Португалія промислові коноплі вирощуються у дослідницьких цілях, а їх посівні площі незначні [45].

Світова практика засвідчує, що насіння конопель використовуюється в якості харчової сировини з унікальним жирнокислотним складом для виробництва не тільки традиційних конопляних продуктів (олії, обрушеного насіння, борошна, протеїну). Такий бренд як «Nemp Kettle Tea» випускає чай до складу якого входить насіння конопель. Це дозволяє одержувати традиційний чай з підвищеними поживними властивостями, що досягаються завдяки конопляному насінню. Такий бренд як «Humming Nemp» випускає енергетичні батончики, використовуючи насіння конопель та рослинні інгредієнти. Також насіння конопель використовують для виготовлення кави. Конопляні кавові зерна виготовляють з молотих кавових зерен в суміші з обсмаженим насінням конопель.

Така кава має горіховий присмак, зменшений вміст кофеїну, збагачена вітамінами та мінералами. Існує практика виготовлення гамбургерів, де основний м'ясний інгредієнт замінюється на білкову суміш з конопляного насіння. Основний акцент робиться саме на конопляне насіння, яке наділяє страву смаковими та поживними властивостями. З насіння також виготовляють конопляне молоко – суміш конопляного насіння та води. Маючи добре виражений горіховий смак дане молоко не всім буде до вподоби. Однак таке молоко є здоровою альтернативою тваринному молоку. Такий бренд як «Colorado Gold Distillery» розробив рецептуру та випускає ферментовану та дистильовану горілку з використанням конопляного насіння. В Каліфорнії пивоварня випускає конопляне пиво, в основі якого насіння промислових конопель [49]. Також конопляне насіння використовують при виготовленні солодоців, печива, холодних напоїв, морозива, халви та багатьох інших харчових продуктів [50]. Конопляне насіння слугує основою для виготовлення горіхової пасти та масла, шоколаду, йогуртів, каші, млинців, піци, макаронних виробів, майонезу, сиру тощо [51].

Висновки

Промислові коноплі є високорентабельною сільсько-господарською культурою, сировина якої використовується при виробництві волокна, харчових, косметичних, будівельних, паливо-енергетичних продуктів. При цьому рослина не вибаглива до кліматичних умов і може вирощуватися в будь-якій природній зоні.

Сучасні сорти промислових конопель української селекції є соціально безпечними, адже рівень психоактивних речовин в рослині не викликає наркотичного сп'яніння.

Враховуючи географічне положення та науковий селекційний потенціал Україна має необмежені можливості зайняти першість в світовому промисловому коноплярстві. Однак стрімкий стабільний розвиток потребує усунення обмежувальних заходів у вигляді ліцензій та квот, а також законодавчих бар'єрів, які регламентують обіг продукції.

Завдяки природному біохімічному складу насіння промислових конопель, а також продукти їх переробки, мають високу біологічну цінність для організму людини. Наявність в складі насіння поліненасичених жирних кислот в ідеально

збалансованому стані та комплексу мінералів і вітамінів поправу відносить конопляну продукцію до «суперфудів».

Зростаючий попит населення на натуральну продукцію з підвищеною біологічною цінністю розкриває можливість вітчизняним коноплевиробникам розвивати харчовий напрям переробки та забезпечує потенційними внутрішніми та зовнішніми ринками збуту.

Основною продукцією з насіння промислових конопель в Україні є конопляна олія, обрушене насіння та сипкі конопляні продукти. Однак на відміну від світової практики, в Україні галузь переробки насіння мало розвинена і тримається лише за рахунок невеликого бізнесу.

Невід'ємною частиною розвитку як галузі коноплярства країни, так і напряму переробки насіння, є науково-інноваційна підтримка та впровадження останніх технологій, що дозволить одержувати сучасну продукцію відповідно до потреб споживачів.

Світова практика використання насіння промислових конопель засвідчує про широкий асортимент продукції. Окрім основних продуктів (олія, обрушене насіння, протеїн) існує великий спектр харчових продуктів, алкогольних та безалкогольних напоїв, солодошів, печива тощо, які виробляються на промисловому рівні.

Розвиток ринку українських харчових продуктів не можливий без будівництва сучасних переробних заводів, налагодження постійних внутрішніх та зовнішніх ринків збуту готової продукції. Тому для України залучення інвестицій є найбільш актуальною та необхідною справою як для галузі коноплярства зокрема, так і для аграрного сектору економіки взагалі.

Література:

1. Зелена книга. Ринок технічних конопель. URL: https://cdn.regulation.gov.ua/59/54/a3/1e/regulation.gov.ua_Green%20Book_More%20transparent%20regulation%20of%20industrial%20hemp%20in%20Ukraine.pdf. (дата звернення: 15.10.2021).

2. Коноплі: монографія / за ред. М.Д. Мигалія, В.М. Кабанця. Суми : Видавничий будинок «Еллада», 2011. 384 с.

3. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Кабінет Міністрів України від 22.08.2012 р. № 800. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/800-2012-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.10.2021).

4. Коноплярство: наукові здобутки і перспективи: монографія / В.Г. Вировець та ін. Суми : ФОРМ Шербина І.В., 2018. 158 с.
5. Обзор рынка технической конопли, семян и продуктов переработки в Украине. URL: <https://inventure.com.ua/analytics/investments/obzor-rynka-tehnicheskoy-konopli-semyan-i-produktov-pererabotki-v-ukraine>. (дата звернення: 15.10.2021).
6. Довідник конопляра / Ткаченко С.М., Мохер Ю.В., Лайко І.М. та ін. Суми: Еллада, 2021, 27 с.
7. 9 surprising health benefits of hemp seeds. URL: <http://www.leafscience.com/2014/02/06/9-surprising-health-benefits-hemp-seeds/> (дата звернення: 15.10.2021).
8. Organic shelled hemp seed. URL: <http://www.abundantlifehemp.com/products.php#!/~/product/id=18132195> (дата звернення: 15.10.2021).
9. Hemp seeds URL: <http://navitasnaturals.com/product/454/Hemp-Seeds.html> (дата звернення: 15.10.2021).
10. Що таке суперфуди? URL: <https://medfond.com/korysni-produkty/superfud-korist-ta-shkoda.html> (дата звернення: 15.10.2021).
11. Loyer J. The social lives of superfoods. Journal of the university of Adelaide. 2016. URL: <https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/101777>. (дата звернення: 15.10.2021).
12. Канабець В., Вировець В., Лайкр І. Ненаркотичні посівні коноплі – культура невичерпних можливостей. *Агробізнес сьогодні*. 2012. №11 (234). URL: <http://www.agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/242-nenarkot-ychni-posivni-konopli>. (дата звернення: 15.10.2021).
13. Chen T., He J, Zhang J. The isolation and identification of two compounds with predominant radical scavenging activity in hempseed (seed of *Cannabis sativa* L.). *Food Chemistry*. 2012. Vol. 134 (2). P. 1030 – 1037.
14. Callaway J. C. Hemp as food at high latitudes. *Journal of the International Hemp Association*. 2002. Vol. 7 (1). P. 105–117.
15. Yan X., Tang J, Passos C. Characterization of Lignanamides from Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed and Their Antioxidant and Acetylcholinesterase Inhibitory Activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63 (49). P. 10611 – 10619.
16. 7 proven benefits of hemp seed. URL: <https://www.organicfacts.net/hemp-seeds.html>. (дата звернення: 15.10.2021).

17. Конопля – пища или наркотик? Незаслуженно забытый продукт. URL: <http://nectar.com.ua/konoplja-pischa-ili-narkotik-nezasluzhenno-zabytyj-produkt-a-75.htm>. (дата звернення: 15.10.2021).

18. Mihoc M., Pop G., Alexa E., Radulov I. Nutritive quality of romanian hemp varieties (*Cannabis sativa* L.) with special focus on oil and metal contents of seeds. *Chemistry Central Journal*. 2012. Vol. 6. P. 1 – 12.

19. Survey of minor fatty acids in *Cannabis sativa* L. fruits of various origins. URL: <http://www.druglibrary.net/olsen/HEMP/IHA/jiha4107.html>. (дата звернення: 15.10.2021).

20. Some physical properties of hemp seed. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511003001302>. (дата звернення: 15.10.2021).

21. Analytical characterization of hemp (*Cannabis sativa*) seed oil from different agro-ecological zones of Pakistan. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11746-006-1207-x>. (дата звернення: 15.10.2021).

22. The effect of melatonin, magnesium, and zinc on primary insomnia in long-term care facility residents in Italy: a double-blind, placebo-controlled clinical trial. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21226679>. (дата звернення: 15.10.2021).

23. Higher-protein foods produce greater sensory-specific satiety. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938495021132>. (дата звернення: 15.10.2021).

24. Hempseed as a nutritional resource: An overview. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10681-004-4811-6>. (дата звернення: 15.10.2021).

25. The cardiac and haemostatic effects of dietary hempseed. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2868018/>. (дата звернення: 15.10.2021).

26. Техническая конопля: перспективы развития. URL: <https://propozitsiya.com/tehnichna-konoplya-perspektyvy-rozvytku>. (дата звернення: 15.10.2021).

27. Михайлова Л. І., Коренівська Л. В. Оцінка економічного потенціалу виробництва продукції коноплярства в Україні. URL: http://eaprk.org.ua/sites/default/files/eaprk/2020/01/ekonomikaарк_2020_01_p_33_45.pdf. (дата звернення: 15.10.2021).

28. Магазин товарів фермерського господарства «Екосвіт». URL: <http://fg-ekosvit.zakupka.com/>. (дата звернення: 15.10.2021).

29. Магазин товарів «Десналенд». URL: <https://desna-shop.com/ru/>. (дата звернення: 15.10.2021).

30. Продукти питання из конопляного семени. *Техническая конопля в Украине и других странах*. URL: <http://tku.org.ua/news/1315>. (дата звернення: 15.10.2021).

31. Продукти з насіння конопель. URL: <https://desna-shop.com/uk/produkty-z-konopli/semena-konopli-uk/>. (дата звернення: 15.10.2021).

32. Примаков О. А., Петраченко Д. О. Харчі з конопель. *The Ukrainian Farmer*. 2017. № 7.

33. Конопляні харчові продукти. URL: <https://www.pressreader.com>. (дата звернення: 15.10.2021).

34. Спосіб виробництва морозива з комбінованим складом: пат. 82966 Україна: A23G 9/04. № 200707145; заявл. 25.06.2007; опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10. 4 с.

35. Товари з насіння конопель. URL: <https://s-z.prom.ua/p509619736-manna-nasnnya-hemp.html>. (дата звернення: 15.10.2021).

36. Сова Н. А., Луценко М. В., Вертецький О. В. Характеристика олії з насіння ненаркотичних конопель. Інноваційний розвиток харчової індустрії : зб. наук. праць V між нар. наук.-практ. конф., м. Київ, 14 грудня 2017р. Київ, 2017. С. 163.

37. Сова Н. А., Луценко М. В., Єфімов В. Г., Кургалін С. М. Характеристика сипких конопляних продуктів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків, 2018. Вип. № 45 (1321). С. 207 – 213.

38. Что можно сделать из конопли: 30 вещей. URL: <https://np-mag.ru/obraz-zhizni/dliadoma/chto-mozhno-sdelat-iz-konopli-30-veshhej/>. (дата звернення: 15.10.2021).

39. Мировой рынок конопли посевной. URL: <http://konoplex.ru/zarubezhnyj-opyt/>. (дата звернення: 15.10.2021).

40. Состояние и перспективы мирового коноплеводства. Европа. URL: <https://www.rosflaxhemp.ru/zhurnal/informacija-i-analiz.html/id/2003>. (дата звернення: 15.10.2021).

41. Hemp seeds market size, share & covid-19 impact analysis, by form (whole hemp seed, hulled hemp seed, hemp seed oil, and hemp protein powder), application (food & beverage, personal care products, industrial products, and others), and regional forecast, 2020 – 2027. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com /toc/hemp-seeds-market-103478>. (дата звернення: 15.10.2021).

42. Здійснити моніторинг розвитку галузей льонарства та коноплярства і визначити напрями виробництва конкурентоспроможної продукції для України в сучасних умовах : звіт про НДР / Інститут луб'яних культур НААН; наук. керівник І.О. Маринченко. – Глухів, 2018.

43. Примаков О.А. Тенденції розвитку коноплярства. Економічні аспекти вирощування конопель: мат. семінару-тренінга «Промислові коноплі: вирощування, збирання, переробка», м. Глухів, 2-6 квітня 2018 р. Глухів, 2018. С. 34.

44. П'ятірка світових виробників конопляного насіння URL: <http://www.tku.org.ua/uk/news/5186>. (дата звернення: 15.10.2021).

45. Марченко Ж. Ю. Напрями використання коноплепродукції у світі. *Луб'яні та технічні культури*. Глухів, 2015. № 4. С. 159 – 165.

46. Нідерланды. URL: <https://weedy.biz/netherlands>. (дата звернення: 15.10.2021).

47. Ляліна Н. П. Світовий та вітчизняний досвід використання конопель для виготовлення товарів широкого вжитку. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2014. № 2. С. 86 – 90.

48. Hemp production around the world. URL: <https://hempedification.wordpress.com/2016/08/27/hemp-production-around-the-world/>. (дата звернення: 15.10.2021).

49. 82 real life amazing hemp products to try today. URL: <https://ministryofhemp.com/blog/hemp-products-list/>. (дата звернення: 15.10.2021).

50. Орлов М. М. Шляхи підвищення ефективності коноплярства в Україні. URL: http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/V-Harkivskogo-NAU/V-Harkivskogo-NAU_roslyn/2009_4/pdf/HNAU_FITO_2009_4_11.pdf. (дата звернення: 15.10.2021).

51. Small E., Marcus D. Hemp: A new crop with new uses for North America. ASHS Press. 2015. с. 284 – 326.

52. Что такое урбеч из семян конопли. URL: <https://iz-konopli.ru/urbech-iz-semjan-konopli.html>. (дата звернення: 15.10.2021).

РОЗДІЛ 5. РІВЕНЬ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-247-3-11>

Ігнатишин В. В.

*кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник Відділу сейсмічності
Карпатського регіону*

Інститут геофізики імені С. І. Субботіна

Національної академії наук України

м. Львів, Україна;

доцент кафедри географії та туризму

Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II

м. Берегове, Закарпатська область, Україна

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ПОЛІВ, ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ СУЧАСНИМИ ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ РУХАМИ КОРИ ТА ПРОЯВОМ СЕЙСМІЧНОСТІ ЗАКАРПАТСЬКОГО ВНУТРІШНЬОГО ПРОГИНУ В 2020 РОЦІ

Проведено спостереження параметрів радіоактивного фону середовища в Закарпатському внутрішньому прогині, досліджено зв'язок геофізичних полів із параметрами геодинамічного та сейсмічного станів в регіоні, що характеризується підвищеною сейсмічною активністю з метою покращення екологічного стану Закарпаття. Використано результати спостережень на режимних геофізичних станціях, сейсмічних станціях та пунктах деформометричних спостережень Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Параметри радіоактивного фону (бета випромінювання) спостережували на РГС „Тросник” корелювали із сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому: стиснення порід супроводжувалися підвищеним радіоактивним фоном. Сейсмічність регіону супроводжує інтенсивні рухи кори, згідно часового розподілу швидкостей сучасних горизонтальних рухів кори. Актуальність проведених

досліджень викликана періодичністю сейсмотектонічних процесів та зменшення частоти прояву відчутних місцевих землетрусів. Для даного регіону частота прояву відчутних місцевих землетрусів становить від 2-х до 6 підземних поштовхів. Тому важливо продовження вивчення зв'язку геофізичних полів із сейсмотектонічними процесами та вирішення проблем екологічного стану регіону.

Вступ

Важливість вивчення геомеханічних процесів в сейсмогенеруючих регіонах очевидна оскільки процес дослідження геофізичних процесів необхідний для створення реальної картини геологічних явищ в досліджуваному регіоні. Геодинамічний стан визначає динаміку геологічних процесів в регіоні зокрема сейсмічних явищ. На основі реальної моделі сучасних рухів кори-вертикальних та горизонтальних можна охарактеризувати напружено-деформований стан порід, його стадії в процесі підготовки та прояву місцевої сейсмічності. Для вивчення геодинаміки регіону використовуються різні методи: нахиломірні спостереження, деформометричні спостереження, геодезичні вимірювання, методи дистанційного зондування Землі та інш. Важливе місце в дослідженні геологічних явищ в сейсмонезбезпечних регіонах яким є Закарпатський внутрішній прогин є вивчення факторів, що безпосередньо впливають на процес формування екологічно-небезпечного явища: метеорологічних, гідрогеологічних, агрофізичних та астрофізичних. Необхідно відмітити важливість проведення вимірювання параметрів геофізичних полів, оскільки саме вони першими реагують на геомеханічні зміни навколишнього середовища, а саме на земну кору верхні шари мантії, де можлива генерація енергії, що вивільнятиметься через підземні поштовхи. Саме в рядах спостережуваних параметрів доступних до вивчення геофізичних та інших полів, слід досліджувати ефекти та особливості, що передують прояву підземних стихій. На сьогоднішній період коло доступних до вивчення геофізичних полів невелике, проте і ці поля важливо досконально дослідити на предмет зв'язку а можливо і взаємозв'язку із варіаціями параметрів геодинамічного стану середовища, що є відображенням геологічних процесів в середовищі. В даному дослідженні використано елементи радіоактивного фону

середовища, зокрема бета-випромінювання. Вивченню зв'язку інших геофізичних полів із сеймотектонікою регіону (Закарпатського внутрішнього прогину) приділено достатню увагу, тут отримано вагомі результати, зокрема, вивчення магнітного поля Землі, що на даний період є одним із найдоступнішим методом дослідження. Представлені результати дослідження радіоактивного фону середовища в контексті вивчення їх зв'язку із рухами кори та зареєстрованими місцевими землетрусами є новими. Закарпаття та його геологічні структури є територією, де реєструються місцеві землетруси різної енергії (магнітуди, бальності), на їхньому фоні періодично сейсмічні станції в Закарпатті та прилеглих територіях сусідніх країн, відмічають землетруси більшої магнітуди, відповідно і бальності за шкалою MSK-64. Найголовніша причина подальшого вивчення всіх геофізичних явищ та супроводжуваних їх полів – це безпека людини. Саме це актуалізує інші причини досконального вивчення геодинамічних процесів в екологічно-небезпечних регіонах. **Метою дослідження** є вивчення стану геодинаміки регіону, просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, просторово-часового розподілу параметрів геофізичних полів у мовах підвищеної екологічної небезпеки геологічного характеру. Об'єктом дослідження є сеймотектонічні процеси в регіоні в 2020 році. Предметом дослідження є зв'язки між сучасними горизонтальними рухами кори та сейсмічністю регіону, варіаціями радіоактивного фону середовища та просторово-часовим розподілом сейсмічності в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. Методи дослідження: проведено побудову просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності за 2020 рік, представлено зміщення порід в зоні Оашського глибинного розлому, використано динамічні параметри сучасних горизонтальних рухів кори, представлено часовий розподіл бета випромінювання та досліджено їхні взаємозв'язки. Для вирішення поставлених геофізичних задач використано результати геофізичного, геодинамічного та сейсмічного моніторингу Закарпатського внутрішнього прогину, проведених на режимних геофізичних станціях, пунктах деформометричних спостережень Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України за 2020 рік.

1. Аналіз результатів наукових досліджень геодинамічного та геофізичного станів в регіоні

Дослідженню процесів у верхніх шарах земної кори за результатами геофізичних моніторингів присвячено багато наукових публікацій вчених різних природничих напрямків. Особливо увага приділена регіонам, які небезпечні в плані екологічної безпеки, зокрема Закарпатського внутрішнього прогину та інших сейсмогенеруючих територій. Вивчаються як геологічні так і геофізичні особливості таких територій. Аналізуються зв'язки геофізичних полів та геологічних процесів в регіоні. Зокрема чималу увагу приділено вивченню магнітного поля Землі та його фізичних характеристик.

Геоманітне поле широко застосовується для отримання інформації щодо глибинної будови та розвитку літосфери Землі, дрібномасштабного прогнозування корисних копалин, а також вирішення низки екологічних завдань [1]. Досліджено, що існують критичні величини деформації, при досягненні яких в однорідно-деформованих пружних ізотропних середовищах не можуть поширюватися пружні поздовжні й поперечні хвилі з речовинною швидкістю. Кількісні значення критичних величин деформацій для поздовжніх і поперечних хвиль відрізняються та істотно залежать від застосованих пружних потенціалів [2]. Представлено методику визначення деформаційних характеристик шарів розрахункових моделей ґрунтової товщі для еквівалентного лінійного і нелінійного моделювання її реакції на сейсмічні впливи [3]. Проведено вивчення механізму вогнищ місцевих землетрусів в Закарпатському внутрішньому прогині та відмічена особливість вивчених вогнищ, яка полягає в тому, що в межах тієї самої території відбуваються землетруси протилежних типів що досить логічно з урахуванням того, що в тилловій зоні насувів формуються умови розтягу в тому самому напрямку, що й стиснення в їхній фронтній частині [4]. Розглянуто методики визначення магнітного поля літосфери, проблеми його виділення та інтерпретації, проаналізовано методи моделювання регіональних магнітних тіл, оскільки останні роки накопичився великий об'єм векторних і скалярних магнітних даних, які стали доступними до обробки [5]. Для визначення головних осей тензора напружень за результатами тектонофізичних досліджень в Закарпатті у [6] застосовано кінематичний метод для опрацювання тектонічних дзеркал з бороздами ковзання та

структурно-парагенетичний метод для обробки розривів без слідів переміщення. У зв'язку з ростом кількості природно-техногенних катастроф розроблено систему моніторингу за станом геологічного середовища з використанням сучасного математичного апарату та інформаційних технологій, зокрема локальний моніторинг територій розташування потенційно небезпечних об'єктів– радіоізотопні дослідження густини та вологості ґрунтів по периметру збудованих споруд [7]. У [8] проведено т порівняння сейсмічних зображень, що отримані з використанням графічних процесорів та програмного забезпечення власної розробки, при цьому використано реальні сейсмограми спільних джерел, отримані на площі із складною геологічною будовою та мають некоректну просторову дискретизацією. Виконано аналіз вікових змін магнітного поля Землі та її сейсмічності для періоду 1950–2000 рр. Для аналізу використано головне магнітне поле Землі, що дозволяє вивчати характерні особливості магнітних аномалій з розмірами в перші тисячі кілометрів. Вперше встановлено зв'язок між ділянками з підвищеною сейсмічною активністю та областями додатного приросту "мантієно-літосферної" компоненти геомагнітного поля, які в тектонічному відношенні відповідають зонам зчленування літосферних плит [9]. Розглянуто особливості утворення та поширення низькочастотних сейсмічних сигналів літосферного походження, проаналізовано діапазони поширення мікросейсмічних хвиль у земній корі, визначено умови поширення мікросейсмічних сигналів у земній корі, їх розповсюдження від неоднорідностей геологічного середовища, встановлено характер взаємодії мікросейсм з геологічною будовою на денній поверхні та форму її відображення, проаналізовано характеристики мікросейсмічних хвиль та визначено найбільш інформативний діапазон для геологічного дослідження [10]. Запропоновано концептуальну модель формування Латорицько-Стрийської зсувної зони та Східних Карпат: горизонтальне витискання флішових мас до північного заходу вздовж простягання орогену із сильно стисненої області у менш стиснену область, що розташована перед терейном Алькапа, відмічено різний ступінь стиску флішових утворень перед терейнами зумовлений різною швидкістю руху терейнів у бік флішового поясу[11]. Запропоновано метод, заснований на вивченні закономірностей зміни та розвитку властивостей порід, що є важливим під час

прогнозування, оскільки саме він дає інформацію про явища, які передують зміщенню порід; застосування методу ПІЕМПЗ використовується для здійснення якісного вирішення актуальних питань [12]. Підготовлено електронну тектонічну карту України з векторами горизонтальних складових швидкостей GNSS станцій; відмічено: значення визначених швидкостей є однорідними і з збільшенням часового інтервалу спостережень створюється можливість встановити особливості просторового розподілу руху земної кори на території України [13]. Оцінювання та аналіз деформаційних полів Землі – одне з пріоритетних завдань сучасної геодинаміки, яке вирішується комплексно зусиллями різних природничих наук; розроблена на цій основі методика деформаційного аналізу має вищий інформативний ресурс, забезпечує адекватні GNSS-даним оцінки деформаційних полів і перспективу передачі нелінійних деформацій [14]. Виконано низку трансформацій осереднення гравіметричних і магнітометричних матеріалів та побудовано карти локальних аномалій поля сили тяжіння і магнітного поля. У результаті аналізу морфології спостережених гравімагнітних полів та локальних аномалій виявлено характерні ознаки відображення крупних тектонічних зон, регіональної поведінки поверхні фундаменту, простежено глибинні розломи та палеодолини, виявлено протяжні зони зміни характеру потенціальних полів та побудовано оглядові схеми розломної тектоніки Західного регіону України [15]. Розглянуто міграцію твердої оболонки планети по рідкофазній покрівлі зовнішнього ядра – нижня астеносфера – під впливом ротаційно-гравітаційного механізму. Ротаційно-гравітаційний режим Землі, представляється основним механізмом структурної перебудови тектоносфери, який привів до формування на максимумах різновікових і різноспрямованих антиформ екваторіальних ротаційних рифтогенних здуттів планети [16]. Вивчення матеріалу, з урахуванням нової геолого-геофізичної інформації, свідчить про те, що в межах Західної і Центральної Європи відсутні ознаки, що дають підставу трактувати ділянку земної кори (між Карпатами та Східно-Європейською платформою) як “молоду платформу” [17]. Відмічено: радонові аномалії генеруються радіоактивними елементами ураном і торієм, які концентруються в породах, ґрунтах і підземних водах, особливо в зонах впливу розломів, активних у сучасну епоху; максимальна кількість радону

встановлена в геодинамічних активних зонах покривних відкладів, які пов'язані з розривними порушеннями в корінних породах [18]. Оборнення хвильових форм лише прямих Р-хвиль, дає змогу визначати механізм вогнища землетрусу за даними малої кількості станцій, що особливо актуально у регіонах з порівняно невисоким рівнем місцевої сейсмічної активності [19]. Встановлено, що поверхнева геологія, яка суттєво впливає на поширення сейсмічних хвиль є одним з головних факторів, який визначає сейсмічний ефект на поверхні ґрунту, реакція якого залежить від літологічного складу, фізичних параметрів, потужності, водонасиченості ґрунтових шарів, інтенсивності землетрусу, частотного складу коливань у його джерелі і на покрівлі консолідованого фундаменту під майданчиком [20]. Досліджено зв'язок геофізичних полів із геодинамічним станом в Закарпатському внутрішньому прогині [21]. Розглянуто зв'язок гідрогеологічного та сейсмотектонічного станів в Закарпатському внутрішньому прогині, відмічено гідрогеологічний аспект сейсмотектонічних процесів [22]. Дослідження геофізичних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2019 рік відмітили особливості геодинамічного стану регіону [23]. Дослідження геодинамічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2019 рік вказали на розширення порід та на їх періодичність [24]. Представлено методичні аспекти застосування результатів геофізичних спостережень при вивченні геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину при викладанні „Фізики з основами геофізики при підготовці географів [25]. Показано результати вивчення зв'язку деформацій земної кори із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину за 2017 рік – землетруси відбуваються в інтервалах зміни знаку зміщень земної кори в зоні Оашського розлому [26]. Застосування параметрів кінематики сучасних горизонтальних рухів земної кори при вивченні сейсмічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2017 рік відмітили залежність розрядки напружено-деформованого стану порід від величини швидкості та прискорення сучасних горизонтальних рухів кори [27]. Знаки сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому та сейсмічна активність Закарпатського внутрішнього прогину зв'язані – стиснення порід супроводжується проявом місцевої сейсмічності [28]. Розглянуто особливості просторово-

часового розподілу сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину та геодинамічний стан регіону та вказано на їх періодичність, на залежність часу розрядки геомеханічної енергії від впливу супутника Землі, Сонця [29].

2. Моніторинг геофізичних полів в Карпатському геодинамічному полігоні за 2020 рік

На території Закарпаття спостереження проводяться на пунктах геофізичних, сейсмологічних та деформометричних спостережень Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (рисунок 1).

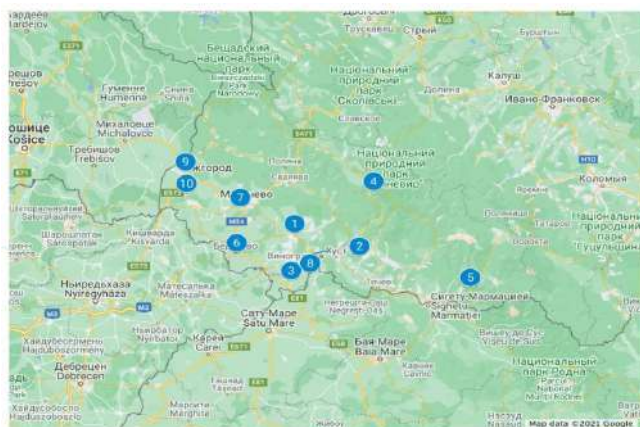


Рис. 1. Сейсмологічні та деформометричні спостереження на Закарпатті. (1 – РГС «Брід»; 2 – РГС «Нижнє Селище»; 3 – РГС «Тросник»; 4 – Сейсмічна станція «Міжгір'я»; 5 – сейсмічна станція «Рахів»; 6 – РГС «Берегове»; 7 – РГС «Мукачеве»; 8 – пункт деформометричних спостережень «Королеве»; 9 – Сейсмічна станція «Ужгород»; 10 – сейсмічна станція «Холмці» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України [30]

Розраховано сучасні рухи кори – зміщення кори, виміряне на пункті деформометричних спостережень „Королеве” за 2020 рік. Вимірювані дані рухів кори в режимі однієї години. Результати вимірювань за допомогою деформометра з азимутом 80 градусів, напрямком схід-захід в штольні пункту деформографічних спостережень „Королеве”. Проведені вимірювання рухів кори в 2019 році вказали на розширення порід кори величиною $+6.5 \times 10^{-7}$. Отримані результати моніторингу деформації земної кори відмітили подальше розширення кори, що спостерігається від 1999 року-початку деформометричних спостережень в регіоні. По-перше вивчено рухи кори в план їх характеру та періодичностей в місячних добових діапазонах. Враховано підсилення деформометра, що становить 0.138 мкм на 1 мм фото запису деформограми. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому є періодичними. Загальна тенденція рухів кори є розширення порід з величиною: $+10 \times 10^{-7}$. Величина зміщення земної кори виміряна на ПДС „Королеве” становить стиснення порід величиною – 28 нстр. Сейсмічність регіону представлена 182 місцевими землетрусами в тому числі одного відчутного, зареєстрованого 23 січня 2020 року на території Березівського району Закарпатської області. Вперше за період з липня 2015 року на території Закарпаття зареєстровано відчутний місцевий землетрус величиною 4-5 бали за шкалою MSK-64. Більша частина місцевих сейсмічних подій реєструється під час стиснення порід, виміряних на ПДС „Королеве”.

Проведено аналіз результатів спостереження β -випромінювання на РГС „Тросник” за період 2020 року. Вимірювання проводяться за допомогою дозиметра, на території режимної геофізичної станції „Тросник” Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Спостереження проводяться за допомогою дозиметра 4 рази на добу, вимірюючи бета -, та гамма-випромінювання. Проведено побудову часового розподілу місцевої сейсмічності, радіоактивного фону, та рухів кори, зокрема її динамічних характеристик в місячному діапазоні та проведено аналіз графіків на предмет вивчення їх зв'язків помісячно (рисунок 2).

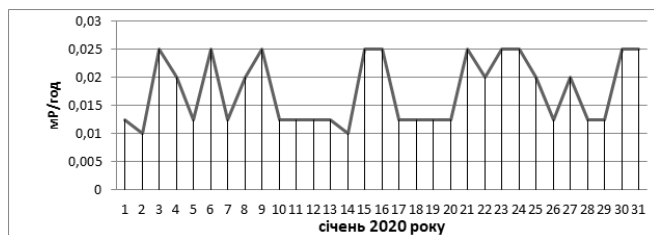


Рис. 2. Варіації радіоактивного фону середовища на РГС «Тросник» в січні 2020 року

Середньомісячна величина спостережуваного випромінювання за січень 2020 року становить 17 мкР/год, на кривій залежності виділено 4 періоди, характерні підвищеними величинами радіоактивного фону. Розглянуто зв'язок варіацій бета-випромінювання на центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (рисунок 3.)



Рис. 3. Сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину (діаграма чорного кольору) та бета-випромінювання на РГС «Тросник» (діаграма сірого кольору) в січні 2020 року

Спостерігаються інтервали підвищених величин радіоактивного фону середовища та інтервали підвищеної сейсмічності регіону, які знаходять в однакових часових інтервалах. Землетруси передують та супроводжують аномальні періоди радіоактивного фону бета-випромінювання. Наклавши на графіки просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіацій радіоактивного фону середовища в регіону за спостережуваний період картину геодинамічного стану

середовища, представлену сучасними горизонтальними рухами земної кори в зоні Оашського глибинного розлому, отримуємо модель геофізичного та сейсмічного стану середовища за січень 2020 року (рисунок 4). Слід відмітити, що 23 січня 2020 року був зареєстрований відчутний місцевий землетрус інтенсивністю 4 бали за шкалою MSK-64, який є першим після тривалого періоду затишшя. Останні відчутні місцеві землетруси на території Закарпаття були зареєстровані в липні – серпні 2015 року, на фоні десятків слабких підземних поштовхів.

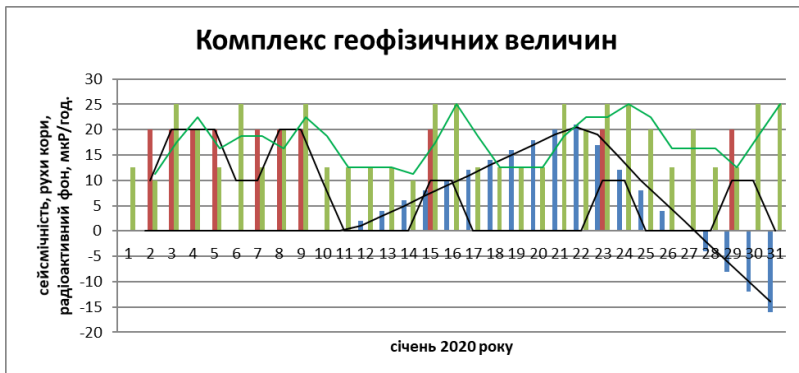


Рис. 4. Сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору); сучасні горизонтальні рухи кори (діаграма синього кольору); радіоактивний фон (бета-випромінювання (діаграма зеленого кольору). Січень 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Геодинаміка регіону за січень 2020 року представлена загальним стисненням порід, динамічною зміною знаку деформацій в другій половині місяця. Знакозмінний процес в рухах кори в другій половині місяця відбувся після сейсмічної активізації регіону, що супроводжувався підвищенням величини бета-випромінювання. Сейсмічність регіону супроводжувала інтервали часу, коли відмічали розширення та стиснення порід, сейсмічність активізувалася також в часових інтервалах інтенсивного переходу системи від розширення до стиснення порід. В лютому 2020 року проведено вимірювання бета-випромінювання на режимній геофізичній станції „Тросник“ показали: середньомісячне значення потужності іонізаційного випромінювання становить 0.015 мР/год (рисунок 5).



Рис. 5. Бета випромінювання на РГС «Тросник» в лютому 2020 року

Періодичні варіації бета-випромінювання в лютому порівняли із сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому (рисунок 6).



Рис. 6. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива чорного кольору) та бета випромінювання (крива сірого кольору) в лютому 2020 року

Варіації радіоактивності в лютому 2020 року представлені на фоні стиснення порід в зоні Оашського глибинного розлому. Підвищення бета-випромінювання супроводжується інтенсивними рухами кори. Попередні дослідження показали на активізацію місцевої сейсмічності в періоди стиснення верхніх шарів земної кори, зокрема, в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, тому актуально побудувати просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в лютому 2020 року (рисунок 7).

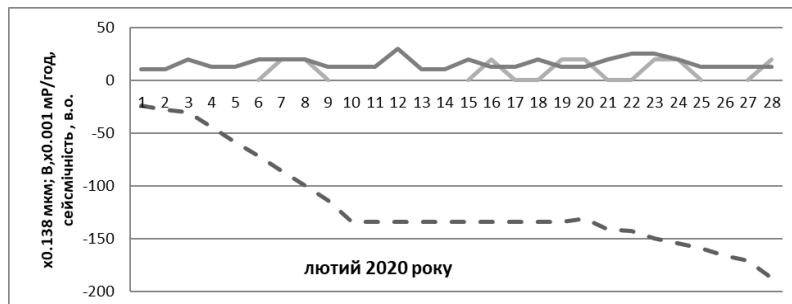


Рис. 7. Комплекс геофізичних спостережень в лютому 2020 року: сейсмічність (крива сірого кольору); бета-випромінювання (крива чорного кольору; рухи кори(штрих – лінія).

Аналіз комплексу геофізичних спостережень в лютому 2020 року показав: сейсмічність регіону відмічена в періоди стиснення земної кори та в другій половині місяця. Таким чином, сейсмічність в Закарпатському внутрішньому прогині реєструється в інтервалах підвищення радіоактивного фону як перед землетрусами так і після них, що може привести до припущення, що землетруси також джерело зміни радіоактивного фону. Фізичний зміст зв'язку радіоактивності середовища та прояву місцевої сейсмічності: інтенсивні рухи кори, та швидкі зміщення порід через струси викликають вивільнення елементів продуктів радіоактивного розпаду, що знаходяться в гірських породах, перенесених туди різними способами. В березні 2020 року зареєстровано середньомісячну величину бета випромінювання на РГС „Тросник” : 0.013 мР/год (рисунок 8).

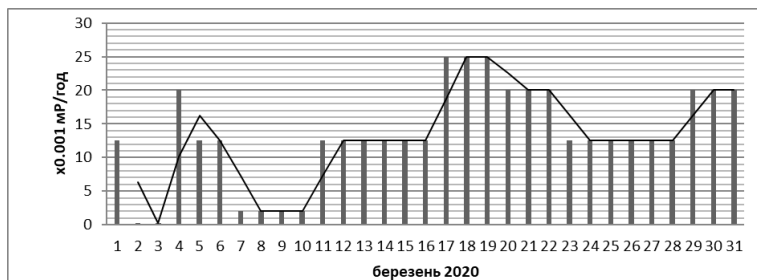


Рис. 8. Бета-випромінювання на РГС «Тросник» за березень 2020 року

Інтенсивність бета-випромінювання зростає прямо пропорційно часові. Розглянуто сейсмічність регіону та радіоактивний фон за березень 2020 року (рисунок 9).



Рис. 9. Радіоактивний фон (бета – випромінювання)-діаграма сірого кольору; сейсмічність регіону (діаграма чорного кольору). Березень 2020 року

Сейсмічність зареєстровано в першій половині місяця в інтервалі низьких величин радіоактивного фону середовища. Побудовано просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, горизонтальних рухів кори та радіоактивного фону в Закарпатському внутрішньому прогині за березень 2020 року (рисунок 10).

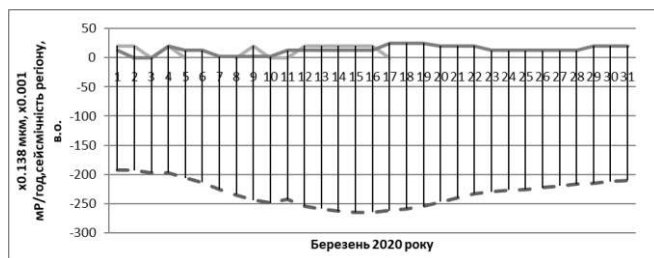


Рис. 10. Сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору); рухи кори (штрих-лінія); радіоактивний фон (діаграма чорного кольору). Березень 2020 року

Сейсмічність в березні 2020 року зростає в інтервали стиснення порід верхніх шарів земної кори, виміряних на пункті деформометричних спостережень „Королеве”. Радіоактивний фон

зростає при динамічній зміні геомеханічних рухів. Квітень 2020 року характерний 17 місцевими землетрусами, радіоактивним фоном середньомісячна величина якого становить: 0.0147 мР/год (рисунок 11, а). Комплексний аналіз сейсмічного стану та радіоактивного фону в квітні 2020 року представлено на рисунку 12, б.

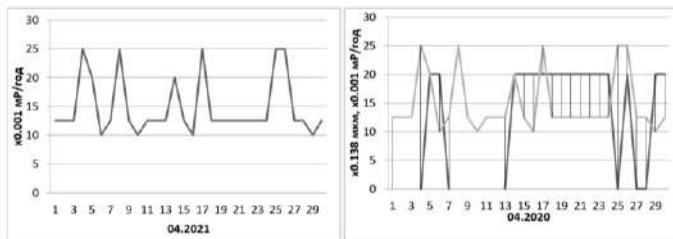


Рис. 11. а) Радіоактивний фон середовища в квітні 2020 року. РГС «Тросник»; б) Радіоактивний фон (крива сірого кольору), сейсмічність регіону (крива чорного кольору). Квітень 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Сейсмічність відмічена в період між двома максимумами радіоактивного фону через добу. Розглянуто геофізичний стан регіону-побудувавши криву сучасних горизонтальних рухів кори за квітень 2020 року, величина розширення кори становить $+4.05 \times 10^7$ (рисунок 12).

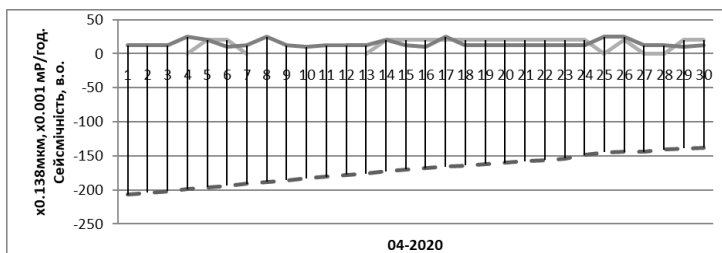


Рис. 12. Комплексний графік залежності геофізичних параметрів за квітень 2020 року: Сейсмічність регіону (крива сірого кольору), радіоактивний фон середовища (крива чорного кольору), рухи кори (штрих-лінія). Закарпатський внутрішній прогин

Загальний характер рухів кори в квітні 2020 року-розширення кори. Представлено варіації параметрів сейсмічності, радіоактивного фону середовища та швидкості сучасних горизонтальних рухів кори (рисунок 13).

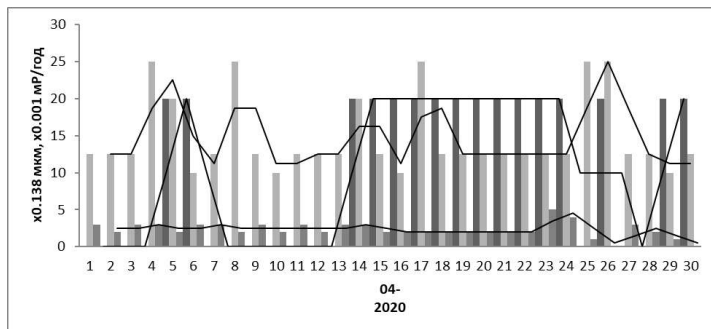


Рис. 13. Сейсмічність регіону (діаграма чорного кольору), швидкість рухів кори (діаграма сірого кольору), радіоактивний фон середовища (діаграма світло-сірого кольору). Квітень 2020 року, Закарпатський внутрішній прогин

Аналіз результатів геофізичних спостережень за квітень 2020 року відмітив особливості геодинаміки регіону: максимальна швидкість рухів кори супроводжується підвищенням величини радіоактивного фону середовища; швидкість рухів кори корелюється із активізацією сейсмічності-пониження швидкості руху відповідає інтервалам реєстрації місцевих землетрусів.

Розглянуто зв'язок радіоактивного фону середовища із динамікою рухів кори за травень 2020 року (рисунок 14).

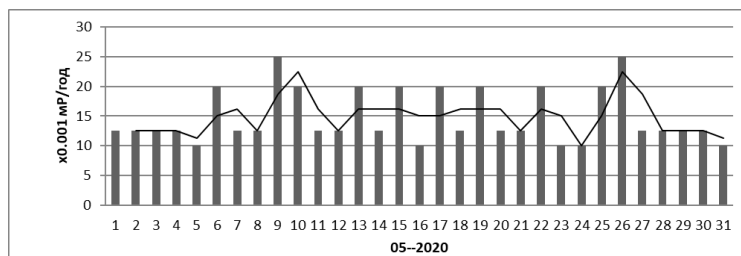


Рис. 14. Варіації радіоактивного фону середовища в травні 2020 року

В травні 2020 року зареєстровано 20 місцевих землетрусів на території Закарпатського внутрішнього прогину, середньомісячна величина радіоактивного фону становить 0.014 мР/год, сучасні рухи кори представляють стиснення порід величиною: -1.23×10^{-7} . Представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, кінематики рухів кори та варіацій бета випромінювання в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину (рисунки 15, 16, 17).

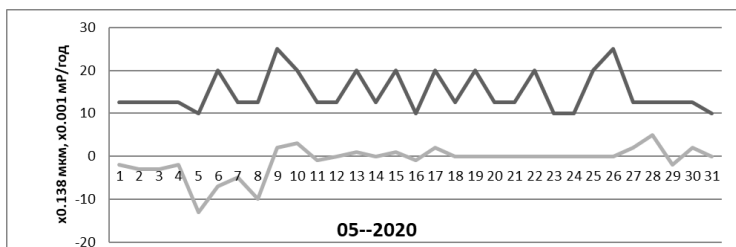


Рис. 15. Кінематика сучасних горизонтальних рухів кори (крива сірого кольору), варіації радіоактивного фону середовища (крива чорного кольору) в травні 2020 року.
Закарпатський внутрішній прогин

Інтервали інтенсивних рухів кори в зоні Оашського розлому супроводжуються підвищеними величинами радіоактивного фону середовища. Розглянуто динаміку геофізичних полів за травень 2020 року (рисунок 16).

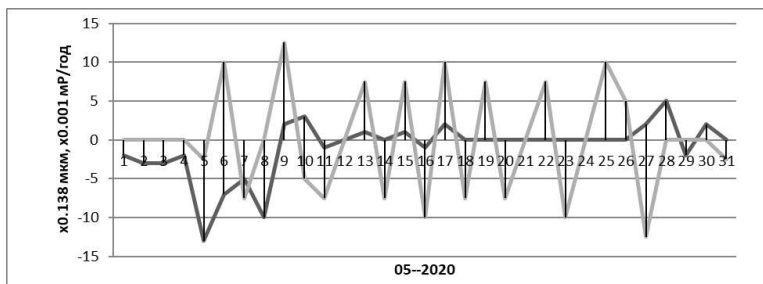


Рис. 16. Кінематика геофізичних полів в травні 2020 року.
Закарпатський внутрішній прогин

Зміни радіоактивного фону середовища викликані змінами динаміки рухів кори-стиснення порід супроводжується підвищенням величини радіоактивного фону середовища. Варіації радіоактивного фону середовища – в одних інтервалах часу із змінами швидкості руху кори: стиснення та розширення кори супроводжується інтенсивними бета випромінюваннями із періодами 2-3 доби.

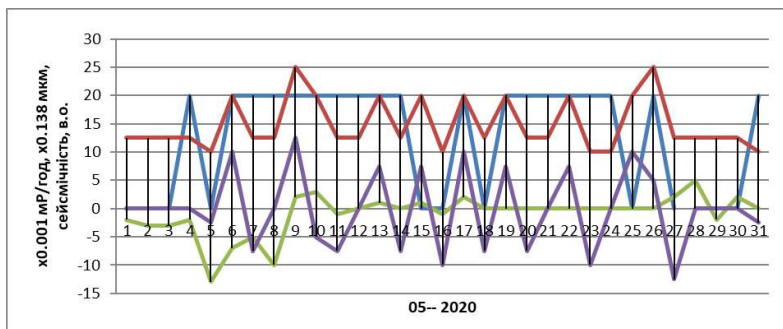


Рис. 17. Сейсмічність (крива синього кольору), швидкість рухів кори (крива зеленого кольору), кінематика рухів кори (крива фіолетового кольору), радіоактивний фон середовища (крива червоного кольору). Травень 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Сейсмічність реєструється в інтервалах інтенсивних змін параметрів рухів кори та радіоактивного фону середовища.

Червень 2020 року. Червень 2020 року відмічений 25 місцевими землетрусами, які зареєстровані сейсмічними станціями та не є відчутними. Проведені вимірювання радіоактивного фону на пункті спостереження (с. Тросник, Берегівський район) показали варіацію параметрів радіоактивності середовища, розраховано середньомісячну величину бета-випромінювання середовища, яке становить 0.01787 мР/год. Вимірювання сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського розлому проведені на пункті деформометричних спостережень „Королеве” відмітили стиснення величиною -10.53×10^{-7} . За результатами геофізичних спостережень в червні 2020 року побудовано графіки залежностей фізичних величин від

часу: радіоактивного фону, сейсмічної активності, сучасних горизонтальних рухів кори та їх параметрів (рисунок 18).

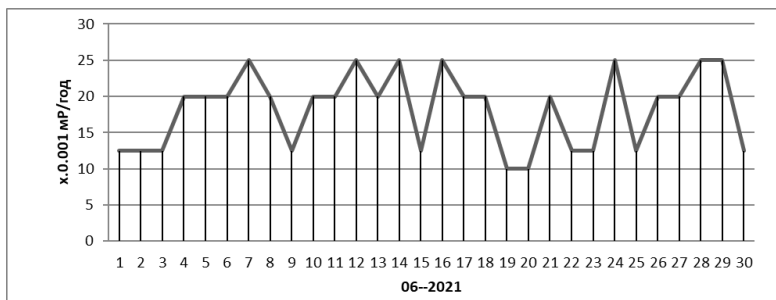


Рис. 18. Бета-випромінювання на РГС «Тросник» в червні 2020 року

Величина бета-випромінювання варіює в межах 10-25 мкР/год, періоди коливання знаходяться в діапазоні 2-5 діб. Розглянуто параметри сучасних горизонтальних рухів кори-зміщення порід на ПДС „Королеве” в комплексі із варіаціями фізичного поля (рисунок 19).

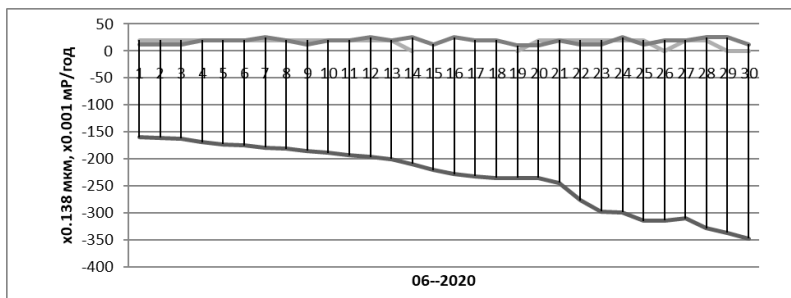


Рис. 19. Зміщення кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива чорного кольору), варіації радіоактивного фону середовища (крива сірого кольору) в червні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Радіоактивний фон змінювався на фоні стиснення порід. Розширення порід супроводжується збільшенням величини бета- випромінювання. Розглянуто просторово-часовий розподіл

місцевої сейсмічності в червні 2020 року на предмет дослідження впливу геофізичних полів на прояв місцевої сейсмічності (рисунок 20).

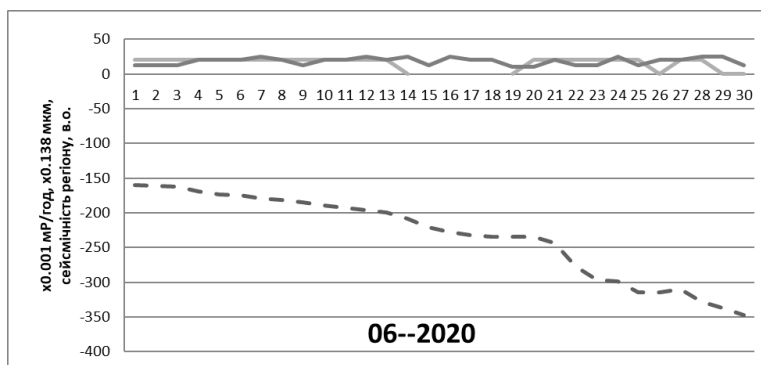


Рис. 20. Рухи кори (штрих-лінія), сейсмічність регіону (крива сірого кольору), радіоактивний фон (крива чорного кольору). Червень 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Сейсмічна активізація регіону проходить в процесі стиснення порід в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину. Показано динаміку сучасних горизонтальних рухів в червні 2020 року та варіацію бета випромінювання в регіоні за досліджуваний період (рисунок 21).

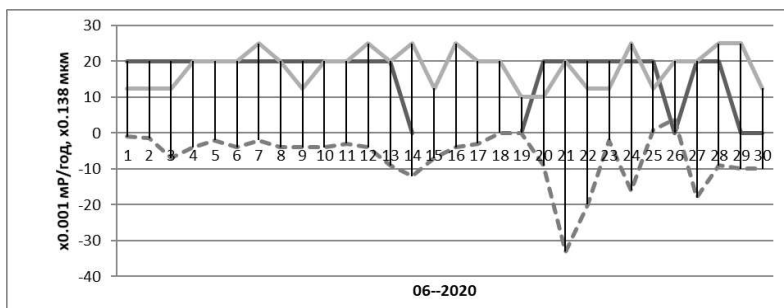


Рис. 21. Сейсмічність регіону (крива чорного кольору), варіації радіоактивного фону (крива сірого кольору), швидкість рухів земної кори (штрих-лінія). Червень 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Використання кінематики сучасних рухів кори дозволило отримати картину зв'язку рухів кори та геофізичного поля: підвищення величини радіоактивного фону середовища відмічено в періоди швидких сучасних рухів кори – стиснень порід (проходить вивільнення продуктів радіоактивного розпаду).

Липень 2020 року. В липні 2020 року сейсмічними станціями в регіоні зареєстровано 51 місцевий землетрус малої магнітуди. Результати спостережень бета – випромінювання на пункті спостереження представлено на рисунку 22. Розраховано середню величину бета-випромінювання за червень 2020 року, яка становить: 0.01616 мР/год.

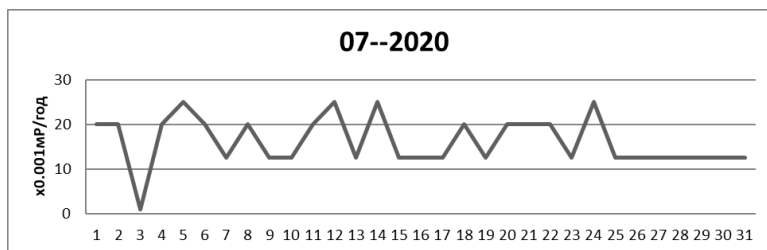


Рис. 22. Радіоактивний фон середовища в липні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Представлено рухи кори в липні 2020 року, проаналізовано інтервали часу із аномальними варіаціями геофізичних полів (рисунок 23).

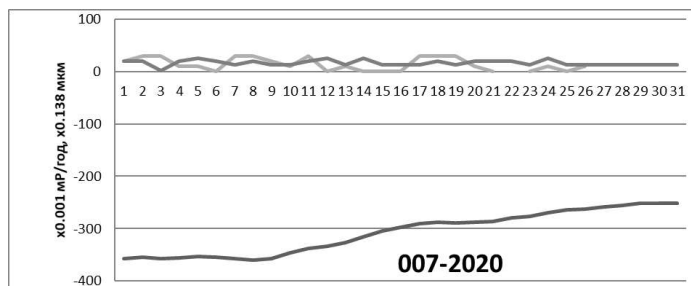


Рис. 23. Рухи кори (крива чорного кольору), радіоактивний фон середовища (крива сірого кольору) в липні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Амплітуди коливань радіоактивного фону на початку місяця більші, в інтервалі нульових рухів кори, розширення кори супроводжується зменшенням амплітуди коливання параметрів радіоактивного фону середовища. Актуально розглянути просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності на фоні сучасних горизонтальних рухів кори та варіацій параметрів радіоактивного фону (рисунок 24).

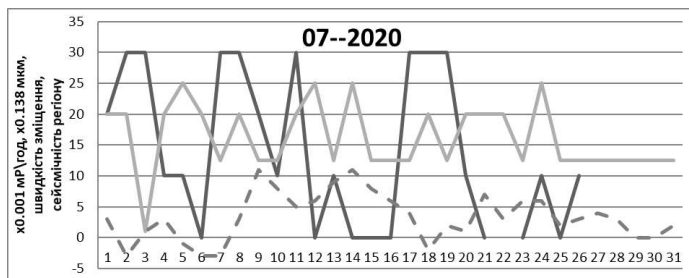


Рис. 24. Сейсмічність регіону (крива чорного кольору), радіоактивний фон середовища (крива сірого кольору), швидкість рухів кори (штрих лінія). Липень 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин

Сейсмічність регіону представлена серіями місцевих слабких землетрусів в першій та другій декаді місяця. Радіоактивний фон середовища, його максимуми співпадають у часі із реєстрацією місцевих підземних поштовхів (рисунок 24). Динаміка горизонтальних рухів земної кори представлена варіацією швидкості зміщень земної кори: точки максимумів та мінімумів кривої швидкості рухів кори зсунуті на 1-2 доби, рухи кори в часовому аспекті передують варіаціям радіоактивного фону середовища. Таким чином, підтверджується припущення реакції геофізичних полів на зміну геодинамічного стану регіону: рухи кори викликають зміну фізичних характеристик гірських порід, що складають верхні шари земної кори, що відображається в варіаціях параметрів цих геофізичних полів.

3. Аналіз геофізичних полів в річному діапазоні за 2020 рік. Радіоактивний фон середовища

Середнє значення радіоактивного фону середовища за 2020 рік становить: 0.0158 мР/год (рисунок 25).



Рис. 25. Радіоактивний фон середовища на РГС «Тросник» за 2020 рік

Зміщення порід в зоні Оашського глибинного розлому за 2020 рік становить: -2.53×10^{-7} (стиснення) (рисунок 26).

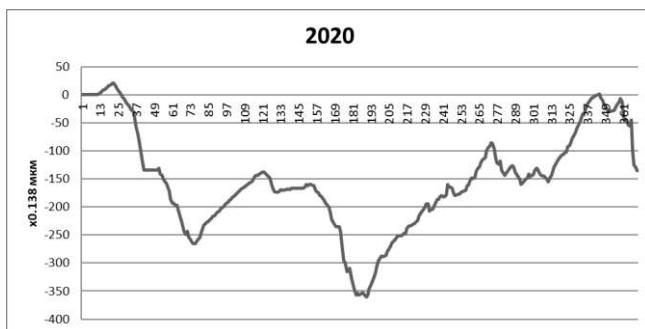


Рис. 26. Зміщення порід в зоні Оашського глибинного розлому за 2020 рік

Сейсмічність регіону представлена просторово-часовим розподілом (рисунок 28).

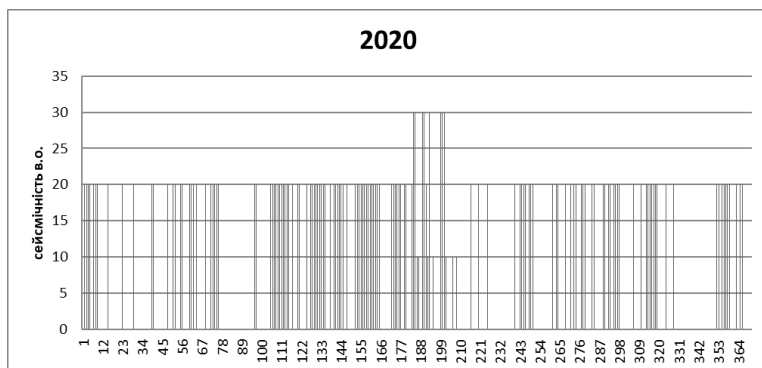


Рис. 27. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік

За 2020 рік на території Закарпатського внутрішнього прогину відбулося 188 місцевих землетрусів. Швидкість рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2020 рік представлено на рисунку 29.

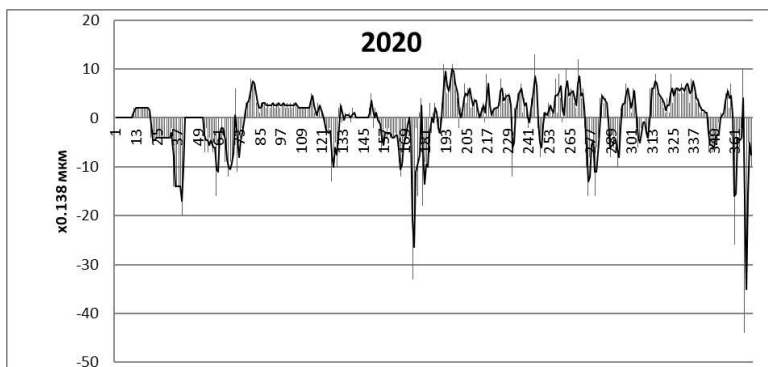


Рис. 28. Швидкість рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2020 рік

Проаналізовано зв'язок параметрів геофізичних полів із місцевою сейсмічністю в річному діапазоні (рисунок 30).



Рис. 29. Радіоактивний фон середовища (діаграма червоного кольору), сейсмічність регіону (діаграма синього кольору), швидкість зміщення верхніх шарів земної кори (діаграма зеленого кольору). 2020 року. Закарпаття

Найбільш активні в сейсмічному прояві інтервали часу пов'язані із аномальними рухами кори, в цей же період радіоактивний фон середовища також характерний динамічними змінами параметрів. Сучасні горизонтальні рухи кори, динаміка їх зміни супроводжуються активізацією місцевої сейсмічності та зростанням радіоактивного фону середовища.

Висновки

Проведені геофізичні спостереження в Закарпатському внутрішньому прогині в 2020 році підтвердили отримані висновки попередніх періодів досліджень геодинамічного стану регіону.

За 2020 рік на території Закарпатського внутрішнього прогину сейсмічними станціями Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України зареєстровано 188 місцевих землетрусів. 23 січня 2020 року зареєстровано відчутний місцевий землетрус інтенсивністю 4 бали за шкалою MSK-64, епіцентр якого знаходився на території Берегівського району Закарпатської області.

Геодинамічний стан регіону визначався за результатами деформометричних спостережень в зоні Оашського глибинного розлому на пункті деформометричних спостережень „Королеве”. Загальний характер сучасних горизонтальних рухів кори за весь

період спостережень становить: $+10 \times 10^{-7}$. За 2020 рік спостерігали стиснення порід величиною: -2.57×10^{-7} .

Починаючи з 2012 року, горизонтальні рухи характерні знакозмінними процесами, до цього періоду спостерігали розширення порід. Підтверджується гідрологічний аспект місцевої сейсмічності. Геофізичні поля реагують на сейсмотектонічні процеси в регіоні.

Параметри радіоактивного фону (бета випромінювання) спостережувані на РГС „Тросник” корелювали із сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому: стиснення порід супроводжувалися підвищенням радіоактивним фоном. Сейсмічність регіону супроводжує інтенсивні рухи кори, згідно часового розподілу швидкостей сучасних горизонтальних рухів кори. Актуальність проведених досліджень викликана періодичністю сейсмотектонічних процесів та зменшення частоти прояву відчутних місцевих землетрусів. Для даного регіону частота прояву відчутних місцевих землетрусів становить від 2-х до 6 підземних поштовхів. Тому важливо продовження вивчення зв'язку геофізичних полів із сейсмотектонічними процесами та вирішення проблем екологічного стану регіону.

Література:

1. М. Орлюк, А. Марченко, М. Бакаржієва. 3D Магнітна модель земної кори Східноєвропейського кратону з урахуванням сферичності Землі та її тектонічна інтерпретація. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 4(79)/2017.с.21-26. ISSN 1728–2713.

2. Г. Кулієв. Про особливості розповсюдження пружних хвиль візотропних середовищах за високих і надвисоких тисків. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 4(79)/2017. с.27-34. ISSN 1728–2713.

3. О. Кендзера, Ю. Семенова. Деформаційні характеристики розрахункових моделей ґрунтової товщі. Вісник київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 3(78)/2017.

4. Д. Малицький, А. Муровська, О. Обідіна, А. Гнип, О. Грицай, А. Павлова, А. Пугач. Визначення полів напружень у земній корі за механізмами вогнищ землетрусів у Закарпатті. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 3(78)/2017. С. 36-45. ISSN 1728–2713.

5. К. Нікітченко. Сучасні підходи до виділення та моделювання магнітного поля літосфери. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 3(78)/2017. С. 51-59.

6. Д. Малицький, А. Муравська, О. Гінтов, А. Гнип, О. Обідіна, С. Мичак, О.Грицай, А. Павлова. Механізми вогнищ землетрусів та поле напружень Солотвинської западини Закарпаття. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 2(77)/2017.с.43-51. ISSN 1728-2713.

7. З. Вижва, В. Демидов, А. Вижва. Статистичне моделювання двовимірного випадкового поля з кореляційною функцією типу Коші в геофізичній задачі моніторингу довкілля. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 1(76)/2017. С. 93-99. ISSN 1728-2713

8. С. Вижва, Г. Лісний, В. Круглик. Застосування графічних процесорів для побудови сейсмічних зображень геологічного середовища. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 4(75)/2016. С. 45-49.

9. М. Орлюк, А. Марченко, А. Роменець. Зв'язок сейсмічності Землі та вікових змін її магнітного поля. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 4(75)/2016. С. 5-054. ISSN 1728-2713.

10. В. Зацерковний, І. Тішаєв, Р. Шульга. Джерела походження та взаємодія мікросейсми з геологічним середовищем. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія 4(75)/2016. С. 82-87. ISSN 1728-2713.

11. О. М. Гнилко. Структури латерального витискання в Карпатах. Геодинаміка 1(22)/2017. С. 16-25. ISSN: 1992-142X (Print) 2519-2663 (Online).

12. Е. Д. Кузьменко, С. М. Багрій, І. В. Чепурний, М. В. Штогрин. Оцінка небезпеки при поверхневих деформацій гірських порід у межах Стебницького калійного родовища методом ПІЕМПЗ. Геодинаміка 1(22)/2017. С. 98-113.

13. S. SAVCHUK, S. DOSKICH. MONITORING OF CRUSTAL MOVEMENTS IN UKRAINE USING GNSS. Геодинаміка 2(23)/2017. С. 7-13.

14. О. Тадеєв. До проблеми елімінації ефектів втрати інваріантності в оцінюванні деформаційних полів Землі за GNSS-даними. Геодинаміка 2(23)/2017. С. 34-45. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.034>.

15. Л. Мончак, С. Анікеев. Відображення тектонічної будови західного регіону України у гравімагнітних полях. Геодинаміка 2(23)/2017. С. 104-118.

16. В. Коболєв. Земля: Виртуальність тектоніки плит, конформність фіксиста і мобіліста. Геодинаміка 2(23) 2017. С. 119-140.

17. О. Ступка. "Молоді платформи" – Традиційні уявлення і реальність (геодинамічний аспект). Геодинаміка 1(24) 2018. С. 51-59.

18. М. Орлюк, А. Марченко, П. Яцевський. Зв'язок радонових і магнітних аномалій на території Українського щита та міста Києва. Геодинаміка 1(24) 2018. С. 80-90.

19. Д. Малицький, А. Гніп, О. Грицай, А. Муровська, С. Кравець, Е. Козловський, А. Микита. Механізм вогнища і тектонічний контекст землетрусу 29.09.2017 р. Поблизу м. Стебник. Геодинаміка 1(24) 2018. С. 100-110.

20. О. Кендзера, Ю. Семенова. Вплив осадової товщі на сейсмічні коливання на території Ташлицької гідроакумуляційної електростанції. Геодинаміка 1(24) 2018. С. 91-99.

21. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Зв'язок геофізичних полів із геодинамічним станом в Закарпатському внутрішньому прогині. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції „Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку„: Зб. Наук. Праць. – Переяслав-Хмельницький, 2019. –Вип. 48. – 227 с. С. 9-15.

22. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Зв'язок гідрогеологічного та сейсмотектонічного станів в Закарпатському внутрішньому прогині. Збірник наукових матеріалів ХХVII Міжнародної науково-практичної інтернет – конференції „Інноваційні пріоритети у розвитку науки„ 18 Лютого 2019 року. Частина 1. м. Вінниця. С. 61-67. 76 с. (6 ст.).

23. В.В. Ігнатишин, Т.Й. Іжак, М.Б. Ігнатишин, А.В. Ігнатишин. Дослідження геофізичних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині „Географія та туризм: Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції Харківського національного педагогічного університету ім. С.І. Сковороди (26 лютого 2019 року) м. Харків / за заг. редакцією проф. Стадника О.Г.-Харків : ХНПУ ім. Г.С. Сковороди, 2019-252 с. (39-47с).

24. Ігнатишин В.В., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Дослідження геодинамічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині. Збірник тез наукової конференції „Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні„ присвячену 50-річчю Інституту геології, геохімії та рудоутворення імені М.П. Семененка, (Київ, 14-16 травня

2019 року). У 2-х томах / НАН України, ІН-т геохімії, мінералогії та рудотворення ім. М.П. Семененка. – Київ, 2019. – Т. 1. – 244 с. С. 19-20. ISBN 978-966 02-8897 3.

25. Ігнатишин В.В. Застосування результатів геофізичних спостережень при вивченні геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину. Матеріали XXIV Міжнародної науково-методичної конференції „Управління якістю підготовки фахівців,,, 18-19 квітня 2019 року. м. Одеса. Частина 2.204 с. С. 55-58. ISSN 2412-1932.

26. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Зв'язок деформацій земної кори із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину за 2017 рік. Регіон – 2019: суспільно-географічні аспекти: матеріали міжнародної науково практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців (м. Харків, 11 – 12 квітня 2019 р.) / Гол. ред. колегії Л.М. Немець. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2019. – 165 С. 146-149.

27. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Кінематика сучасних горизонтальних рухів земної кори та сейсмічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за 2017 рік. Матеріали Международной научно-практической интернет-конференции «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации»: Сб. науч. трудов. – Переяслав-Хмельницький, 2019. – Вып. 45. – 555 с. (с. 5-8).

28. В.В. Ігнатишин, Т.Й. Іжак, М.Б. Ігнатишин, А.В. Ігнатишин. Особливості сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому та сейсмічна активність. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії» // Збірник наукових праць. – Переяслав-Хмельницький, 2019 р. – 163 с. (с. 23-26).

29. Ігнатишин В.В., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Особливості просторово-часового розподілу сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину та геодинамічний стан регіону. Матеріали дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції „Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем,,, 14-16 травня 2019 року. М. Чернігів. Том 2. С. 185-187.

30. URL: https://www.google.com/maps/d/pdf?mid=1a8Caxd_IRw0Gn840Tr41rfgQVGLMvUp&hl=ru&pagew=792&pageh=612&llsw=47.391482%2C21.802482&llne=49.

РОЗДІЛ 6. СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-247-3-12>

Савченко Н. П.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри електричної інженерії

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

м. Покровськ, Донецька область, Україна;

доцент кафедри міського будівництва та господарства

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

м. Краматорськ, Донецька область, Україна

РЕГУЛЮВАННЯ ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧА-РЕГУЛЯТОРА З ГІБРИДНИМИ СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Нерівномірність режиму електроспоживання, а отже і виробництва електроенергії у енергосистемі країни є негативним фактором, який частково можливо усунути залученням споживачів-регуляторів до вирівнювання графіка навантаження енергосистеми. Регулювання графіків навантаження споживачів-регуляторів є основою ефективного управління енергосистемою країни. Застосування інтелектуальних гібридних систем електропостачання з джерелами відновлюваної енергії та інтегрованими в них системами зберігання енергії є новітнім, високотехнологічним методом регулювання навантаження окремого споживача, який потребує подальшого розвитку. Також важливим питанням для забезпечення енергоефективності є організація гібридних систем електропостачання, а саме по-перше доцільність та енергоефективність складових такої системи і по-друге забезпечення ефективного алгоритму керування за допомогою інтелектуальних систем. Реалізація запропонованого методу регулювання навантаження розглянута окремо для кожної групи споживачів електричної енергії з урахуванням

типових графіків електричного навантаження з метою коригування складу гібридної системи електропостачання.

Вступ

Ефективність роботи Об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) країни повністю залежить від забезпечення балансу між спожитою й виробленою електричними станціями енергією. Режими роботи енергосистеми країни наочно представляються графіками електричного навантаження (ГЕН). Оскільки енергосистема несе значні додаткові витрати, викликані нерівномірністю графіка електричного навантаження то питання регулювання ГЕН є актуальними.

Загальний вигляд ГЕН визначає режим роботи енергосистеми, а саме найбільш інформативним є добовий графік навантаження енергосистеми. Так графік зимового максимуму характеризується найбільшим добовим навантаженням енергосистеми, а графік літнього мінімуму характеризується найменшим навантаженням. Форма добового графіка навантаження енергосистеми залежить від багатьох факторів, але завжди має характерні максимуми та спади, визначається характером і тривалістю роботи споживачів електроенергії вона.

Складовими ГЕН енергосистеми є ГЕН споживачів, які здебільшого є нерівномірними. Регулювання параметрів графіків навантаження споживачів дозволить використовувати їх в якості регуляторів навантаження (споживачів-регуляторів) електричних мереж, а це в свою чергу призведе до зменшення фінансових витрат з виробництва електроенергії і підвищенню стабільності та надійності роботи електричних мереж. Враховуючи структуру генерації та споживання електроенергії країни у монографії були виявлені основні категорії споживачів, що мають суттєвий вплив на роботу енергосистеми та можуть бути регуляторами її навантаження.

Вдосконалення існуючих методів регулювання ГЕН можливе за рахунок впровадження інтелектуальних гібридних систем електропостачання споживачів-регуляторів, унаслідок цього у монографії запропоновані їх оптимальні структури.

1. Методи регулювання графіків навантаження

Оскільки енергосистема несе значні додаткові витрати, викликані нерівномірністю режиму електроспоживання, а отже і виробництва електроенергії, одним з дуже перспективних шляхів

економії паливно-енергетичних ресурсів, що витрачаються на вироблення електроенергії, є залучення споживачів-регуляторів до вирівнювання графіка навантаження енергосистеми.

У загальному випадку добові ГЕН електроенергетичних систем (ЕЕС) складаються з графіків окремих споживачів, які, як правило, нерівномірні. При цьому відомо, що щільність і рівномірність графіка навантаження має сильний вплив на економічні показники ЕЕС. Зміна графіків електричних навантажень (споживаної потужності) споживачів дає можливість суттєво скорегувати сумарний графік електричного навантаження ЕЕС в бік зниження потреби в генеруючих потужностях і поточних витрат на виробництво і передачу електроенергії

Типовий добовий графік електричного навантаження (ГЕН), що відбиває добові ритми життя суспільства й характерний для багатьох енергосистем (графіки різних енергосистем відрізняються не стільки формою, скільки рівнем навантаження), наведений на рис. 1. На такому графіку виділяють три тимчасові зони: зону мінімального навантаження (нічний час, або нічний провал) з потужністю не більш P_{\min} , зону середнього, або напівпікового навантаження з потужністю $P_{\text{нп}}$, такою, що $P_{\min} \leq P_{\text{нп}} \leq P_{\max}$, і зону максимального, або пікового навантаження з потужністю не більш P_{\max} . Напівпікова зона характеризується однократним протягом доби значним зростанням навантаження в ранковий час і його глибоким спадом наприкінці доби, а пікова – рядом відносно невеликих підйомів (до рівня максимального навантаження) і спадів (до рівня напівпікової зони) навантаження в денний час доби. Зазвичай присутні один або два максимуми споживання електроенергії: ранковий і вечірній. Перший зв'язаний найчастіше з ранковою зміною роботи промислових підприємств, а другий являє собою сполучення споживання вечірньої зміни підприємств зі споживанням електроенергії в житловому секторі й сфері побутового обслуговування населення. Тому другий пік нерідко перевищує по своїй величині перший [1].

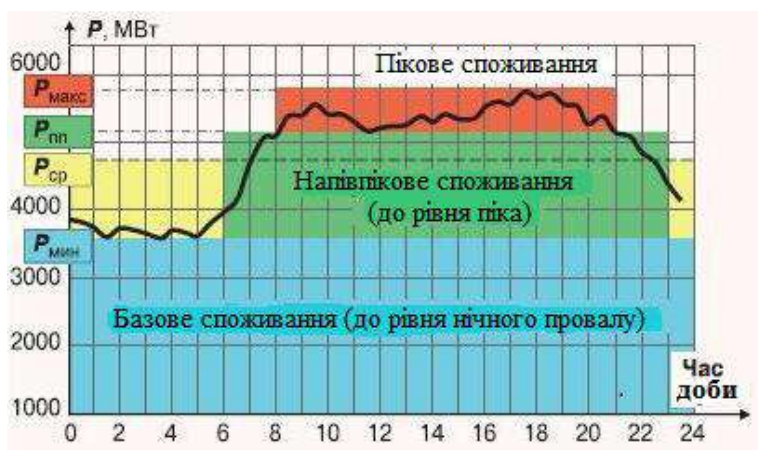


Рис. 1. Типовий добовий ГЕН енергосистеми

Для визначення рівномірності ГЕН необхідно проаналізувати наступну систему аналітичних характеристик:

1. Коефіцієнт нерівномірності.

$$\alpha = P_{\min} / P_{\max}, \quad (1)$$

де P_{\min} і P_{\max} – відповідно мінімальне та максимальне електричне навантаження.

2. Коефіцієнт заповнення.

$$\beta = P_{\text{сп}} / P_{\max}, \quad (2)$$

де $P_{\text{сп}}$ – середнє значення електричного навантаження.

3. Максимальний діапазон регулювання навантаження.

$$\Delta P_{\max} = P_{\max} - P_{\min}, \quad (3)$$

4. Напівпіковий діапазон регулювання навантаження.

$$\Delta P_{\text{пі}} = P_{\text{пі}} - P_{\min}, \quad (4)$$

5. Піковий діапазон регулювання навантаження.

$$\Delta P_{\text{п}} = P_{\max} - P_{\text{пі}}. \quad (5)$$

Згідно наведених вище характеристик ГЕН буде рівномірний якщо в системі характеристик матимемо наступні рівняння:

$$\alpha = \beta = 1, \quad (6)$$

$$P_{\text{мін}} = P_{\text{макс}} = P_{\text{ср}}, \quad (7)$$

$$\Delta P_{\text{макс}} = \Delta P_{\text{п}} = \Delta P_{\text{пн}} = 0. \quad (8)$$

Ідеально рівномірних ГЕН не існує, тому реальне наближення до рівномірності ГЕН з характеристикою $\alpha = 0,9$ розглядається як високий показник.

Характеристики ГЕН залежать від наступних факторів: добові ритми життя суспільства, сезонні зміни енергоспоживання; тривалість світового дня; природна освітленість; метеофактори (температура повітря; вологість, тиск); належність доби до певного типу дня, тижня та ін.[1;2].

Особливістю об'єднаної енергосистеми України є нерівномірний характер добових ГЕН, тому цій проблемі приділяється багато уваги та розроблено декілька основних методів та способів регулювання навантаження.

За формою графіка навантаження існує два способи регулювання ГЕН.

Ущільнення ГЕН виконується підключенням додаткових електроприймачів в години мінімуму навантаження. За рахунок цього середнє за період навантаження зростає, а максимум її залишається незмінним. Тим самим щільність графіка зростає, а нерівномірність зменшується. Недоліком ущільнення ГЕН є зростання площі під графіком навантаження й відповідно зростання кількості виробленої електроенергії [3].

Ущільнення ГЕН застосовують в надлишкових або збалансованих по активній потужності енергосистемах.

Вирівнювання ГЕН виконується перенесенням часу роботи електроприймачів з годин максимуму на години мінімуму навантаження. Вироблення електроенергії і середнє за період навантаження при цьому залишаються незмінними, максимум знижується, а мінімум зростає, тобто зростає щільність графіка навантаження і зменшується його нерівномірність.

Загальні методи регулювання ГЕН можливо поділити на три види за реалізацією [3]:

1. Методи засновані на загальноорганізаційних зовнішніх заходах держави і внутрішньогалузевих заходів у промисловості.

До загальноорганізаційних заходів слід віднести розподіл вихідних днів промислових підприємств, розпорядок початку роботи, обідніх і міжзмінних перерв промислових підприємств, а також зрушення годинникової стрілки в літній час. Проте ці заходи безпосередньо зачіпають соціально-побутові умови життя суспільства і тому повинні використовуватися достатньо обережно і продумано.

2. Створення оптимальної структури генераторів потужностей енергосистеми. Тобто покриття ГЕН засобами ЕЕС, а також об'єднання ЕЕС і акумуляція енергії в години провалу графіка навантаження і видача її в години максимуму ЕЕС, тобто використання накопичувачів енергії (ГАЕС, маховики і ін.).

3. Використання перетоків з сусідніми енергосистемами.

4. Залучення споживачів до вирівнювання графіки навантаження енергосистеми за рахунок адміністративних (обмежуючих) та економічних (стимулюючих) заходів.

Більш деталізована класифікація методів регулювання ГЕН має вигляд [4]:

1. Примусове регулювання електроспоживання (обмеження по потужності в години максимуму навантаження і лімітацію енергії на фіксованих періодах часу);

2. Зміщення навантаження в часі, у тому числі і перенесення її з годин максимуму на години мінімуму;

3. Політика енергозбереження, тобто фактично вертикальне маневрування електроспоживанням.

4. Регулювання електроспоживання за домовленістю між енергосистемою і споживачами електроенергії (виявлення і використання споживачів-регуляторів);

5. Формування вимушених графіків навантаження за принципом зустрічного регулювання електроспоживання для плавного регульованих споживачів-регуляторів;

6. Тарифне стимулювання регулювання графіка навантаження.

Перспективними методами регулювання навантаження, що потребують подальшого розвитку є метод створення оптимальної структури генераторів потужностей енергосистеми за рахунок альтернативної енергетики та метод залучення споживачів до вирівнювання ГЕН з гібридними системами електропостачання.

Задля виявлення впливу різних категорій споживачів на ГЕН енергосистеми необхідним є аналіз структури генерації та споживання електричної енергії, яка наведена на рис. 2 [5].

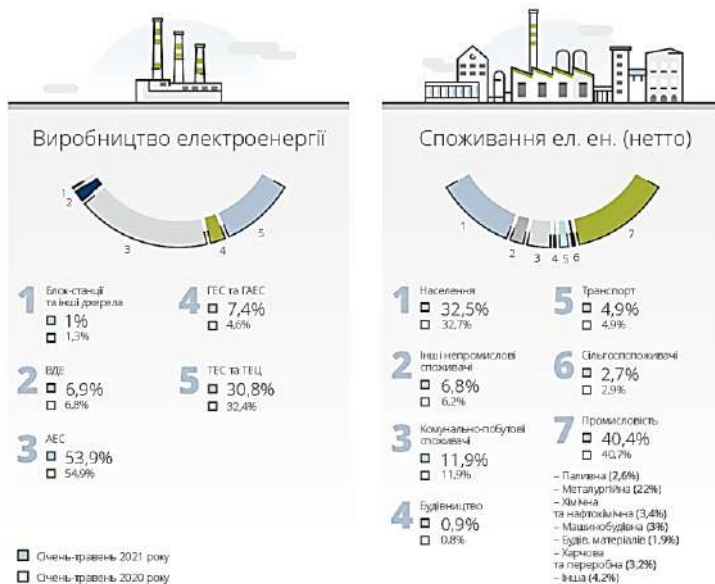


Рис. 2. Структура генерації та споживання електроенергії в економіці України

Найбільша частка у споживанні електричної енергії належить промисловим споживачам, вона є практично незмінною у відсотковому еквіваленті при аналізі споживання у динаміці.

Другою впливовою категорією за кількістю споживання електроенергії є населення. Частка споживання електричної енергії населенням з року в рік має позитивну динаміку зростання.

Також вагомим споживанням електричної енергії характеризуються комунально-побутові споживачі. Тенденція росту електроспоживання цієї категорії споживачів зберігається й по сьогоднішній день.

Фактично розглянуті вище три категорії споживачів є основними споживачами електричної енергії і навіть часткове регулювання їх графіків навантаження вплине позитивно на загальний ГЕН енергосистеми. Таким чином, залучення цих

споживачів до процесу регулювання навантаження енергосистеми за рахунок регулювання особистих графіків навантаження за використанням новітніх технологій є пріоритетним напрямком розвитку енергетики.

Споживачі-регулятори для регулювання ГЕН застосовують одночасно ущільнення графіка навантаження та його вирівнювання. Такі споживачі, здатні працювати в узгодженому з ЕЕС режимі, що сприяє заповненню провалів і (або) зняття піків графіка електричних навантажень (добових, тижневих, річних) [6].

Фізично можна виділити два основних види споживачів-регуляторів [6]:

- спеціальні споживачі-регулятори, що підрозділяються на системні і продуктові;

- споживачі-регулятори на базі звичайних виробництв, що підрозділяються на ті що здійснюють регулювання на основі наявних резервів і ті що вимагають установки додаткового обладнання.

До спеціальних споживачів-регуляторів відносяться теплові, електричні та інші види накопичувачів енергії, а також промислові, побутові та сільськогосподарські виробництва з попитом на електроенергію тільки в періоди провалів графіка навантаження. При цьому системні споживачі-регулятори споживають електроенергію з ЕЕС в провали графіка і видають її назад в години максимуму навантаження (ГАЕС, ПАЕС, акумулятори тепла на АЕС, надпровідні індукційні накопичувачі, кінетичні енергонакопичувачі), а продуктові витрачають електроенергію в провали графіка на виробництво власної продукції без зворотного видачі [6].

Наведемо більш детальну класифікацію споживачів-регуляторів по можливості управління режимами енергосистеми [6]:

- а) електроприймачі, що мають можливість акумулювати енергію (акумуляційні електрокотли, інерційні маховики, печі, промислові холодильники, індуктивні накопичувачі, ГАЕС в режимі споживання та ін.);

- б) споживачі-регулятори:

- перший тип споживача-регулятора відповідає ситуації, коли споживач може повністю забезпечити роботу технологічного процесу у непіковому режимі електроспоживання (умова 1). Такий режим його роботи не призводить до втрат (умова 2) і не

вимагає додаткових витрат на організацію внепікового режиму електроспоживання (умова 3).

- другий тип споживача-регулятора відрізняється від першого типу тим, що споживач може тільки частково (в часі) функціонувати у внепіковому режимі при виконанні умов 2 і 3 (умова 4).

- третій тип споживача-регулятора відповідає режиму роботи споживача, коли виконуються умови 1 і 2, і виникає необхідність витрат додаткових коштів для забезпечення внепікового режиму електроспоживання, тим часом, як економія коштів від переведення його на новий режим перевищує додаткові витрати (умова 5).

- четвертий тип споживача-регулятора відповідає режиму роботи, коли виконуються умови 2, 4 і 5.

- до споживачів-регуляторів примусового режиму (п'ятий тип) віднесені споживачі електричної енергії, які працюють при виконанні умов 1 і 2 і під час функціонування якого виникають збитки.

Таким чином, знаючи до якого класу належить той чи інший електроприймач, можна скласти перелік заходів для підвищення енергоефективності та зменшення витрат, а також досягти оптимального впливу споживачів на режим і надійність роботи енергосистеми [6].

Вирівнювання графіка навантаження енергосистеми не може бути мимовільним, випадковим процесом, а вимагає проведення цілеспрямованих заходів з відповідним матеріальним і фінансовим забезпеченням. Проте що при відсутності в енергосистемі збалансованої структури генеруючих потужностей головною можливістю вирівнювання графіків може стати режимна взаємодія енергосистеми зі споживачами на основі адміністративних або економічних заходів. Перші пов'язані з примусовим обмеженням навантаження споживачів в певні години доби і приносять споживачам прямий і непрямий збиток, який може суттєво перевищити вигаш енергосистеми від ефекту вирівнювання добового графіка навантаження. В цьому випадку неефективність адміністративних заходів призводить до збитків для держави в цілому, хоча енергосистема і може тимчасово опинитися у вигаші [4].

Шлях економічної зацікавленості споживачів електроенергії пов'язаний з введенням в стосунки між енергосистемою і

споживачами ефективної системи диференційованих по часу доби тарифів на електроенергію – погодинних тарифів [4].

Внаслідок масового і «доброго» регулювання з боку споживачів енергосистема хоча і зменшить свій грошовий збір за відпущену електроенергію (так звані доходи, що випадають), але ці фінансові втрати виявляться компенсованими зниженням вартості її основних фондів, експлуатаційних витрат та інших витрат, що визначають в цілому рівні тарифів на електроенергію [4].

Використання споживачів електричної енергії у якості регуляторів потребує впровадження нових технологій, побудованих на інтелектуалізації електричних мереж та гібридних систем електропостачання з альтернативними джерелами електроенергії. Початковий етап впровадження інтелектуальних технологій (Smart Grid) в енергетику – це «розумні» прилади, що дозволяють вирішити завдання єдиної системи енергообліку. Наступним етапом є розробка пристроїв і способів розподіленої генерації або локальних електричних мереж і об'єднання їх в єдину мережу подібно Інтернету [7].

Локальні електричні мережі, як правило, мають у своєму складі джерело відновлюваної енергії, накопичувачі енергії і системи інтелектуального управління [7].

В якості джерел відновлюваної енергії в таких мережах використовується як правило, енергія вітру і сонця, однак при їх використанні можливі суттєві коливання енергії, які можуть викликати нестабільність роботи системи [8,9]. Тому накопичувачі енергії скомпоновані у систему зберігання енергії та інтегровані у систему електропостачання з альтернативними джерелами електроенергії стають важливим засобом оптимізації режимів енергосистеми, підтримки розподіленої енергетики [10].

Потенційні можливості застосування накопичувачів електроенергії [10]:

1. Управління режимами навантаження – розряд накопичувача під час піку навантаження і зарядка в нічний час (вирівнювання денного і нічного графіків навантаження).

2. Управління потоками потужності – живлення місцевих навантажень, коли з цим не справляється загальна мережа.

3. Допомога установкам, що використовують відновлювальні джерела енергії – вирівнювання графіка подачі потужності.

4. Підвищення можливості передачі енергії – участь в управлінні стійкістю, регулюванні напруги, частоти і реактивної потужності, для підвищення стабільності роботи мереж.

5. Вирівнювання графіка навантаження в мережах зі значною часткою розподілених джерел енергопостачання.

6. Підвищення якості електроенергії – підтримка стабільності напруги установкою накопичувачів як на живлячих фідерах, так і безпосередньо у споживачів, особливо при різкозмінному характері навантаження.

Таким чином, впровадження гібридних систем електропостачання для споживачів як промислового так побутового характеру є вирішенням проблеми регулювання як індивідуальних так і групових графіків навантаження та використання їх у якості регуляторів навантаження енергосистеми з метою усунення проблем розбалансування.

2. Оптимальні параметри гібридної системи електропостачання з системою зберігання енергії та альтернативними джерелами енергії

Застосування гібридних систем електропостачання є рішенням багатьох задач у енергетиці, а насамперед вирівнювання графіків середньодобового енергоспоживання споживачів-регуляторів за рахунок паралельної роботи з мережею у період пікових навантажень.

Вибір оптимального варіанту гібридної системи електропостачання передбачає облік багатьох взаємопов'язаних факторів і проводиться за допомогою серії уточнюючих розрахунків [11].

До основних параметрів гібридної системи, що підлягають обґрунтуванню відносяться[11]:

- оцінка енергетичних потреб споживача;
- оцінка економічного потенціалу відновлюваного енергоресурсу (вітру і сонячного випромінювання);
- параметри енергетичного обладнання;
- встановлена потужність системи і її складових;
- параметри комунікацій.

В залежності від складу джерел живлення гібридні системи поділяються на наступні три види [12]:

1) Автономна вітро-сонячна електростанція (ВСЕ). Такі станції працюють при відсутності зовнішньої мережі і містять сонячну

фотоелектричну станцію (СФЕС), вітроенергетичну станцію (ВЕС) і систему накопичення енергії. Крім того, такі автономні енергетичні комплекси для підвищення надійності роботи можуть містити дизельні, бензо- або газопоршневі електростанції.

2) Мережева вітро-сонячна електростанція. Такі гібридні електростанції працюють синхронізовано з зовнішньої електричної мережею. В основному режимі функціонування споживачі отримують енергію від ВДЕ, а при недостатньому її кількості вона надходить від зовнішньої мережі, а при її надлишку – віддається в промислову мережу. В цьому режимі традиційні автономні джерела електроенергії (АДЕ), як правило, не використовуються.

3) Система резервного електропостачання. В основному режимі функціонування в таких системах джерелом електроенергії для споживачів є зовнішня електрична мережа. при пропажі зовнішньої мережі, джерелом живлення для споживачів є ВДЕ і система зберігання електроенергії або традиційні АДЕ.

Таким чином, рішенням оптимального складу гібридних систем електропостачання є наявність таких складових як традиційне джерело енергії, а саме міська електрична мережа, нетрадиційне джерело енергії, система накопичення та зберігання електричної енергії і система керування генерацією та споживанням електроенергії. Для підвищення енерго-ефективності гібридної системи електропостачання більша частина споживаної енергії повинна використовуватися від встановленого альтернативного джерела енергії. Надлишки енергії, отриманої від альтернативного джерела енергії, повинні накопичуватися у системах зберігання енергії. Широке впровадження гібридних систем електропостачання повинно ґрунтуватися в першу чергу на привабливості для споживачів, яка полягає у підвищенні енергоефективності, у збільшенні незалежності від режимів роботи розподільчих електричних мереж, у підвищенні якості та надійності електропостачання, у зменшенні витрат на закупівлю електроенергії та теплоносіїв.

Узагальнена структурна схема гібридної системи електропостачання наведена на рис.3, перелік її складових зміються в залежності висунутих споживачем вимог продуктивності.

Продуктивність наведеного гібридного комплексу завжди залежить від зовнішніх факторів, таких як географічне розташування регіону; кліматичні та погодні умови; тривалість світлової доби. Обраний набір обладнання гібридної системи у різних зовнішніх умовах демонструє відмінні друг від друга показники, тому кожен випадок потребує індивідуального підходу. Для ВДЕ важливо те, що комбінування вітряної та сонячної електростанцій особливо ефективно при цілорічному характері споживання, оскільки взимку генерація сонячної енергії значно падає, при цьому, як правило, зима – саме має більше вітряного часу.

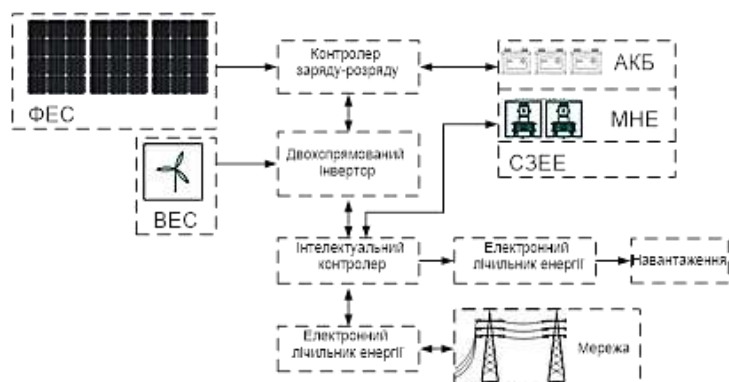


Рис. 3. Узагальнена структурна схема гібридної системи електропостачання: ФЕС – фотоелектрична станція; ВЕС – вітроелектрична станція; СЗЕЕ – система зберігання електроенергії; МНЕ – механічні накопичувачі енергії; АКБ – акумуляторні батареї

Особливостями фотоелектричних перетворювачів і вітротурбін є зміни їх режимів роботи в залежності від енергетичного потенціалу первинного енергоносія і потужності, що йде на навантаження. Енергоефективність цих режимів може істотно відрізнятись. Для максимального використання потужності і енергії первинного енергоресурсу і, відповідно, встановленої потужності енергетичного обладнання слід формувати оптимальні робочі режими вітрових і сонячних електростанцій. Основним фактором цілеспрямованого впливу на

режими роботи розглянутих електростанцій є електричне навантаження. Величина навантаження може регулюватися за певними законами в процесі заряду накопичувачів електричної енергії, або в процесі передачі потужності в електроенергетичну систему [13].

При реалізації гібридного електропостачання від декількох джерел постає завдання розподілу режиму роботи і ступеня завантаження електростанцій в часі.

Розробка алгоритму ефективного управління робочими режимами гібридної системи електропостачання будівлі базується на виборі схемної конфігурації системи. Маємо наступні конфігурації [13]:

1. Роздільна робота електромережі і ФЕС з накопичувачем електроенергії (рис. 4, а).
2. Робота ФЕС паралельно з електромережею (рис. 4, б).
3. Гібридний варіант, що передбачає можливість реалізації роздільної та спільної роботи ФЕС і електромережі (рис. 4, в).
4. Робота ЕМ, що передбачає можливість реалізації електропостачання лише з використанням системи зберігання електричної мережі (рис. 4, г).
5. Робота ФЕС паралельно з електромережею та спільною можливістю використання СЗЕЕ (рис. 4, д).

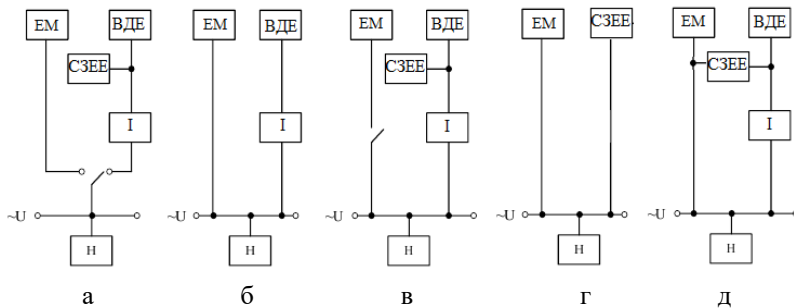


Рис. 4. Схемна конфігурація гібридної системи електропостачання: ВДЕ – Відновлювальні джерела енергії, ЕМ – електромережа, СЗЕЕ – система зберігання електричної енергії, Н – навантаження, U – шина змінного струму, І – інвертор

Алгоритм функціонування гібридної системи електропостачання з гібридним інвертором може бути описаний за

допомогою функцій алгебри логіки. При цьому необхідно розділяти системи генерації та споживання.

Для системи генерації в якості незалежних змінних можна вибрати наступні величини:

1. Потужність генерації ВДЕ. Дискретне значення $X1 = 1$ відповідає перевищенню потужності ВДЕ над поточним електроспоживанням навантаження. $X1 = 0$ відповідає нестачі генерації.

2. Стан СЗЕЕ: $X2 = 1$ якщо вона зберігає енергію, $X2 = 0$ якщо кількість енергії нижче встановленого рівня.

Керуючі впливи здійснюються за допомогою логічних функцій:

$U1 = 1, U1 = 0$ включає або відключає батарейний режим роботи гібридного інвертора;

$U2 = 1, U2 = 0$ включає або відключає мережевий режим роботи інвертора ВДЕ;

$U3 = 1, U3 = 0$ включає або відключає електромережу;

$U4 = 1, U4 = 0$ включає складові СЗЕЕ на заряд або розряд.

Логіка функціонування гібридної системи електропостачання в залежності від зміни незалежних змінних наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

X1	X2	U1	U2	U3	U4
0	0	0	1	1	1
0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1

Сформований алгоритм у вигляді функцій алгебри логіки:

$$U1 = X1 \& \bar{X}2 \vee X1 \& X2 = X1, \quad (9)$$

$$U2 = \bar{X}1 \& \bar{X}2 \vee \bar{X}1 \& X2 = \bar{X}1, \quad (10)$$

$$U3 = \bar{X}1 \& \bar{X}2, \quad (11)$$

$$U4 = \bar{X}1 \& \bar{X}2 \vee X1 \& \bar{X}2 \vee X1 \& X2 = X1 \vee \bar{X}2. \quad (12)$$

Таким чином, можливо сформулювати принципи інтелектуального управління гібридними системами електропостачання, які можуть слугувати вихідною інформацією для розробки схем з використанням конкретного обладнання [13].

Принципи розподілу навантаження між генеруючими потужностями представленої на рис. 3 гібридної системи електропостачання наступні:

1. Визначається максимальна потужність ФЕС і ВЕС генерації електроенергії для потреб споживача.

2. Визначаються втрати активної потужності при передачі сгенерованої ФЕС і ВЕС електроенергії до споживача.

3. Якщо сумарна потужність ФЕС і ВЕС перевищує або дорівнює навантаженню споживача, то усе навантаження покривається за рахунок ВДЕ.

4. Якщо спостерігається надлишок потужності, то вона спочатку надходить на зарядку накопичувачів у СЗЕЕ, а після повного заряду надлишки електричної енергії віддаються у електричну мережу.

5. Якщо сумарна потужність ВДЕ менше навантаження споживачів, то недолік потужності покривається за рахунок накопичувачів, а при їх повному розряді (заряд 30% від номінального) перемикається на споживання з електричної мережі.

Математичний опис наведених вище принципів розподілу навантаження між джерелами енергії у гібридній системі:

- максимально можлива генерація електричної енергії ВЕС:

$$P_{ВЕС}(t) = \frac{\rho(t)}{2} \cdot F_{ВЕС} \cdot V_в^3(t) \cdot C_p, \quad (13)$$

де $\rho(t)$ – щільність повітря, кг/м³; $V_в(t)$ – швидкість вітру на висоті встановлення вітроколеса, м/с; $F_{ВЕС}$ – площа ометання, м²; C_p – коефіцієнт потужності, в.о.; (t) – поточний момент часу.

- максимально можлива генерація електричної енергії ФЕС:

$$P_{ФЕС}(t) = I_c(t) \cdot S \cdot k_p \cdot \eta, \quad (14)$$

де $I_c(t)$ – інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м²; S – площа фотоелемента, м²; k_p – коефіцієнт, що враховує вплив температури для потужності, в.о.; η – номінальний ккд сонячного елемента, в.о.; (t) – поточний момент часу.

- потужність СЗЕЕ:

$$P_{CЗЕЕ}(t) = P_{МНЕ}(t) + P_{АКБ}(t), \quad (15)$$

– балансова потужність системи

$$P(t) = P_{ВЕС}(t) + P_{ФЕС}(t) - \sum \Delta P(t) - P_H(t) \pm P_{CЗЕЕ}(t) \pm P_{ЕМ}(t), \quad (16)$$

де $\sum \Delta P(t)$ – підсумкові електричні втрати у системі електропостачання, кВт; $P_H(t)$ – навантаження споживача, кВт; $P_{ЕМ}(t)$ – потужність, що відбирається або віддається у електричну мережу, кВт.

Оптимальна комплектація гібридної системи електропостачання в загалі визначається вимогами споживачів до якості електроенергії та надійності електропостачання. Також важливим для обрання обладнання є аналіз форми та показників графіку навантаження споживача.

Вибір джерел генерації енергії виконується за результатами техніко-економічного порівняння капітальних і експлуатаційних витрат.

У табл. 2 наведені в відносних одиницях результати оціночного техніко-економічного порівняння капітальних і експлуатаційних витрат і вартості 1 кВт×години енергії чотирьох різних джерел енергії [15].

Таблиця 2

Порівняння джерел енергії

Джерело енергії	Відносні витрати			Вартість 1 кВт×години енергії
	капі- тальні	експлуатаційні		
		за 10 років	за 20 років	
Дизельна електростанція	1,0	1,0	1,0	1,0
Електрична мережа	0,13	0,75	0,63	0,95
Вітроелектрична станція	0,7	0,5	0,5	0,15
Фотоелектрична станція	0,6	0,4	0,4	0,1

Аналіз таблиці 2 дозволяє зробити висновок, що використання дизельних електростанцій характеризується великими капіталовкладеннями та експлуатаційними витратами, при цьому отримуємо найбільшу вартість електроенергії. Таким чином використання дизельних електростанцій у складі гібридних систем електропостачання є недоцільним. ФЕС та ВЕС мають практично однакові показники – середні відносні витрати та

низьку вартість енергії. Електрична мережа має навпаки низькі капіталовкладення та високі експлуатаційні витрати і відповідно велику вартість електроенергії. Тому оптимальний склад джерел гібридної системи електропостачання саме комбінація ФЕС, ВЕС та паралельно працюючої електричної мережі.

Встановлена потужність кожного незалежного енергоджерела гібридної системи електропостачання повинна забезпечувати можливість покриття електричного навантаження. Отже, доступна потужність кожного енергоджерела повинна відповідати максимальній потужності споживача. Доступна потужність вітрової або сонячної електростанцій, крім встановленої потужності, визначається енергетичним потенціалом, відповідно, вітру чи сонячного випромінювання.

Наступним по важливості елементом гібридної системи електропостачання є система зберігання енергії, яка у свою чергу може складатися з різних типів накопичувачів енергії. Саме склад та енергоємність СЗЕЕ впливають на ефективність регулювання графіків навантаження споживача.

На рис. 5 показані різні види акумуляторів, їх енергоємність, а також час, протягом якого кожен з них може віддавати енергію. На рисунку виділені три області: зліва внизу зібрані пристрої, що забезпечують точну відповідність параметрів електроживлення заданим параметрам, справа вгорі – відрізняються простотою управління і перемикання режимів, а між цими областями – джерела, які підходять для резервного живлення [16;17].

Наведений на рис.5 поділ накопичувачів дозволяє чітко визначити області їх застосування відповідно до необхідних характеристик. Таким чином для гібридних систем електропостачання найбільш прийнятними є маховики і спеціальні хімічні акумулятори тому що вони забезпечують високу якість накопиченої потужності, а також акумулятори теплової енергії, які мають досить високий ККД.

Крім традиційних кислотних електрохімічних накопичувачів, все ширше застосовуються вдосконалені акумулятори на основі сульфиду натрію і нікель-кадмієві з кращими характеристиками і великим терміном служби, ніж кислотні. Впроваджуються особливо компактні іонно-літієві акумулятори.

У США існує безліч проектів по акумуляванню енергії, пов'язаних з батареями, на основі свинцево-кислотних, літій-іонних, нікелевих, натрієвих та проточних акумуляторів. Ці

батареї номінальною потужністю 0,38 ГВт в 2016 році мають ККД в діапазоні 60-95%.

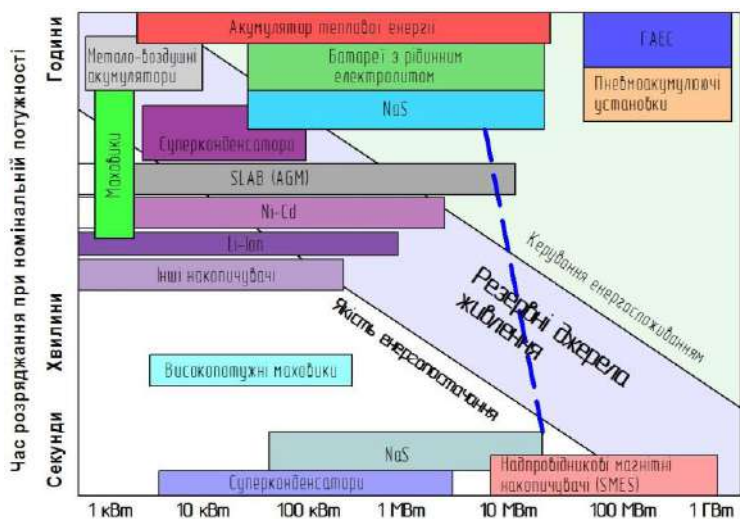


Рис. 5. Різноманітні види накопичувачів енергії

Акумуляторні батареї застосовують також у якості накопичувачів енергії у системах електропостачання споживачів-регуляторів, але вони мають суттєвий недолік – це обмежене число зарядно-розрядних циклів, наявність саморозряду і негативний екологічний вплив.

Маховикові накопичувачі запасують кінетичну енергію при розгоні ротора, щоб віддати її в потрібний момент у вигляді електроенергії. У якості розгінного двигуна і засобу відбору електроенергії використовується зазвичай вертикальний двигун-генератор.

Кількість збереженої енергії в маховику залежить від його маси, геометричних розмірів і швидкості обертання. При однаковій масі більше енергії можна накопичити при більшій швидкості, але швидкість обертання обмежується механічною міцністю матеріалу. Найпоширеніші конструкційні матеріали такі як сталь, алюміній і інші, поступаються легким матеріалам по здатності накопичувати енергію в маховиках.

Перевагами маховика є висока екологічність, простота технічного обслуговування, масштабованість, великий термін служби (тобто велика кількість циклів зарядки – розрядки), швидкий час реакції, все це важливі характеристики для застосування у складі системи електропостачання споживачів-регуляторів з метою підтримки якості електроенергії та регулювання їх ГЕН

При сучасному вирішенні питання щодо вибору накопичувача електроенергії приймають до уваги параметри, які визначають його функціональні можливості і ступінь екологічності. До таких параметрів належать – максимальна потужність накопичувача, повна енергоємність, час роботи, час реверсу потужності. Також важливими критеріями при виборі накопичувача є капітальні витрати, термін служби і ККД. На рис. 6 [16] наведено зв'язок перерахованих критеріїв для різних типів накопичувачів.

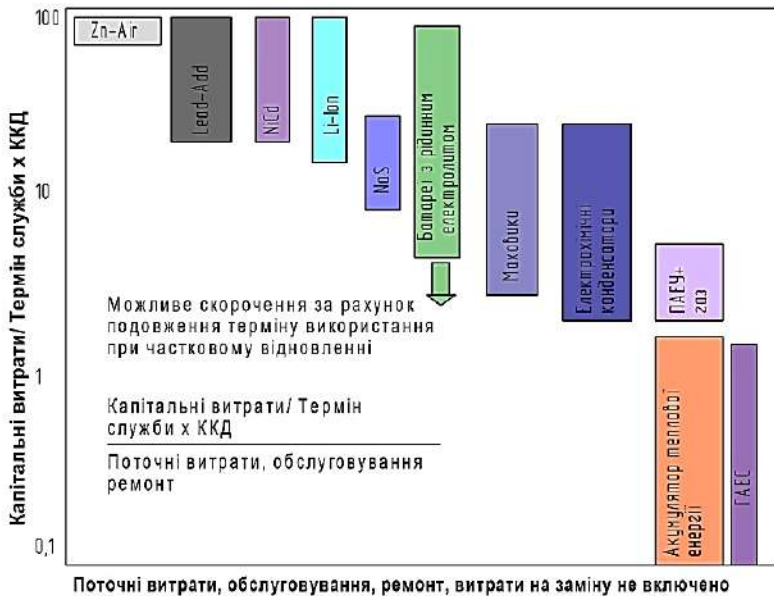


Рис. 6. Загальна вартість технологій збереження енергії за термін служби

У відповідності з представленими на рис.6 даними є цілком обґрунтованим те, що МНЕ стає найбільш актуальною заміною акумуляторних джерел безперебійного живлення.

Основна перевага механічного накопичувача полягає в простоті технічного обслуговування, високій екологічності і живучості (приблизно до 10 років), і величезною питомою потужністю з усіх типів акумуляторів енергії. Перші такі пристрої не були конкурентоздатні з електрохімічними акумуляторами. Але за минулий час з'явилися надміцні і легкі матеріали, підвищилися характеристики постійних магнітів, магнітних підшипників, електроніки. Завдяки їм сучасні механічні накопичувачі наділені великою енергоємністю і здатністю швидко віддавати запас енергії. А також у накопичувача відсутній вплив циклів заряду – розряду на термін експлуатації пристрою [16; 17].

Особливістю роботи МНЕ є його здатність швидкої розрядки на навантаження, що є позитивним фактором при різкому зростанні енергоспоживання.

Незважаючи на всі наведені переваги МНЕ, вони ще нездатні повністю замінити акумуляторні джерела безперебійного живлення, тому гібридні системи накопичення енергії на теперішній час є актуальними.

Запропонована гібридна система електропостачання може бути використана для регулювання графіків навантаження як промислових так і побутових споживачів. Піки навантаження ГЕН можуть бути компенсовані як за рахунок ВДЕ довгостроково так і за рахунок СЗЕЕ для згладжування короткочасних піків ГЕН.

3. Регулювання графіків навантаження споживачів-регуляторів різних категорій

Для якісного регулювання навантаження енергосистеми необхідним є статистичний аналіз даних та визначення основних характеристик ГЕН окремих споживачів, які можуть бути використані як споживачі-регулятори.

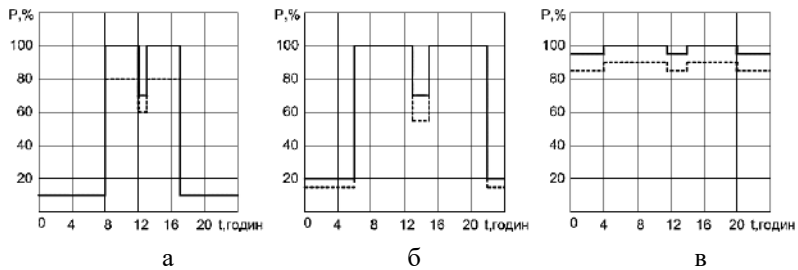
3.1. Промислові споживачі-регулятори

При вирішенні задачі управління електричним навантаженням комплексу енергосистема-промислове підприємство зазвичай розглядають управління заздалегідь виділених споживачів-регуляторів на рівні підприємства. У якості споживачів-регуляторів частіше виділяють споживачів, які не

приймають участь у технологічному процесі, а виконують допоміжні функції.

При управлінні електричної навантаженням промислових підприємств повинен враховуватися імовірнісний характер режими роботи обладнання. Управління навантаженням промислових підприємств повинно розглядатися як дворівнева ієрархічна структура. Верхній рівень управління встановлює планові значення потужності, а нижній рівень, залежно від стану обладнання, виробляє відпрацювання керуючих впливів [18].

Загальні типові графіки навантаження промислових споживачів будуються та розглядаються в залежності від кількості робочих змін. На рис. 7 наведені типові графіки типових активних навантажень промислових споживачів при однозмінному, двозмінному та трьохзмінному графіках роботи.



**Рис. 7. Типові графіки навантажень промислових споживачів:
а – однозмінні, б – двозмінні, в – трьохзмінні**

Аналіз графіків, представлених на рис. 7 за основними характеристиками, дозволяє зробити висновок, що графіки трьохзмінних споживачів є рівномірними та не потребують регулювання, але при застосуванні гібридних систем електропостачання можливе часткове зниження енергоспоживання з електричної мережі та зменшення навантаження на традиційні електростанції мережі. Стосовно графіків навантаження при однозмінному та двозмінному режимі роботи, то регулювання піків та спадів навантаження за допомогою гібридних систем електропостачання є актуальним та енергоефективним.

Регулювання ГЕН промислових споживачів-регуляторів при однозмінному та двоззмінному режимі роботи можливе за наступними алгоритмами:

1. Зниження пікового навантаження при схемній конфігурації гібридної системи електропостачання, представленої на рис. 4б. У цьому випадку система працює паралельно з загальною мережею і зменшує навантаження на неї.

2. Зменшення спадів навантаження в нічний та вечірній час при схемній конфігурації гібридної системи електропостачання, представленої на рис. 4г, коли СЗЕЕ заряджається у часи спаду навантаження і віддає у час пікового навантаження.

3. Зменшення спадів та піків навантаження при схемній конфігурації гібридної системи електропостачання, представленої на рис. 4д, коли задіяні усі складові системи та електричної мережі і електрична енергія вільно переходить між джерелами у стан зберігання або вивільнення.

В залежності від складу гібридної системи електропостачання промислового споживача-регулятора та її максимальних об'ємів генерації електричної енергії можливе регулювання загального ГЕН або індивідуальних ГЕН окремих електричних установок, задіяних у виробництві.

Математична модель споживання електричної навантаження в функції часу згідно [18] має вигляд

$$P(t) = P_{\text{БАЗ}}(t) + P_{\text{ПТ}}(t), \quad (17)$$

де $P_{\text{БАЗ}}(t)$ – базисне електричне навантаження споживачів виробництва, що складається з k цепів без урахування споживачів-регуляторів, кВт; $P_{\text{ПТ}}(t)$ – електричне навантаження споживачів-регуляторів, кВт.

Математична модель управління електричним навантаженням з урахуванням опису стану об'єкта управління, режиму його роботи і виробничих обмежень має вигляд [18]

$$P(t) = P_{\text{БАЗ}}(t) + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^V u_{kij}(t) P_{\text{ПТ}(kij)}, \quad (18)$$

де $u_{kij}(t)$ – керуючий вплив, приймається рівним одиниці, якщо i -тий споживач електроенергії k -го цеху в момент часу t знаходиться в j -ом режимі роботи і має значення, рівне одиниці і

нуля у всіх інших випадках; $P_{ПТ(kij)}$ – електричне навантаження споживача-регулятора, кВт.

Важливо відмітити, що графіки навантаження промислових споживачів також визначаються особливостями технологічного процесу даного виробництва і для кожної галузі маємо окремі ГЕН виробництв, які наведені на рис. 8 [19].

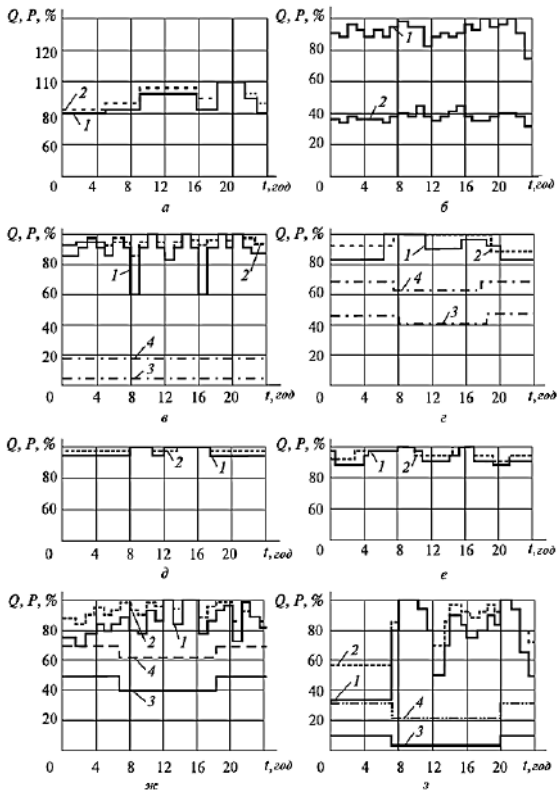


Рис. 8. Характерні добові графіки електричних навантажень підприємств вуглевидобутку (а), нафтопереробки (б), торфорозробки (в), чорної металургії (г), кольорової металургії (д), хімії (е), важкого машинобудування (ж) ремонтно-механічних заводів (з) 1,2 активна і реактивна навантаження робочого дня; 3,4 – активна і реактивна навантаження вихідного дня

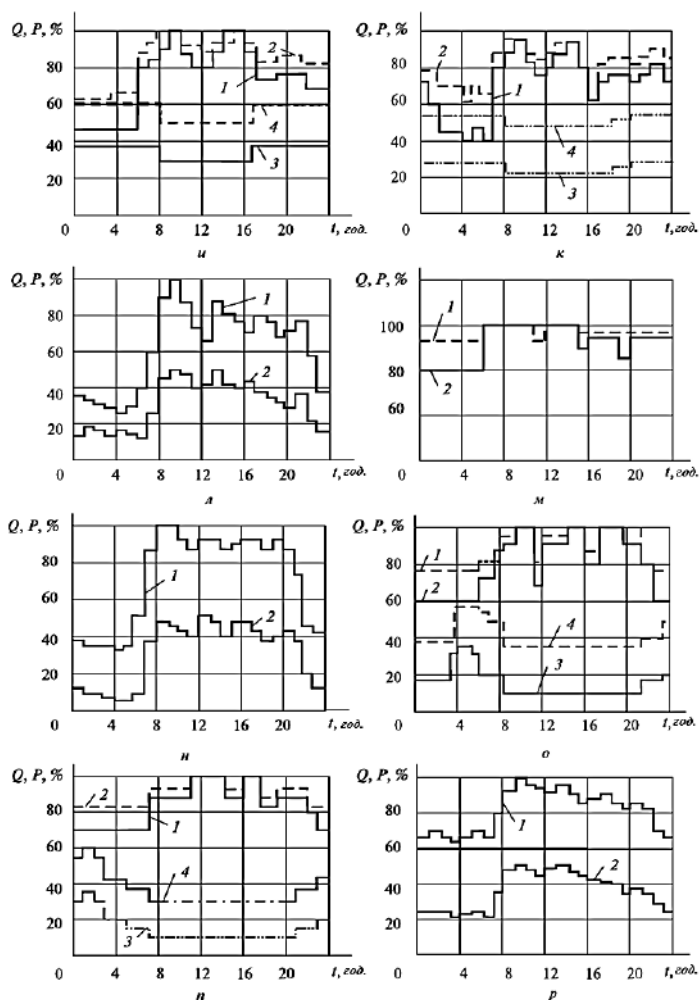


Рис. 8. Закінчення. Характерні добові графіки електричних навантажень підприємств верстатобудівних (і), автомобільних (к), деревообробної промисловості (л), целюлозно-паперової промисловості (м), легкої промисловості (н), прядильно-ткацьких фабрик (о), друкованих та оздоблювальних фабрик (п), харчової промисловості (р); 1,2 активна і реактивна навантаження робочого дня; 3,4 – активна і реактивна навантаження вихідного дня

Таким чином, при виборі промислового споживача-регулятора важливий індивідуальний підхід у регулюванні ГЕН за допомогою гібридних систем електропостачання.

3.2. Побутові споживачі-регулятори

Категорія побутових споживачів-регуляторів складається з електроприймачів житл багатоквартирних будинків, будинків громадського призначення, приватних домогосподарств.

Клас побутових споживачів-регуляторів можна розділити на підкласи [6]:

1 тип – електроприймачі, роботу яких можна без жодного збитку перенести з «піку» на час «провалу» навантаження в енергосистемі. Сюди можна віднести: електроопалення, електроводонагрівачі (ЕВН), живлючі пристрої, які вимагають підзарядки і т.д.;

2 тип – електроприймачі, роботу яких можна перенести на нічний час (на час «провалу» навантаження) з незначними незручностями для людини. Це пральні машини (з програмним управлінням), кондиціонери і т.д.

3 тип – електроприймачі, робота яких не може використовуватися для регулювання. Сюди можна віднести всі побутові електроприймачі з короткочасним режимом роботи або з невеликою потужністю.

Регулювання ГЕН житл багатоквартирних будинків практично неможливо реалізувати без згоди та мотивації співвласників будинку, тому на практиці таке регулювання провадиться індивідуально, поодинокі та практично не має впливу на енергосистему.

Найбільш привабливими з точки зору регулювання ГЕН та використання у якості споживача-регулятора є приватні домогосподарства. Саме для них на сьогоднішній час актуальне питання енергетичної незалежності.

Порівняльний аналіз гібридних систем електропостачання, розглянутих у розділі 2 дозволив зробити висновок що схема з фотоелектричними перетворювачами енергії є найбільш оптимальною та енергоефективною для приватних домогосподарств. З урахуванням питань екологічності розроблена блок-схема гібридної системи електропостачання будівлі з інтелектуальним керуванням, яка наведена на рис. 9 [19]. Основними компонентами розробленої схеми є

1. фотоелектрична станція (ФЕС), яка складається з фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) та гібридного інвертора;
2. кінетичний енергонакопичувач (КЕН);
3. система контролю, яка складається з датчиків струму, температури та присутності;
4. система керування, яка має у своєму складі інтелектуальний контролер задля керування енергопотоками.

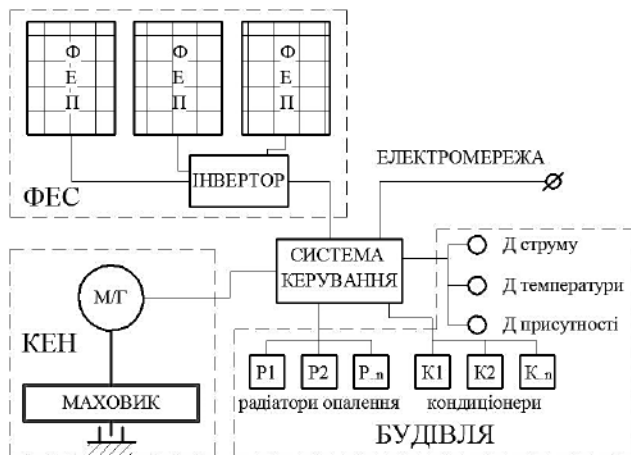


Рис. 9. Схема гібридної системи електропостачання будівлі з інтелектуальним керуванням

Проведений аналіз схемної конфігурації вказує, що схема наведена на рис. 4, є привабливішою у плані енергоефективності та зручності регулювання ГЕН.

Таким чином, згідно з обраною схемною конфігурацією, робота гібридної системи електропостачання, наведеної на рис. 9, полягає в наступному: користувач задає необхідні налаштування в системі керування, яка представляє собою програмований логічний контролер з набором необхідних у кожному окремому випадку інтерфейсів. До параметрів налаштувань входить необхідна температура у будівлі, її окремих приміщеннях, можливо окремих ділянках досить великих кімнат. Також можливо керування освітленням, якщо потужність освітлення суттєво впливає на енергоспоживання будівлі (для великих будівель).

Під час роботи система опитує наявні датчики та по заданому алгоритму вмикає/вимикає або регулює радіатори опалення, систему кондиціонування, вентиляції. У разі необхідності підігріву/охолодження частини великої кімнати, система отримавши з датчиків присутності розташування людей у кімнаті підігріє ті радіатори, які розташовані ближче до людей.

У разі обмеження на навантаження міської електромережі, система отримавши дані з датчику струму, встановленого на введенні напруги в будівлю скорегує системи будівлі належним чином, або зменшивши потужність відключенням, регулюванням або переключенням на накопичувач.

У теплу пору року можливо керування кондиціонуванням та вентиляцією.

Енергію для опалення / кондиціонування система використовує переважно від встановленого на будівлі ВДЕ, коли її не вистачає то добавляє з міської електромережі. У разі надлишку запасає її у кінетичному накопичувачі.

Для опалення при такій системі економічно доцільно використовувати керамічні нагрівальні панелі або теплові насоси. Адже ці системи добре піддаються керуванню, досить швидко змінюють температуру у заданій секції будівлі та енергоефективні.

Таким чином регулювання ГЕН будівлі реалізовано за рахунок інтелектуальної системи керування енергоспоживання, що веде до зниження навантаження загальної електричної мережі та відповідно зниження величини піків загального ГЕН.

Розглянута гібридна система електропостачання може бути застосована і для будівель громадського призначення. Змінною частиною у системі може бути склад СЗЕЕ.

Регулювання ГЕН будівлі громадського призначення може бути організовано за алгоритмом функціонування, представленим на рис. 4, г.

На рис. 10 наведена розроблена структурна схема системи електропостачання будівлі з застосуванням кінетичного енергонакопичувача за умови випадкового характеру навантаження споживача протягом доби.

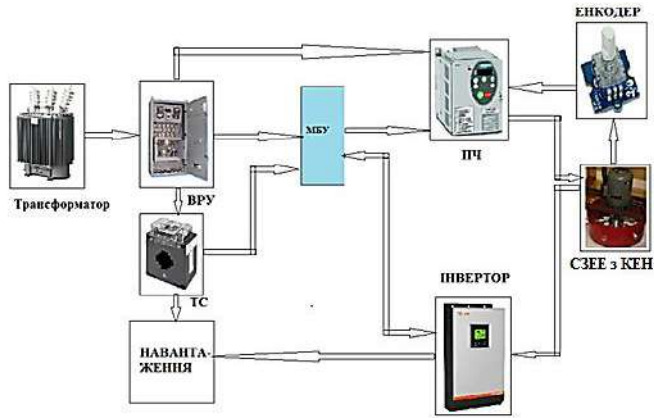


Рис. 10. Деталізована структурна схема гібридної системи електропостачання будівлі: ВРУ – ввідно-розподільчий устрій; ТС – трансформатор струму; МБУ – мікропроцесорний блок управління; ПЧ – перетворювач частоти

Математичний опис розподілу енергії в СЕП будівлі може бути представлений функцією потужності [10, 20]

$$P_{\Sigma}(t) = P_{\tau}(t) - \sum \Delta P(t) - P_{\text{н}}(t), \quad (19)$$

де $P_{\text{н}}(t)$ - навантаження споживача (адміністративної будівлі);
 $\sum \Delta P(t)$ - сумарні електричні втрати СЕП,

$$\sum \Delta P(t) = \Delta P_{\tau} + \Delta P_{\text{ЛЕМ}} + \Delta P_{\text{ІНВ}} + \Delta P_{\text{ТС}} + \Delta P_{\text{КЕН}}, \quad (20)$$

де ΔP_{τ} , $\Delta P_{\text{ЛЕМ}}$, $\Delta P_{\text{ІНВ}}$, $\Delta P_{\text{ТС}}$, $\Delta P_{\text{КЕН}}$ - електричні втрати в трансформаторі, в лінії електропередач, в інверторі, в трансформаторі струму і в КЕН відповідно.

Математична модель обміну енергією СЕП з КЕН має вигляд [21]:
 - фаза накопичення енергії

$$P_{\Sigma}(t) = \begin{cases} P_{\Sigma}(t) - P_{\text{КЕН}}(t) \text{ при } P_{\text{н}}(t) \rightarrow \min, P_{\text{ГЕН}}(t) = P_{\text{н}}(t) + P_{\text{КЕН}}(t); \\ P_{\text{ЛЕМ}}(t) - \sum \Delta P(t) - P_{\text{КЕН}}(t) \text{ при } P_{\text{н}}(t) = 0, P_{\text{ГЕН}}(t) = P_{\text{КЕН}}(t); \\ 0, P_{\text{ГЕН}}(t) = P_{\text{н}}(t) = P_{\text{КЕН}}(t) = 0. \end{cases} \quad (21)$$

- фаза передачі енергії

$$P_{\Sigma}(t) = \begin{cases} P_{\Sigma}(t) + P_{\text{КЕН}}(t) \text{ при } P_{\text{н}}(t) \rightarrow \max, P_{\text{ГЕН}}(t) = P_{\text{н}}(t) - P_{\text{КЕН}}(t); \\ P_{\text{ЛЕМ}}(t) - \sum \Delta P(t) \text{ при } P_{\text{н}}(t) = 0, P_{\text{ГЕН}}(t) = 0; \\ 0, P_{\text{н}}(t) = P_{\text{КЕН}}(t), P_{\text{ГЕН}}(t) = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Згідно з отриманими виразами (21) і (22) на рис. 11 приведений добовий ГЕН будівлі. При цьому характеристики КЕН такі як час заряду, час розряду, накопичена енергія та потужність розраховуються та підбираються з урахуванням характеристик ГЕН та необхідності його регулювання в залежності від величини навантаження у пікові години.

Характеристика ГЕН кінетичних накопичувачів виконується у якості навантажувальної діаграми, яка потім накладається на ГЕН будівлі з метою регулювання нерівномірності ГЕН.

Задля забезпечення безперервності регулювання ГЕН у пікові години стає потреба використання двох КЕН, які будуть керуватися МБУ та працювати по черзі, тобто коли один знаходиться у стані заряду, другий буде у стані розряду та навпаки. Блок керування завдає необхідний режим роботи КЕН. У режимі зберігання енергії у обох КЕН з метою зменшення споживання з мережі електричної енергії можливо живлення одного КЕН від другого КЕН.

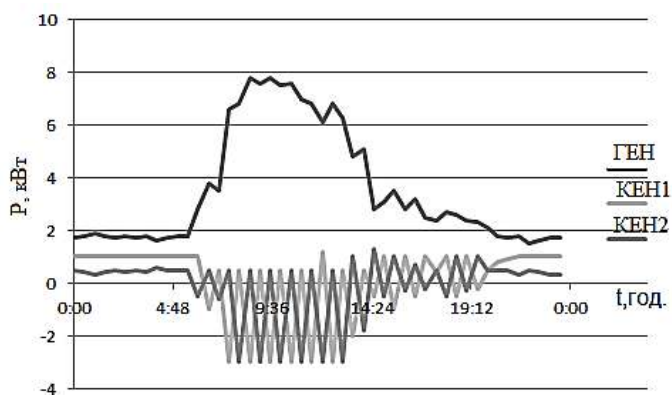


Рис. 11. Добовий ГЕН споживача-регулятора з блоками КЕН у складі СЗЕЕ

Сумарний ГЕН будівлі і навантажувальні діаграми КЕН буде мати більш рівномірний характер, таким чином задаючи закон роботи КЕН маємо можливість ефективно регулювати ГЕН, що призведе до зменшення втрат в СЕП. Сумарний ГЕН наведений на рис. 12.

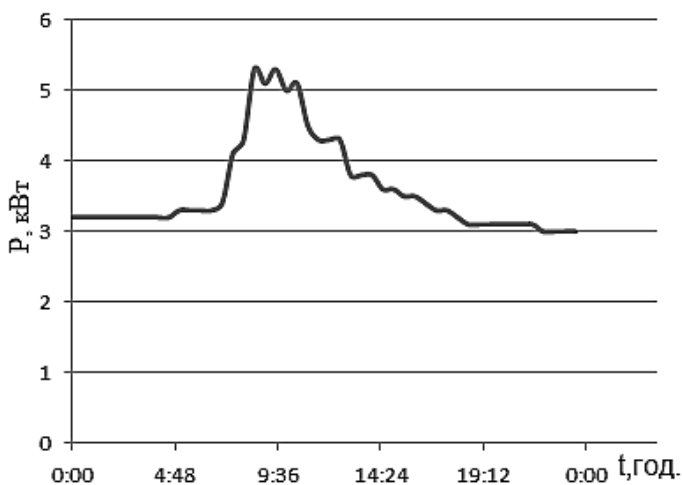


Рис. 12. Сумарний добовий ГЕН споживача-регулятора

Розрахунок основних характеристик отриманого сумарного ГЕН приведений у таблиці 3.

Таблиця 3

**Характеристика сумарного добового
ГЕН споживача - регулятора**

Характеристики ГЕН	ГЕН до регулювання	ГЕН після регулювання КЕН	відхилення
P_C , кВт	3,54	3,58	-0,04
P_E , кВт	4,16	3,66	0,5
K_Φ	1,175	1,022	0,153
α	0,19	0,57	-0,38
β	0,45	0,68	-0,23
P_{\max} , кВт	7,8	5,3	2,5
P_{\min} , кВт	1,5	3,0	-1,5

Аналіз отриманих характеристик сумарного добового ГЕН вказує на вирівнювання ГЕН за рахунок переносу навантаження у непікову зону графіка, а саме маємо ріст коефіцієнту рівномірності α та коефіцієнту заповнення β .

Зменшення коефіцієнту форми K_Φ вказує на зменшення пікового характеру графіка навантаження.

ГЕН після регулювання має щільність 0,68, тобто мінімальне навантаження відрізняється від максимального у межах 32%, що значно менше ніж до регулювання

Таким чином можливо накласти тахограми роботи блоку КЕН на любий добовий ГЕН та отримати регульований ГЕН.

Удосконалити процес регулювання ГЕН розглянутої системи можливо при організації алгоритму функціонування, представленого на рис. 4,д. Це дозволить заряджати блок СЗЕЕ у часи спаду навантаження від електричної мережі, що зменшить провали ГЕН та підпитувати блоки СЗЕЕ від ФЕС невеликої потужності, що у сукупності зменшить піки навантаження.

3.3. Комунально-побутові споживачі-регулятори

До класу комунально-побутових споживачів віднесено електроприймачі міст загального користування житлових будинків (освітлення, ліфти, санітарно-технічні установки) а також вуличне освітлення.

На рис. 13 наведені типові графіки активних навантажень комунально-побутових споживачів житлових будинків.

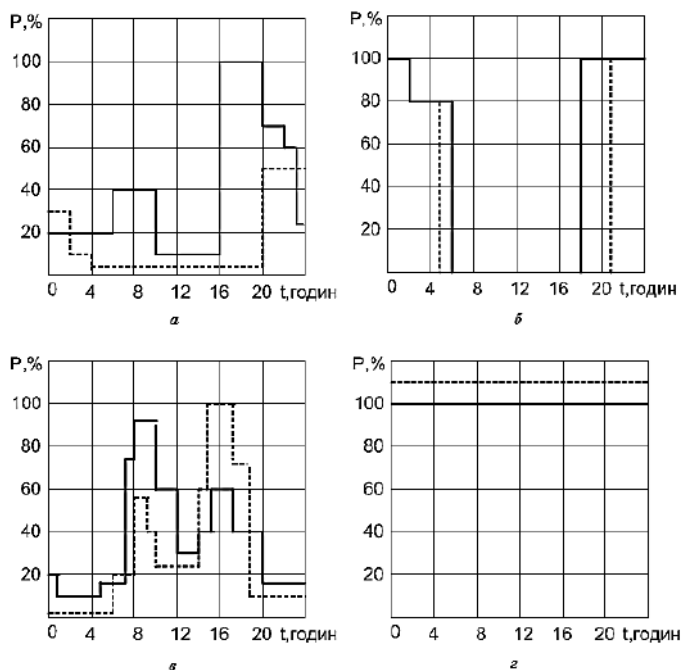


Рис. 13. Типові добові літні та зимові графіки активних навантажень комунально-побутових споживачів: а – освітлення житлових будинків; б – вуличне освітлення; в – побутові двигуни; г – насосні установки водопроводу та каналізації

Аналіз наведених графіків виявив, що вони практично повторюють графік навантаження енергосистеми, тобто мають два піки навантаження, причому вечірній максимум більший ніж ранковий. Навантаження освітлення істотно залежить від пори року й має найбільше значення у вечірні зимові години (суцільні лінії). Улітку (штрихові лінії) добовий максимум навантаження зніжується за значенням і тривалістю та наступає в більш пізній час.

Навантаження освітлення самій вагомий споживач, який найбільше впливає на навантаження енергомережі, тому саме його ГЕН потребує регулювання.

Регулювання ГЕН освітлення житлових будинків може бути реалізовано за алгоритмами наведеними на рис.4, а та в. у якості ВДЕ логічне приймати ФЕП.

Системи на сонячних панелях для живлення світлодіодного освітлення знаходять застосовувати в різних сферах: виробничій, комерційній та побутовій. Основною причиною малого застосування таких систем є те, що вони поки ще мають високу вартість в порівнянні з іншими джерелами світла. Але з швидким розвитком світлодіодних технологій, LED джерела мають потенціал, щоб стати кращими джерелами світла для систем з живленням від сонячних батарей для освітлення будівель та будинків в найближчому майбутньому [22].

Світлодіодне освітлення на основі фотомодулів має багато переваг [23]:

- недороге обслуговування;
- яскравість і максимальна природність світла;
- свобода у виборі кольору освітлення (світлодіоди мають різні кольорів і відтінків);

- системи освітлення на підставі сонячних модулів нешкідливі для природного середовища, не потребують переробки (крім акумуляторних осередків), не мерехтять, відсутній шум, виділяють приємний і м'яке світло. В ультрафіолетовому діапазоні відсутня випромінювання. Також запропоновані технології мають підвищену міцність поряд зі звичайними системами застарілих видів;

- дані рішення ефективні і економічні при використанні, в порівнянні зі звичайними освітлювальними джерелами. Термін окупності світлодіодних світильників становить до 1,5 років.

- висока енергоефективність;
- ресурс роботи світлодіодів до 100000 годин;
- компактність, легкість і надійність обладнання.

Мінусами можна назвати, лише невелика генерація енергії в похмурі дні і можливі збої в роботі акумуляторів в сильні морози, але у разі виникнення такої ситуації можливе підключення до загальної мережі

Зазвичай система освітлення для будівель встановлюється як стандартна сонячна електростанція, а всі лампи наявні в будинку змінюють на світлодіодні. Схематично така система представлена на рис. 14.

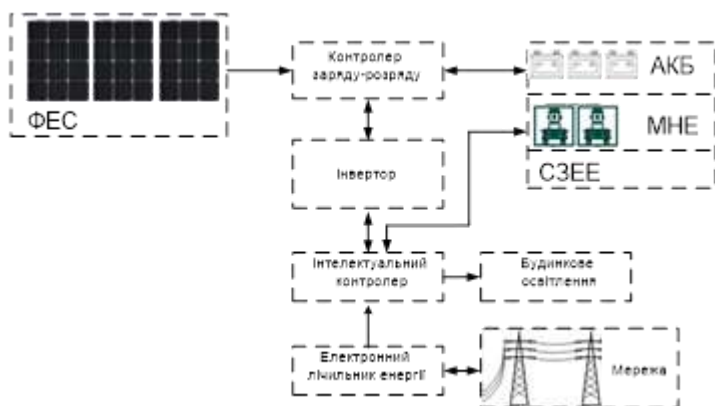


Рис. 14. Структурна схема гібридної системи електропостачання освітлення будівлі

Сонячні батареї встановлюються на даху будинку, все решту складових системи встановлюються в будинку (інвертор, контролер і акумулятори). Енергія сонячних панелей живить освітлювальні прилади і заряджає акумулятори. Контролер не допускає перезарядження акумуляторів або їх зворотного розряду, від акумуляторів надходить постійний струм, який перетворює інвертор і передає уже змінний струм в мережу будинку.

Для підвищення ефективності та екологічності, розглянутої на рис. 14 системи освітлення, пропонується модернізувати її, таким чином щоб підвищити потужність сонячної електростанції при зменшенні її площини встановлення та заміни хімічних акумуляторів на кінетичний накопичувач енергії, так як вони не шкодять навколишньому середовищу і не потребують переробки. Розроблена конструкція автономної системи освітлення наведена на рис. 15 [22].

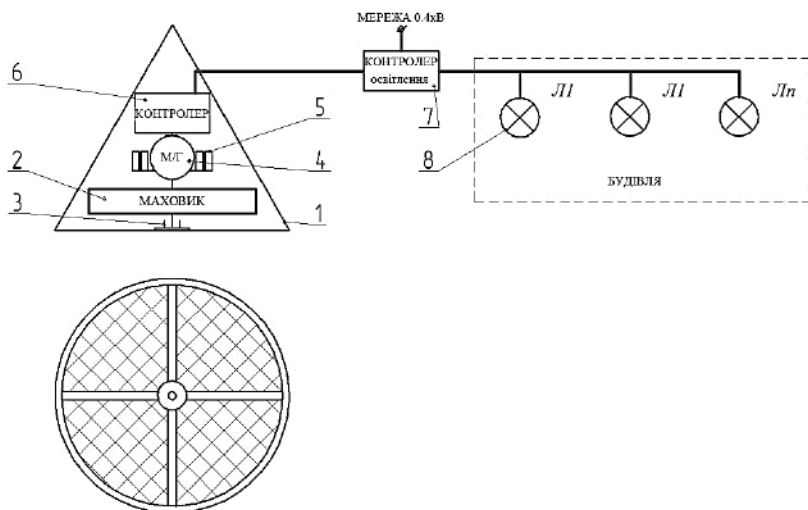


Рис. 15. Система освітлення будівлі

Розроблена система (рис.15) конструктивно складається з нерухомої круглої пустотілого конусу 1, на поверхні якої встановлені гнучкі великі або негнучкі маленькі фотоелектричні панелі, маховика 2, встановленого на опорах обертання 3, безщіткового мотор-генератора з постійними магнітами 4, електролітичних конденсаторів великої ємності 5 та електронної системи управління 6 яка забезпечує роботу установки в цілому, контролера освітлення 7, який за потреби вмикає або вимикає освітлення, у разі розряду накопичувача, перемикає освітлення на зовнішню мережу живлення та ліхтарів 8 в середині та зовні будівлі. Такий склад системи дозволяє одночасно перетворювати енергію сонячного світла у електрику та накопичувати і деякий час зберігати її у вигляді кінетичної енергії в маховику, а потім витратити на освітлення.

Сонячна енергія у фотоелементах на поверхні корпусу конусу 1 перетворюється у електричну і через систему управління 6 на мотор-генератор 4, який у свою чергу розганяє масивний маховик 2. При досягненні максимальних проектних обертів маховика система переходить у режим видачі енергії системі освітлення. У разі відсутності потреби в освітленні, система переходить у режим очікування. В цей час короткими імпульсами, присутніми при обертанні безщіткового мотора з постійними

магнітами через контролер відбувається заряд конденсаторів завдяки яким потім деякий час підтримується стабільна частота обертання маховика, тим самим підвищуючи загальний ККД системи, який є відношення отриманої енергії сонця до виданої у навантаження. Коли з'являється потреба у освітленні, система починає віддавати енергію у навантаження.

Запропонована система має наступні переваги:

- сонячні панелі, виготовлені у вигляді конусу не потребують механізмів повороту і виробляють однакову величину електроенергії незалежно від кута розвороту сонця;
- сонячна електростанція у вигляді конусу займає меншу площину встановлення, має високі енергетичні показники та сучасний естетичний дизайн;
- підвищену екологічність установки за рахунок відсутності хімічних акумуляторів.

Задля організації вуличного освітлення краще застосовувати автономні ФЕС. Повна автономність вуличного освітлення розвантажить загальні електричні мережі та зменшить фінансові витрати на генерацію традиційними джерелами енергії.

Висновки

Небаланс між генерацією та споживанням електричної енергії негативно впливають на енергосистему країни як з технічної так і з економічної точки зору. Бездіяльність у цьому питанні може призвести до незворотних наслідків.

Одним з перспективних методів вирішення проблеми небалансів енергосистеми є виявлення та залучення споживачів-регуляторів для участі у процесі стабілізації стану енергосистеми.

Регулювання графіків навантаження споживачів-регуляторів є основою ефективного управління енергосистемою. Для цього запропоновано застосування гібридної системи електропостачання з джерелами відновлюваної енергії та пристроїв зберігання електричної енергії. Ефективність регулювання графіка навантаження споживача-регулятора залежить від складу гібридної системи електропостачання та вибору оптимальних її параметрів. Також важливим є організація алгоритму функціонування системи, а саме розподілу режиму роботи і ступеня завантаження джерел електричної енергії в часі.

Узагальнена структура гібридної системи електропостачання повинна складатися з декількох джерел енергії, системи

зберігання електричної енергії, системи керування комплексом, інверторів та комутуючої апаратури. Порівняльний аналіз джерел енергії виявив, що економічно обґрунтованою є комбінована система «ФЕС-ВЕС-електрична мережа». Система зберігання електроенергії для ефективної роботи повинна також бути гібридною, тобто складатися з декількох типів накопичувачів енергії, було запропоновано хімічні та механічні накопичувачі.

Відомо, що найбільші частки споживання електричної енергії належать промисловим, побутовим та комунально-побутовим споживачам, тому саме їхні графіки навантаження потребують регулювання. Але при цьому слід додержуватися індивідуального підходу у регулюванні ГЕН споживачів-регуляторів та також корегувати склад гібридної системи електропостачання у кожному окремому випадку з метою зменшення навантаження на електричні мережі енергосистеми.

Література:

1. Гуртовец А.Л., Забело Е.О. Электрическая нагрузка энергосистемы. Выравнивание графика. *Новости электротехники*. 2008. № 5 (53). С. 108 –114.
2. Макоклюев Б.И., Павликов В.С., Владимиров А.И., Фелелова Г.И. Влияние колебаний метеорологических факторов на электропотребление энергообъединений. *Энергетик*. 2003. № 6. С. 14 – 19.
3. Черкашина Г.І. Вирівнювання графіку електричного навантаження у побутовому секторі. *Methodology of modern research Abu Dhabi: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Dubai, 21-22 march 2015. Dubai, 2015*. С. 24 – 32.
4. Маляренко В.А., Нечмоглод И.Е., Колотило И.Д. Неравномерность графика нагрузки энергосистемы и способы ее выравнивания. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2011. № 4. С. 61– 66.
5. Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості. http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=35109. (дата звернення: 21.10.2021)
6. Лазуренко А.П., Черкашина Г. И., Лисичкина Д. С. Новый подход к классификации потребителей электрической энергии. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2008. № 1. С. 76 – 80.
7. Смоленцев Н.И. Накопители энергии в локальных электрических сетях. *Ползуновский вестник*. 2013. № 4(2). С. 176 –181.

8. Четошнікова Л. М., Смоленцев Н. И., Четошников С. А. Процесс управления мощностью в распределенной интеллектуальной сети. *Электрика*. 2012. № 7. С. 6–9.

9. Четошнікова Л. М., Смоленцев Н. И., Четошников С. А., Смоленцев А.Н. Снижение колебаний энергии в локальных сетях с распределенной энергией. *Электрика*. 2013. № 5. С. 37–39.

10. Алексеев Б.А. Применение накопителей энергии в электроэнергетике. *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*. 2005. № 1. С. 42 – 46.

11. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 128 с.

12. Новокрещенов О.В., Отмахов Г.С., Хуаде М.Ю. Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии. *Научный журнал КубГАУ*. 2017. № 132(08). С. 3 – 15.

13. Лукутин Б.В. Интеллектуальные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. 115 с.

14. Савченко Н.П. Трет'як А. В. Аналіз енергоефективності будівлі з гібридною системою електропостачання при інтелектуальному керуванні генерацією та споживанням електроенергії. *Новітні технології у будівництві*. 2020. № 37. С. 63-68. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.37.10>

15. Степаненко В.П. . Возобновляемые источники и накопители энергии в системах автономного электроснабжения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № 6. С. 143–152.

16. МакКракен Марк. Накопление энергии как способ радикально сократить углеродные выбросы. *Вестник центра организации объединенных наций по промышленному развитию. ЮНИДО*. 2012. № 8. С. 66 –71.

17. Северянин В. С. Накопители энергии. *Вестник Брестского государственного технического университета*. 2018. №2. С. 72–74

18. Розен В.П. Математическая модель программного управления электрической нагрузкой производственных систем. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2012. Вип. 22. С. 150 – 155.

19. Савченко Н.П., Трет'як А.В. Аналіз енергоефективності будівлі з гібридною системою електропостачання при інтелектуальному керуванні генерацією та споживанням електроенергії. *Нові технології в будівництві*. 2020. № 37. С. 63 – 68. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.37.10>

20. Солодовников Д.Н. Применение накопителей энергии в энергетических системах транспортных и технологических машин. *"Теория и практика современной науки"*. 2017. № 2(20). С. 534 – 537.

21. Савченко Н.П., Шевченко С.Ю. Математична модель системи електропостачання адміністративної будівлі з кінетичним енергонакопичувачем. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2018. №1/2018(41). С. 47–52. doi: 10.30929/2072-2052.2018.1.41.47 – 52.

22. Савченко Н.П., Трет'як А.В. Конструктивні рішення щодо складу автономних енергоефективних систем освітлення будівель. *Збірник наукових праць ДонНАБА*. 2020. № 1(19). С. 94 – 98.

РОЗДІЛ 7. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АРХІТЕКТУРІ ТА БУДІВНИЦТВІ

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-247-3-13>

Ємел'янова Т. А.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонський державний аграрно-економічний університет
м. Херсон, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ СТІН КАМ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА НА ПРОСАДНИХ ҐРУНТАХ

Дослідження присвячене комплексному аналізу факторів, що впливають на процес утворення та розвитку дефектів (умови зародження тріщини, кінетику її просування, резерв несучої здатності конструкції та ін.) у цегляній стіні на основі чисельних та натурних досліджень та з урахуванням властивостей навантажувальних систем.

Проаналізований та обґрунтований характер деформацій, що виникають в конструктивних елементах будівель при нерівномірній просадці фундаментів; встановлені заходи запобігання деформацій будівель на просадних лесових ґрунтах; отримана методика знаходження джерела замочування.

Отримана розрахункова схема стін кам'яних будівель та «епюри – матриці» вздовж стіни для визначення меж зони просідання, величини зсувних зусиль у конструктивних елементах будівель.

Отримано закон розподілу тиску під підшовою фундаментів у зоні замочування. Встановлено характер та величину додаткових внутрішніх зусиль у конструктивних елементах стіни, що виникають при нерівномірному осадженні фундаментів.

Вступ

Як показує практика, основною причиною деформацій будівельних об'єктів є нерівномірні деформації основ, що відбуваються з різних причин, але найчастіше через нерівномірне

замочування просадних ґрунтів, розповсюджених на території України понад 80% площі [1,2].

До просадних відносяться ґрунти, які перебуваючи в напруженому стані від зовнішнього навантаження і власної ваги ґрунту, під впливом замочування дають значну додаткову деформацію, що називається просадкою. Практика будівництва показала, що просадними найчастіше виявляються леси та лесоподібні суглинки.

Леси та лесові суглинки на Україні є поширеними великопористими просадними ґрунтами. В сухому стані (природна вологість) вони є надійною основою для будівель і можуть витримувати значні навантаження. З підвищенням вологості вони різко втрачають несучу здатність. Побудовані на них будинки починають нерівномірно осідати, що призводить до пошкодження окремих конструктивних елементів і, навіть, до виходу з ладу всієї споруди [3, 4, 5, 6].

Підвищення вологості ґрунту виникає внаслідок витікання води з водопровідних, каналізаційних і теплофікаційних мереж, пожежних резервуарів, вигребів, несправності вимощень, поганої організації спаду поверхневих вод і т.п. Навіть незначне, на перший погляд, витікання води з мереж або несправності покриття часто призводять до серйозних деформацій будівель [7, 8, 9, 10].

Конструктивні та водозахисні засоби, передбачені в проектах будівель та виконані будівельниками, не можуть забезпечити цілісність і довговічність споруди, якщо працівники експлуатаційних установ не будуть приймати до відома властивості лесових просадних ґрунтів.

Збереження та утримання у робочому стані основних будівельних фондів у промисловому та цивільному будівництві належить до найважливіших народногосподарських проблем. У зв'язку з цим дедалі більшого значення набувають питання організації кваліфікованої експлуатації, оцінки та прогнозування зміни у часі технічного стану будівельних конструкцій під впливами силового чи техногенного характеру.

З моменту введення будівлі в експлуатацію всі елементи та конструкції поступово знижують свої якості. Ці зміни є наслідком впливу багатьох фізико-механічних та хімічних факторів. При цьому інтенсивність перебігу процесів коливається в досить широких межах і є наслідком екологічного стану навколишнього

середовища, рівнем технічної експлуатації, капітальністю будівель та якістю виконання будівельно-монтажних робіт [11].

Надійність та довговічність конструкції залежить від інтенсивності руйнівних процесів. Основною характеристикою будівлі є довговічність. Під цим терміном розуміють такий розрахунковий термін служби, протягом якого матеріал чи конструкція зберігають свої властивості та задані характеристики. У той час як під фізичним зношенням конструкцій та будівель мається на увазі погіршення фізичного стану, що призводить до втрати міцності, експлуатаційних та інших якостей.

При оцінці ступеня зносу важлива роль відводиться причинним чинникам [12]. Як правило, до них слід віднести умови та характер експлуатації будівлі. Так, порушення вологого режиму у вигляді протікання покрівлі, незадовільного стану водопроводу та каналізації, водовідведення атмосферних опадів може призвести до інтенсивної втрати несучої здатності за рахунок зміни перерізу в результаті корозії або гниття дерев'яних конструкцій, розморожування кам'яних кладок і т.п.

Рівень фізичного зносу будівель різного періоду забудови досить високий, що вимагає проведення планомірних ремонтно-відновлювальних та реконструктивних заходів. Щорічний приріст обсягу будівель, непридатних для експлуатації, перевищує обсяг нового будівництва. Тому зазначена проблема може бути віднесена до завдань державної важливості.

1. Аналіз характеру деформацій будівель, що експлуатуються в умовах просадних ґрунтів

Основною причиною деформації будівель є місцеве підвищення вологості ґрунту основи, як наслідок витоку води з водопровідних, каналізаційних та теплофікаційних мереж; неправильної організації скидання поверхневих вод тощо. На перший погляд невинні витікання води з мереж або несправності благоустроїв навколо будівель, часто призводять до значних деформацій будівель в цілому. Тому збереження будівель, побудованих на просадних ґрунтах, залежить від ефективності методів боротьби із замочуванням просадних ґрунтів в період експлуатації.

Працівники, що експлуатують будинки й інженерні водонесні мережі, повинні завжди пам'ятати про те, що лесові просадні ґрунти «бояться» води. Всі споруди з метою їх збереження і

довговічності повинні пильно оберігатися від попадання будь-якої вологи в їх основу.

Джерела замочування основ по формі впливу на лесові просадні ґрунти можна об'єднати в такі три групи [13]:

Точкові джерела – під їх впливом зволоження поширюється від однієї точки у всі сторони (несправність водопровідних кранів, гідрантів, свищі у водопровідних, каналізаційних, теплофікаційних трубах і т.п.).

Лінійні джерела – вода проникає в ґрунт одночасно на значному лінійному віддаленні (розлад стиків інженерних мереж, інфільтрація води з каналів, проникнення атмосферних вод при пошкоджених вимощеннях і т.п.).

Площадкові джерела – витікання води з резервуарів, басейнів і т.п.

Як правило, всі джерела замочування залишають свій слід – очевидний і прихований. До очевидних, по яким можна визначити джерело замочування, відносять: підвищену витрату води, тріщини і провали в ґрунті, дорожніх і тротуарних покриттях. Незначні витікання води протягом довгого часу з мереж та інших джерел призводять до осідання поверхні на значних площах. Таке замочування є найбільш небезпечним, оскільки ознаки його приховані. В такому випадку джерело замочування може бути визначене шляхом дослідження вологості ґрунту і нівелюванням деформованих об'єктів.

Для достовірності отриманої методики визначення джерела підтоплення було проведено порівняння визначення джерела підтоплення в ході візуального обстеження технічного стану будівлі малого учбового корпусу Херсонського державного аграрного університету по вулиці Садова, 17 у березні 2010 року. Огляд проводився через те, що було відмічене різке зростання деформацій будівлі, що свідчить про проблеми із фундаментами будівлі [14, 15].

Двоповерховий кам'яний корпус із підвальними приміщеннями був збудований у 1886 р. і відновлений у перші повоєнні роки (рис. 1). Відсутня технічна документація, а також матеріали, що підтверджують чи спростовують належність даної будівлі до пам'яток історії чи архітектури.



**Рис. 1. Будівля малого корпусу ХДАУ,
розташованого по вулиці Садова, 17**

Оцінка технічного стану будівель. Архітектурно – конструктивне рішення об'єкта: будівля двоповерхова з підвальними приміщеннями (конструктивна схема будівлі – безкаркасна з поздовжніми несучими стінами); перемички під прорізами аркові; перегородки цегляні, оштукатурені з двох боків. Перекриття над підвалом – хрестове склепіння з пиляного вапняку на глиняно – вапняному розчині. Перекриття – дощатий настил по дерев'яних балках, покрівля кроквяна. Весь об'єм будівлі оперізує цоколь та карниз тяга.

За більш ніж піввіковий термін експлуатації будівлі матеріалів та актів щодо планових та позапланових обстежень конструкцій з метою оцінки їх технічного стану та забезпечення можливості подальшої експлуатації об'єкта виявлено не було. Однак у місцях максимального розкриття тріщин встановлені маяки, датовані 3.03.2004, 29.11.2005 та 10.04.2007 (рис. 2).



Рис. 2. Маяки, встановлені при попередніх оглядах

Наявність актів попередніх оглядів є дуже цінною інформацією з приводу того, що передісторія погіршення технічного стану будівлі в порівнянні з більш раннім або початковим станами важлива для встановлення моменту виникнення пошкоджень і дефектів. На ці факти слід накладати зовнішні чинники, які могли спричинити їх появу та подальший розвиток. Ретельне виконання правил експлуатації та систематичне проведення оглядів сприяє тому, що об'єкт під час здійснення незначних планових ремонтів не буде доведений до стану, коли виникає необхідність його спеціального обстеження.

Інженерне дослідження з метою виявлення фактичного технічного стану та оцінки збереження конструктивних елементів стін малого корпусу проводилося шляхом суцільного візуального обстеження та виявлення дефектів та пошкоджень за зовнішніми ознаками [16].

Обстеження проводилось у наступному обсязі:

- ознайомлення з конструкціями будівлі;
- огляд у натурі конструкцій та визначення стану будівельних матеріалів;
- виявлення ступеня аварійності та фіксація деформацій;

- обмірно-обстежувані роботи;
 - отримання даних про стан прихованих конструкцій та геології;
 - роботи з визначення технічного стану несучих конструкцій.
- Внаслідок візуального обстеження будівлі виявлено такі дефекти конструкцій:
- у підвальному приміщенні будівлі стіни мають вертикальні та похилі тріщини шириною від 6 до 10 мм (рис. 3, 4);



Рис. 3. Вертикальні тріщини у підвальному приміщенні



Рис. 4. Похилі тріщини у підвальному приміщенні

- в несучих арокних конструкціях цих же приміщень є наскрізні вертикальні тріщини шириною від 8 до 25 мм (рис. 5);



Рис. 5. Наскрізні вертикальні тріщини в несучих арочних конструкціях у підвальному приміщенні

– у замковому перекритті є поздовжні тріщини шириною від 4 до 12 мм, що свідчить про небезпеку обвалення цих конструкцій (рис. 6); у простінках аудиторії № 1, а також у зовнішній стіні є поздовжні горизонтальні наскрізні тріщини у верхній частині стіни шириною до 40 мм;



Рис. 6. Поздовжні тріщини у замковому перекритті

– у зовнішніх стінах між отворами сходового маршу з підвалу на 1-й поверх між аудиторією № 1 та туалетом є вертикальні тріщини до 10 мм;

- у протилежній частині будівлі в аудиторіях № 5а, 5б, 6 є вертикальні тріщини до 5 мм (рис. 7), на зовнішніх стінах є сліди замокання, частково з грибок та пліснявою (рис. 8);

- на 1-му поверсі будівлі в аудиторіях № 19, 20 характер тріщин у зовнішніх стінах та перестінках повторюється, ширина розкриття до 2 мм;

- у перекриттях 1-го та 2-го поверхів є поздовжні тріщини, у простінках – вертикальні тріщини, справжню ширину розкриття яких встановити не вдалося, внаслідок нещодавно проведеного косметичного ремонту;

- зовні будівлі у правій його частині від головного фасаду спостерігається утворення блюдця, на торці будівлі з боку північно-східного фасаду є значні вертикальні тріщини шириною від 8 до 15 мм, що поширюються від фундаменту до 2-го поверху будівлі, що свідчить про зміщення фундаменту в бік вул. Садової (рис. 11).



Рис. 7. Вертикальні тріщини розкриті більше зверху



Рис. 8. Сліди замокання на зовнішніх стінах

Таким чином, із візуального обстеження стан конструкцій можна віднести до останньої IV категорії – передаварійний або аварійний [17].

Зміна в часі технічного стану конструкцій, їх знос і пошкодження відбувається, як правило, під впливом безлічі причин, але ретельний аналіз свідчить про те, що основною

причиною, що визначає технічний стан конструкцій, є складні ґрунтові умови, а саме нерівномірні деформації основи – просадки.

Поширені uszkodження в системі «основа – будівля» та причини їх виникнення. Періодичне локальне замокання підвальної частини будівлі призводить до виникнення деформацій фундаментів і, як наслідок – утворення просядок, що призводять до концентрації напруження в тілі фундаменту, зовнішніх і внутрішніх стінах, утворення та розкриття тріщин.

Працездатність конструкцій будівлі забезпечується системою спостережень за пошкодженнями, ретельним аналізом напруженого стану, своєчасним посиленням пошкоджених та перевантажених конструкцій.

Будівля зведена в середині минулого століття на фундаментах дрібного закладення, основою яких є потужна товща лесовидних суглинків та супісків, що відносяться, за сучасною класифікацією, до ґрунтів II типу просідання [18].

Планувальна характеристика: з боку парадного входу до будівлі на вул. Садова, 17 є значних розмірів об'єкт підтоплення; з протилежного боку будівлі виявлено колодязь, у якому виконано водовідведення (за словами інженера інженерно – експлуатаційного відділу).

Обстеженням було встановлено, що згодом тріщини у будівлі не згасали, а розвивалися стрибкоподібно та з'являлися нові. Це свідчить у тому, що джерело замочування продовжує існувати. Атмосферні води, аварійний стан водопровідних мереж поблизу будівлі, а також неправильна експлуатація самої будівлі призвели до підвищення вологості ґрунтів основи.

Джерела замочування з великим витіканням води з трубопроводів визначаються характером тріщин і провалами поверхні дорожнього і тротуарного покриття. В тому випадку, коли точкове джерело замочування знаходиться поряд з будівлею або під нею, зовнішніми ознаками деформації будівлі є тріщини. За напрямком вони бувають косими, вертикальними і горизонтальними. У більшості випадків всі явища просядки викликають косі тріщини в підвіконних поясах, перемичках, простінках та інших елементах будівлі.

Причиною вертикальних та косих тріщини в кам'яних стінах підвального приміщення будівлі шириною від 6 до 10 мм (рис. 9) послужила просадка ґрунту. Початковим джерелом було

розладнання сполучення і незначне витікання із зворотної магістралі опалення в кутку будівлі.

Перші (волосяні) тріщини шириною до 1 мм в окремих конструктивних елементах будівлі своїм напрямком показують можливе місце джерела замочування – просадку (рис. 10). З початком деформації споруди косі волосяні тріщини скупчені в одному, (двох) місцях і верхівками направлені в бік місця джерела замочування ґрунту. З часом вони не можуть служити показниками напрямку місця джерела замочування, оскільки з'являються нові тріщини, зв'язані з багатьма іншими факторами.



Рис. 9. Нахилені тріщини в кам'яних стінах підвального приміщення



Рис. 10. Волосяні тріщини вказують можливе місце джерела замочування

Горизонтальні наскрізні тріщини, як правило, з'являються а кам'яній кладці і в місцях безпосереднього замочування, тобто

просадка має місцевий характер і на незначній території. Причиною деформації є різка просадка ґрунтів основи від замочування внаслідок аварії водопроводу (рис. 6).

При наявності лінійного джерела зволоження вздовж зовнішньої стіни будівлі фундамент робить крен у бік замочування, що призводить до нахилу будівлі, а в менш твердих конструкціях – до випинання стін і горизонтальних тріщин. При цьому в прилеглих стінах з'являються вертикальні та косі тріщини (рис. 11).

Дрібні (волосяні) тріщини будь-якого напрямку свідчать про наявність нерівномірного осідання будівлі. До їх появи не можна ставитися байдуже. Коли замочування в середній частині, споруда одержує деформацію – прогин. В місті появи джерела замочування можлива поява прямих тріщин з більшим розкриттям знизу (рис.12), або горизонтальні тріщини (розшарування цегляної кладки), або чіткий прогин стіни. За межами місця замочування, в міжвіконних простінках, міжповерхових поясах та інших елементах споруди, з'являються косі тріщини, які мають напрям верхівок в бік джерела замочування.



Рис. 11. Вертикальні та косі тріщини вказують на лінійне джерело зволоження вздовж зовнішньої стіни



Рис. 12. Прямі тріщини з розкриттям знизу вказує на місто появи джерела замочування

Коли джерело замочування знаходиться за межами споруди, стіна одержує деформацію – прогин, косі тріщини мають зворотній напрямок верхівками в бік джерела замочування, а прямі тріщини розкриті більше зверху (рис. 7).

Тріщини в цоколі біля кута будівлі свідчать про наявність зсувних зусиль у швах між кам'яною кладкою підвальних стін, а також про осадку торця будівлі.

Вертикальні тріщини в простінках першого поверху з максимальним розкриттям вгорі свідчать про вигин поздовжніх стін підвалу опуклістю вгору. Характер волосних тріщин шириною до 1 мм в окремих конструктивних елементах, своїм напрямком вказує можливе місце джерела замочування (просідання).

Візуальний огляд навчального корпусу по вулиці Садова, 17 у м. Херсоні показав, що у більшості випадків є різні uszkodження системи «основа-будівля», серед яких найпоширенішими є наскрізні тріщини в несучих стінах. Як правило, їх причинами є нерівномірні деформації ґрунтів основ. У зв'язку з цим потрібне детальне вивчення та узагальнення наявних архівних даних різних будівельних організацій щодо історії будівництва міста, розташування ділянок зі складними геологічними умовами будівництва.

Ефективність методів зміцнення пошкоджених будівель, що застосовуються у Херсоні. При виявленні зовнішніх ознак можливого замочування основи будівлі необхідно негайно

прийняти всі заходи до виявлення і усунення його джерела. Якщо зовнішні ознаки джерела не виявлені, потрібно передусім перевірити справність інженерних мереж поблизу будівлі.

Інженерні мережі, як правило, необхідно перевіряти зовнішнім оглядом і гідравлічним випробуванням. Випробування мереж необхідно починати з введень і випусків, потім випробовувати зовнішні ділянки загалом або ті, що знаходяться між колодязями. Після виявлення несправності ділянки мережі, джерело замочування визначається шурфуванням або свердлінням зі взяттям зразків ґрунту для визначення вологості (максимальна вологість біля джерела замочування). Ділянки мереж невеликої довжини можуть бути розкопаними по всій їх довжині.

Магістралі самотічних трубопроводів в пошкоджених місцях необхідно нівелювати, тобто перевірити позначення верху (низу) труби в пошкодженому місці і порівняти їх з позначеннями в сусідніх колодязях або шурфах, переконатися, чи немає зворотних схилів.

В період спостереження за деформаціями будівель, викликаними просадками ґрунту, необхідно особливу увагу звернути на правильність обладнання тимчасових кріплень по розвантаженню аварійних ділянок. Тимчасові кріплення не повинні перешкоджати вільному осіданню будівлі, інакше вони приносять шкоду, а не користь.

З метою запобігання деформації будівель, побудованих на лесових ґрунтах, працівники житлово-експлуатаційних організацій повинні звертати особливу увагу на зелені зони біля тротуарів (вимощення), слідкувати, щоб тут не скупчувались атмосферні води. Засівати їх потрібно сухостійкими травами, які мають сильно розвинуту кореневу систему. Квіти слід висаджувати не суцільним масивом, а окремими островцями. Деревя і чагарники слід висаджувати таких порід, які не вимагають надмірного поливання, яке може стати прихованим джерелом замочування ґрунту основи будівлі з мілким закладанням фундаменту (будівлі без підвалів), оскільки вода від поливання, потрапляючи під асфальтові вимощення (зона малого випаровування), підвищує вологість ґрунту основи [19].

Підземні інженерні мережі, які несуть воду, повинні знаходитись під постійним доглядом і бути в повній справності. Потрібно слідкувати за герметичністю з'єднань на введеннях і випусках, водонепроникливістю колодязя, лотків і приямків.

2. Розробка розрахункової схеми та «епюри-матриці» стін кам'яних будівель для будівництва на просадних ґрунтах

Останні десятиліття математичне моделювання активно застосовується при вирішенні різних прикладних завдань, зокрема, під час проектування і розрахунку будівельних об'єктів. Для визначення напружено-деформованого стану споруд, їхньої несучої здатності та визначення будь-яких конструктивних особливостей широко використовуються програмні продукти, засновані на чисельних методах [20, 21]. Як правило, на етапі проектування проводиться лінійно-пружний або пружно-пластичний розрахунок конструкції та не розглядається стан об'єкта при втраті несучої здатності деяких елементів, тобто не враховуються такі фактори, як поява тріщин, нерівномірне деформування, втрата стійкості конструкції [22].

Наразі питанням безпеки будівельних конструкцій приділяється велика увага. У процесі експлуатації споруд можуть виникнути надзвичайні ситуації, що викликають руйнування конструкції, які можуть мати як локальний характер, так і глобальний прогресуючий. Тому актуальним напрямом досліджень є створення методів та алгоритмів розрахунку для прогнозування поведінки конструкцій у критичних станах.

До критичного стану конструкції можуть призвести такі фактори, як зношування споруди, помилки при проектуванні або під час будівництва, неправильна експлуатація, різні зовнішні впливи, непередбачені проектом. Існуючі математичні моделі деформування будівельних конструкцій не мають достатньої спільності з поглядом повного обліку можливих процесів і явищ, які призводять до критичного стану об'єкта. Також відсутні дослідження, що дозволяють за об'єктивно встановленими (приладно або візуально) дефектами оцінити несучу здатність та дати якісну характеристику зовнішніх факторів, що спричинили появу даних дефектів у конструкції. Таким чином, актуальним завданням є розробка чисельних алгоритмів, що дозволяють дослідити поведінку та процес деформування будівель та споруд у критичних станах, таких, як поява тріщин та втрата стійкості несучими елементами конструкції, виявлення джерела підтоплення.

З метою вироблення системного підходу до вирішення проблеми запобігання та усунення пошкоджень цивільних будівель необхідно розробити їх класифікацію за найбільш характерними ознаками, наприклад, періодами будівництва,

матеріалами несучих конструкцій, видами пошкоджень тощо. Багато авторів наголошують на важливості класифікації пошкоджень з причин їх виникнення, що дозволяє виробити пріоритетні напрямки у вирішенні поставленого завдання.

В даний час служби, що експлуатують будівлі, не мають простої та достовірної методики оцінки залишкової міцності несучих стін з несилдовими ушкодженнями. Це призводить до переоцінки несучої здатності конструкцій та подальшого накопичення пошкоджень або вибору неправильного способу зміцнення. Існуючі методи оцінки міцності несучих будівельних конструкцій розглядають лише дефекти, пов'язані з навантаженнями та пожежами. Вони вирізняються невисокою надійністю. Причинами є: велика кількість факторів, облік яких майже неможливий; відсутність досконалих розрахункових моделей, що повністю враховують властивості матеріалів [21].

Представлене дослідження базується на аналізі напружено-деформованого стану кам'яної будівлі, побудованої на просадних ґрунтах, на початковій стадії виникнення деформацій.

Розрахункова статична схема зовнішньої стіни будівлі визначає характер та величину додаткових внутрішніх зусиль у конструктивних елементах стіни, що виникають при нерівномірному осадженні фундаментів.

Додаткові конструктивні заходи призначені забезпечити експлуатаційну придатність будівлі на період просадки, що виникла, і її стабілізації, і не замінюють безграмотну експлуатацію будівель, побудованих на просадних ґрунтах.

Конструктивні та водозахисні заходи, закладені в проектах, та виконані будівництвом, не зможуть забезпечити повну безпеку та довговічність будівель, якщо експлуатуючі організації не враховуватимуть особливостей лесових просадних ґрунтів та боротимуться з їх замочуванням.

Складність розрахунку стін кам'яних будівель для будівництва на просадних ґрунтах полягає в невизначеності місця появи джерела замочування [23].

Просадка, як явище, протікає в міру просування вільної води в напруженій товщі ґрунтів основи. Найсильніше просідання позначається під локальним джерелом замочування і в межах деякого контуру змочування активної зони основи. В міру розсмоктування вільної води та переході її у зв'язану, просідання припиняється, незважаючи на високу вологість ґрунтів основи.

Крім замочування для прояву просідання в напруженій товщі ґрунту, необхідно мати достатню величину початкового тиску ($p_n \approx 0,4 \dots 1,5 \text{ кг} / \text{см}^2$).

Залишається з'ясувати наступні питання:

- чи враховувати всю товщу просадних ґрунтів при замочуванні або деяку її частину;
- які межі розрахункової зони просідання;
- який закон розподілу тиску під подошвою фундаментів у зоні замочування.

Метою дослідження є одержання розрахункової схеми стін кам'яних будівель для визначення меж зони просідання, величини зсувних зусиль у конструктивних елементах будівель; одержання закону розподілу тиску під подошвою фундаментів у зоні замочування.

Подальші міркування будують з умови рівноваги діючих та реактивних сил. Розміри фундаментів визначені за умови, що проекції всіх діючих та реактивних сил на вертикальну площину в будь-якому перерізі вздовж стіни будівлі дорівнюють нулю.

У межах замоченого просадного ґрунту, допустимий розрахунковий тиск на ґрунт знижується до величини початкового тиску, отже, вільних консольних склепінь фундаментів не утворюється [23].

Криволінійний характер розподілу тиску в ґрунті та кам'яній кладці замінюємо на прямолінійний з метою спрощення розрахунків. Натурними спостереженнями встановлено, що при випадковому замочуванні ґрунтів основи, кам'яні будівлі мають значно меншу величину абсолютного просідання, порівняно з можливою просадкою, підрахованої для всієї товщі замоченого ґрунту, що просідає. У той же час будівля може мати значні пошкодження конструктивних елементів і малу експлуатаційну придатність. У стінах з прорізами, як правило, в простінках виникають косі тріщини з вершиною у бік блюдця, а також горизонтальні і вертикальні тріщини в опорній частині рядових перемичок і підвіконної частини стін, і дрібні тріщини різних напрямків.

Для створення розрахункової схеми зовнішньої стіни вважаємо, що замочування ґрунтів основи поширене під подошвою фундаменту в межах стиснутої товщі на глибину, рівну трьом ширинам подошви фундаменту [23]. Під фундаментом, в межах товщини, що стискається, формується конус просадних явищ з радіусом, рівним половині товщі.

З появою джерела замочування починає формуватися зона осідання замоченого ґрунту, і з'являються нерівномірні просадки фундаментів. У початковий період зона просадки поширюється від джерела замочування до вертикального перерізу, де твірна конусу замочування перетинає підшову фундаменту, а несуча здатність ґрунту дорівнює розрахунковій величині (R).

Поява та розвиток зони просадки супроводжується утворенням зони обтиснення, зони стабілізації та зони рівноваги. Розвиток усіх зон нерозривно пов'язаний із розподілом внутрішніх зусиль у стіні.

З насиченням ґрунту водою в зоні просадки, у джерела замочування утворюється зона просідання, яка поширюється у бік обтиснення ґрунту. При переході від однієї деформаційної зони до іншої чітких кордонів немає і в подальших розрахунках вони прийняті умовно.

Напруження в ґрунті під підшовою фундаменту в зонах просідання та осадки врівноважується напруженням в зонах обтиснення та стабілізації ґрунту. Початком зони обтиснення вважаємо вертикальний переріз, де вологість ґрунту основи природна, а несуча здатність дорівнює розрахунковій величині ґрунту (R). В зоні обтиснення ґрунту спостерігається зростання напруження під підшовою фундаментів. Зона обтиснення ґрунту основи закінчується перетином, де величина несучої здатності ґрунту є гранично допустимою ($1,5R$).

У зоні стабілізації спостерігається зниження несучої здатності ґрунту основи від значення гранично допустимої величини ($1,5R$) до розрахункової величини (R).

За зоною стабілізації слідує зона рівноваги, в межах якої деформації в стінах не спостерігаються. Епюра реактивного тиску ґрунту характеризує рівновагу всіх сил, що діють на фундамент та стіну. У зв'язку із замочуванням просадного ґрунту, епюра рівноваги всіх сил під підшовою фундаменту із найпростішої фігури прямокутника перетворилася на складну трапецієподібну фігуру з наявністю негативної та позитивної ділянок (рис.13).

Негативна ділянка епюри в зонах просадки та осадки свідчить про зниження несучої здатності замоченого ґрунту до величини початкового тиску (P_n), а також зниження зовнішнього навантаження від стіни на величину, що дорівнює площі епюри з негативним знаком. У зонах обтиснення ґрунту та стабілізації

спостерігається підвищення несучої здатності ґрунту з утворенням позитивних ділянок епюри реакції ґрунту.

Сумарна площа збільшення позитивних епюр дорівнює площі епюри з негативним знаком і свідчить про збільшення зовнішнього навантаження на цих ділянках стіни. Епюра реактивного опору замоченого ґрунту постійно трансформується залежно від коливання вологості ґрунту, а також в залежності від деформованого стану стіни та пошкодження конструктивних елементів без обрушень.

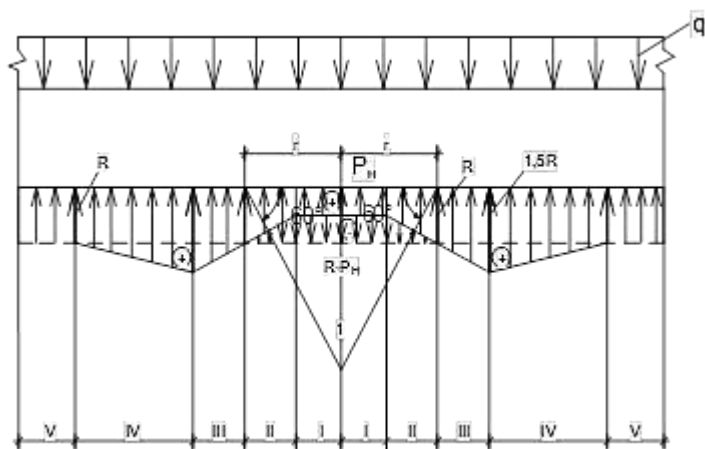


Рис. 13. Епюра рівноваги діючих та реактивних сил під підшовою фундаментів: 1 – конус замочування просадного ґрунту; r – радіус конуса замочування просадного ґрунту; I – зона просідання; II – зона осадки; III – зона обтиснення ґрунту основи; IV – зона стабілізації; V – зона рівноваги всіх сил

Проте, система «стіна – фундамент – ґрунт основи» перебуває у стані рівноваги за рахунок перерозподілу внутрішніх зусиль у стіні та під підшовою фундаменту. Зниження навантаження від стіни в зонах просідання та осадки свідчить про утворення на цій ділянці висячої стіни з рандбалкою у вигляді стрічкового фундаменту та пружної основи.

Навантаження на фундамент у межах висячої стіни передається у вигляді параболічного склепіння з опорними реакціями в зонах обтиснення та стабілізації. Площа епюри реактивного тиску ґрунту основи з негативним знаком відповідає

площі параболічного склепіння зовнішньої стіни, включеної до розрахунку як навантаження від висячої стіни, а також сумі площ двох ділянок позитивних епюр реакцій опор параболічного склепіння, як навантаження від стіни в зонах обтиснення та стабілізації осадок епюри рівноваги.

Зміна навантаження від стіни на фундамент у зоні осадки та просідання відбулася від рівномірно розподіленої до розподіленої криволінійно з вершиною у вертикальному перерізі, де відбувається максимальне осадження фундаменту.

З початком осідання матеріал фундаменту при згині працює у пружній стадії. Отже, по верхньому обрізу фундаменту та початком кам'яної кладки стіни утворюється шов ковзання від сил зсуву, які виникли на стислій межі фундаменту при згині від осідання. Сили зсуву руйнують кладку стіни швами, порушуючи зчеплення між розчином і камінням. Максимальне розкриття горизонтальних та вертикальних швів відбувається у вертикальному перерізі з максимальною осадкою фундаменту.

Руйнування монолітності кладки супроводжується утворенням параболічного склепіння навантаження на фундамент у межах зон осідання та просідання, а також, утворенням склепіння деформацій та пошкоджень кладки стіни в межах довжини епюри рівноваги реактивних сил (рис. 14).

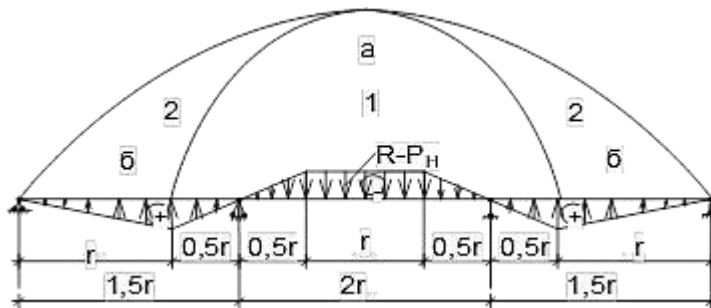


Рис. 14. Епюра рівноваги реактивних сил

Статична схема: 1 – параболічне склепіння навантаження від стіни на фундамент; 2 – параболічне склепіння деформацій у кладці стіни; а – зона сильних деформацій та пошкоджень кладки стіни; б – зона середніх та слабких деформацій кладки стіни.

Зусилля, що виникають у стіні, у зоні замочених просадних ґрунтів основи, знаходяться у прямій залежності від площ епюр із негативним та позитивним знаками.

Стіну будівлі розглядаємо як систему, що складається з вертикальних смуг, які проходять по ширині простінків і мають велику жорсткість у вертикальному перерізі. В'язями для жорстких смуг по висоті та довжині стіни є смуги з меншою жорсткістю, що проходять по отворах, перемичках і кладки під отворами. Логічність поділу стіни на вертикальні смуги різної жорсткості підтверджується характером деформацій та руйнувань кладки стін при нерівномірному осіданні. У тій частині стіни, яка отримала нерівномірне осідання, у простінках утворюються косі тріщини від усунення бічних граней. Вершина тріщини спрямована у бік джерела замочування. У сполучних смугах утворюються вертикальні тріщини під перемичкою біля тієї межі простінка, яка ближче до джерела замочування, і вертикальні тріщини в підвіконній частині.

Ділянки епюри рівноваги, що трансформуються, з негативним і позитивним знаками, формують статичну схему стіни у вигляді нерозрізної трьохпрольотної балки. Навантаженням для нерозрізної балки є площі епюр із негативним та позитивним знаками.

Виходячи з умов поганої роботи матеріалу фундаментів (бетон, бутобетон, кам'яна кладка) на розтяг при вигині від осідання замоченого ґрунту, в тілі фундаменту з'являються руйнування. Максимальні руйнування тіла фундаменту відбуваються у перерізі максимального прогину. У цьому перерізі утворюється шарнір, який перетворює нерозрізну балку на дві самостійні консольні балки з негативним трапецієподібним навантаженням на консолі і позитивним трикутним навантаженням у прольоті.

Статичну невизначеність трьохпрольотної нерозрізної балки вирішуємо введенням двох додаткових шарнірів у крайніх прольотах, перетворивши її на статично визначену балку Гербера, з головною двома консольними балками в середньому прольоті та двома допоміжними однопрольотними балками в крайніх прольотах (рис. 15).

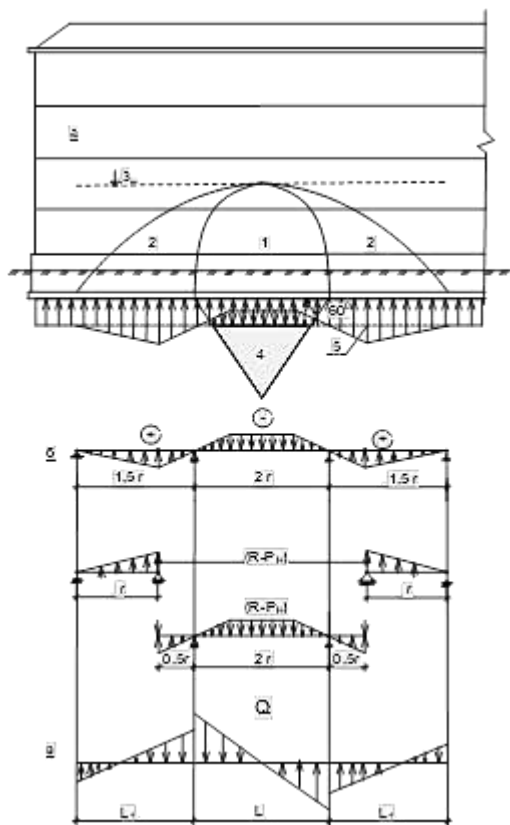


Рис. 15. Розрахункова схема зовнішньої стіни: а) фрагмент фасаду; б) розрахункова схема зовнішньої стінки. Балка Гербера; в) епюра зсувних сил Q ; 1 – параболічний звід навантаження; 2 – параболічне склепіння деформацій та пошкодження кладки стіни; 3 – нульовий обрїй активних деформацій кладки стіни; 4 – конус замочування просадного ґрунту; 5 – епора рівноваги всіх сил.

Рівномірно розподілене навантаження від епюри просідання, приймаємо рівним інтенсивності $(R-P_n)$ на довжині, що дорівнює радіусу конуса просадного явища.

Для визначення величин зсувних сил будемо епюру поперечних сил поверхово. За розрахункові обрїї приймаємо рівень перекриття підлоги даного поверху. Поверхові епюри зсувних сил наносимо на

прозорий матеріал в одному масштабі з розгорткою стіни, і отримуємо «епюру – матрицю» вздовж стіни, імітуючи різні випадки розміщення джерела замочування під стіною.

Висновки

Створена науково-обґрунтована математична модель та її чисельний аналог просторової системи «будівля-фундамент-основа», які забезпечують можливість урахування появи тріщин у цегляній кладці або бетоні (залізобетоні), неоднорідності, нелінійної поведінки та мінливості властивостей ґрунтової основи; розробка науково-методичних основ застосування обчислювальних технологій оцінки рішень, в умовах виникнення впливів, не передбачених початковим проектом, впровадження яких має важливе значення для вирішення проблеми безпеки будівель та споруд.

Розроблена математична модель, що дозволяє описувати процес деформування будівельних конструкцій, що перебувають у критичних станах внаслідок виникнення та еволюції тріщин та дії непроектованих зовнішніх кінематичних та силових факторів.

Проаналізований та обґрунтований характер деформацій, що виникають в конструктивних елементах будівель при нерівномірній просадці фундаментів (наявність тріщин, їх спрямування та розкриття), дозволяє визначити місцеположення джерела замочування. Однак, ця методика є досить наближеною, тому що деформації перебувають у постійному розвитку, і до початку можливості їх аналізу, деформації набувають великих значень, при яких будівля вже не може експлуатуватися та перебуває у стадії аварійності.

Отримана розрахункова схема стін кам'яних будівель та «епюри – матриці» вздовж стіни для визначення меж зони просідання, величини зсувних зусиль у конструктивних елементах будівель.

Отриманий закон розподілу тиску під подошвою фундаментів у зоні замочування. Встановлено характер та величину додаткових внутрішніх зусиль у конструктивних елементах стіни, що виникають при нерівномірному осадженні фундаментів.

Отримавши розрахункову схему стіни кам'яного будинку і «епюру – матрицю» вздовж стіни, визначаємо максимально можливі величини зсувних зусиль у конструктивних елементах, на дію яких ведеться розрахунок. Нульовим горизонтом зсувних

сил є вершина конуса параболічного навантаження на фундамент. Вище нульового горизонту зсувних сил спостерігаються деформації конструктивних елементів у межах пружної стадії, які легко усуваються поточним ремонтом приміщень.

Література:

1. Швецов Г.И., Носков И.В., Слободян А.Д. Основания и фундаменты: Справочник. М.: Высш.шк., 1991.
2. ДБН А.2.1-1-2014 Інженерні вишукування для будівництва. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2014.
3. Кушнер С.Г. Расчет осадок оснований зданий и сооружений. Київ: Будівельник, 1990. 144 с.
4. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Київ. 2009. 104 с.
5. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Зміна №1. Київ. 2011. 55 с.
6. ДБН В.2.1-2-2006 Навантаження і впливи. Київ. 2006. 71 с.
7. Шепелев Н.П., Шумилов М.С. Реконструкция городской застройки: Учеб. для строит. спец. вузов. М.: Высшая школа, 2000.
8. Шагин А.Л., Бондаренко Ю.В., Гончаренко Д.Ф., Гончаров В.Б. Реконструкция зданий и сооружений: Учебное пособие для строит. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1991.
9. Мешечек В.В., Ройтман А.Г. Капитальный ремонт и реконструкция жилых зданий. М.: Стройиздат, 1987.
10. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П., Клименко Є.В. Реконструкція будівель і споруд агропромислового комплексу. К.: Урожай, 1994.
11. Руденко А.А., Самченко Р.В., Степура И.В. О проблеме эксплуатации зданий, сооружений на территориях с просадочными грунтами. *Комунальне господарство міст: Науково-технічний збірник*. № 105. С. 152-157.
12. Леденёв В. В. Аварии, разрушения и повреждения. Причины, последствия и предупреждения : монография / В. В. Леденёв, В. И. Скрылёв. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. 440 с. ISBN 978-5-8265-1798-7.
13. Чутро А.Ф. Предупреждение деформаций зданий. *Городское хозяйство Украины*. Киев: Держбудвидав, 1963. № 2. С. 25-26.

14. Козачек В.Г., Нечаев Н.В., Нотенко С.Н., Римшин В.И., Ройтман А.Г. Обследование и испытание зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2001.

15. Кліменко В.З., Белов І.Д. Випробування та обстеження будівельних конструкцій і споруд. К.: Основа, 2005.

16. Рекомендації з обстеження і оцінки технічного стану житлових будинків перших масових серій. Розроблені: НДІБК. Київ. 2000.

17. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика. Под общ. ред. Е.А. Сорочана. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.

18. Зоценко М.Л. та ін. Інженерна геологія, механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Полтава, 2003. 550 с.

19. Чутро А.Ф. Указания по предупреждению деформаций зданий, эксплуатируемых в условиях просадочных грунтов. Херсон, 1968. 28 с.

20. Кашеварова Г.Г., Вильдеман В.Э, Акулова А.Н. Численное моделирование процессов разрушения кирпичной кладки. *Сборник материалов конференции «Информация, инновации, инвестиции»*. Пермь: ЦНТИ, 2003. С. 61-65.

21. Кашеварова Г.Г., Труфанов Н.А. Численное моделирование процессов деформирования и разрушения зданий в системе «здание-фундамент-основание». *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. 2005. № 10. С. 113-116.

22. Бартоломей М.Л. Математическое моделирование деформирования сооружений в критических состояниях: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермь, 2012.

23. Чутро О.Ф., Емельянова Т.А. Расчетная схема стен каменных зданий для строительства на просадочных грунтах. *«Вісник» Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2018. № 1(64). С. 18-22.

НОТАТКИ

НОТАТКИ

Наукове видання

**«СУЧАСНА ТРАЄКТОРІЯ РОЗВИТКУ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ПРОГРЕСУ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ»**

Колективна монографія

Підписано до друку 07.12.2021. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Гарнітура Cambria. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 24,41. Обл. вид. арк. 18,54
Наклад 100. Ціна договірна.
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Надруковано: ТОВ «ЛІГА-ПРЕС»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6423 від 04.10.2018 р.
Україна, м. Львів, 79012, вул. Кастелівка, 9
Польща, м. Торунь, 87-100, вул. Лубіцка, 44
Тел. +38 (050) 758 14 36