

УДК 581.133.8, 661.152.3  
УКПП  
№ державної реєстрації 0120U102003  
Інв. №

**Міністерство освіти і науки України**  
Сумський державний університет (СумДУ)  
40007, Суми, вул. Р.-Корсакова, 2  
тел. (0542) 33-41-08/33-40-49

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Проректор з наукової роботи  
д-р. фіз.-мат. наук, професор

\_\_\_\_\_ А. М. Черноус

**ЗВІТ**  
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
Процес формування нових екологічно безпечних добрив пролонгованої дії на  
основі сировини фосфоритових родовищ

**ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАПСУЛЮВАННЯ**  
**ФОСФАТО-ВМІСНИМ ПОКРИТТЯМ АЗОТНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ**  
**В ГРАНУЛЯТОРІ З ОДЕРЖАННЯМ СКЛАДНИХ ДОБРИВ**  
(остаточний)

Керівник НДР  
Доцент кафедри ТПХ,  
канд. хім. наук

Г. О. Яновська

2022 р.

Рукопис було завершено 22 грудня 2022 року.

Результати цієї роботи були розглянуті вченою радою, протокол від 2022.12.22 № 7

**СПИСОК АВТОРІВ**

Керівник НДР  
Доцент кафедри ТПХ,  
канд. хім. наук

Г. О. Яновська  
(підрозділ 1, 2, 3, 4,  
висновки)

Відповідальний виконавець  
Старший науковий співробітник,  
д-р техн.наук

С. В. Вакал  
(підрозділ 1, 2, 3, висновки)

Виконавці:  
Доктор філософії  
(технічні науки)

А. Є. Артюхов  
(підрозділ 2, 3)

Науковий співробітник  
Доктор філософії  
(технічні науки)

В. С. Вакал  
(підрозділ 1, 2)

Доктор філософії  
(економічні науки)

В. Ю. Школа  
(підрозділи 3, 4, висновки)

Науковий співробітник

А. М. Зеленський  
(підрозділ 1,2)

Інженер 1 кат.

В. І. Скляр  
(підрозділ 1,2)

Лаборант

Н. М. Рудавіна  
(підрозділ 1)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 118 с., 43 рис., 25 табл., 107 джерел.

БЮЧАР, ГУМАТИ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА, ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА, ПЛАСТИФІКАТОР, ТАРИЛЧАСТИЙ ГРАНУЛЯТОР, ФОСФАТОВМІСНА ОБОЛОНКА, ФОСФОРИТИ.

Глобальні кліматичні зміни, які відбуваються в світі, вже призводять до необхідності перегляду підходів до функціонування аграрного сектору в Україні і номенклатури туків, що можуть забезпечити стале вирощування сільськогосподарських культур. Слід зазначити, що для подолання глобальної продовольчої кризи виробництво зерна в Україні та інших країнах необхідно збільшити за рахунок впровадження інноваційних технологій ведення сільського господарства, спрямованих на підвищення родючості землі та врожайності сільськогосподарських культур за зменшених викидів CO<sub>2</sub>, зниження антропогенного навантаження на довкілля, а також ефективно виробництво добрив на основі переходу до зеленої енергетики та альтернативних джерел енергії [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. У зв'язку з цим широке застосування традиційних азотних добрив потребує підвищення коефіцієнта використання поживних речовин. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є уповільнення швидкості розчинення гранул азоту і, відповідно, більш повноцінне живлення рослин шляхом їх капсулювання полімерними та фосфоровмісними оболонками. Останнім часом, у тому числі авторським колективом, уже розроблено низку органо-мінеральних добрив, які дозволили підвищити на 20–30 % урожайність досліджуваних культур і вміст гумусу в ґрунті, зменшити непродуктивні втрати азоту під час їх виробництва та використання. Такого ефекту вдалося досягти шляхом введення в фосфоровмісне покриття азотного ядра гранули мікроелементів, гуматів натрію, калію, кальцію, а також біовугілля. Водночас, збільшення посушливих днів у період вегетації рослин не дозволяє розкрити потенціал капсульованих

добрив пролонгованої дії, що веде до суттєвих втрат врожаю і економічних збитків. Нагальною потребою сьогодення є розробка рецептур добрив, що дозволяють посилити механічну міцність рослин, забезпечити їх стійкість до різноманітних негативних факторів. Одним із шляхів вирішення зазначеного протиріччя є розробка органо-мінеральних комплексів пролонгованої дії, в якому доцільно застосовувати натуральні мінерали та сполуки. Такий підхід стимулює зусилля дослідників на розробку складу покриття, яке буде за рахунок пористості зберігати вологу в ґрунті й уміст корисних речовин. Поживні властивості вивчених раніше фосфат-глауконітових концентратів пропонується посилити таким сорбентом, як діатоміт, який є осадовою гірською породою. Відмінною особливістю цього компонента є його пориста структура й високий уміст кремнієвих сполук, які мають біогеохімічну активність і покращують обмін азоту й фосфору в тканинах рослин. Дрібнодисперсний діатоміт знаходить також самостійне застосування як натуральний біоінсектицид. Отримані методом окатування капсульовані добрива містять 22 % N, 7 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5,5 % SiO<sub>2</sub>. Статична міцність 1,72 МПа. Мікроскопічні дослідження наведених зразків дрібнодисперсного діатоміту та капсульованого карбаміду, виконані на скануючому електронному мікроскопі, показують, що порошок діатоміту є частинками переважно розміром не більше 20 мкм. При цьому на окремих частках є пори розміром не більше 600 нм. Спектральний аналіз зразка показує, що основним елементом є силіцій. Дослідження поверхні фосфатовмісного покриття гранули дозволило визначити, що включення до складу покриття дрібнодисперсного діатоміту формує щільнішу пористу структуру. Наявність пористих частинок діатоміту по всій товщині капсульного шару дозволяє створити розвинену пористу поверхню не тільки для пролонгуючого ефекту дії азотного ядра на гранули, але і для акумуляції вологи ґрунту, що дає можливість у поєднанні з кремнієвими сполуками, які знаходяться в складі покриття, підвищити стресостійкість рослин у засушливий період вегетації. Наявність кремнієвих сполук у складі гранул знижує небезпеку пошкодження посівів, підвищує

стійкість рослин до дії шкідливих речовин і хвороб, а також зменшує накопичення важких металів у сільськогосподарській продукції.

Проведені розрахунки показників оцінки відповідності нового виду добрива інтересам усіх суб'єктів ринку свідчать про прийнятність виробництва та виведення на ринок нового виду добрива. Запровадження нового виду добрива у сферу виробництва та споживання сприятиме зростанню безпеки не лише виробника та споживача, а й сприятиме підвищенню рівня національної безпеки, глобальної конкурентоспроможності країни, інклюзивному та «зеленому» зростанню економіки, прискоренню досягнення Цілей сталого розвитку та кліматичної нейтральності.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОДИФІКУВАННЯ ОБОЛОНКИ	
ОРГАНІЧНИМИ ДОБАВКАМИ Й ОЦІНКИ ПРОЛОНГУЮЧОГО ЕФЕКТУ	
АЗОТУ ДОБРІВ .....	
	11
1.1 Дослідження органічних модифікаторів у складі покриття .....	12
1.1.1 Одержання зразка біочару .....	13
1.1.2 Дослідження зразка біочару.....	15
1.1.3 Дослідження зразка діатоміту .....	17
1.1.4 Дослідження зразка сапоніту.....	18
1.2 Модифікування фосфоровмісної оболонки органічними добавками .....	22
1.2.1 Опис лабораторної установки .....	22
1.2.2 Дослідження капсульованого органо-мінерального добрива	
модифікованого біочаром .....	24
1.2.3 Дослідження капсульованого органо-мінерального добрива	
модифікованого діатомітом.....	25
1.3 Дослідження способів зниження енерговитрат при виробництві нового	
виду добрив .....	28
1.4 Визначення механізмів підвищення агрохімічних та екологічних	
характеристик розроблених складних добрив.....	31
2 РОЗРОБКА НАУКОВИХ ОСНОВ ЗМЕНШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ	
ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ГАЗАХ, ЩО ВІДХОДЯТЬ, В ТЕХНОЛОГІЧНИХ	
ЛІНІЯХ ГРАНУЛЮВАННЯ КАПСУЛЬОВАНИХ ДОБРІВ.....	
	48
3 ОЦІНКА РІВНЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ	
ЗАЯВЛЕНОЇ УСТАНОВКИ З ВИРОБНИЦТВА КАПСУЛЬОВАНИХ	
ДОБРІВ.....	
	53
3.1 Формування дорожньої карти розвитку технології капсулювання .....	53
3.2 Оцінка зміни рівнів екологічної, економічної та продовольчої безпеки	
національної економіки в результаті застосування різних технологій	

виробництва добрив, в тому числі авторської технології капсулювання добрив.....	61
3.3 Науково-методичний підхід до оцінки рівня продовольчої безпеки держави .....	67
<b>4 ОЦІНКА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ ІННОВАЦІЇ РОЗРОБКИ.....</b>	<b>75</b>
4.1. Оцінка відповідності нових видів органо-мінеральних добрив інтересам суб'єктів ринку з урахуванням досягнення цілей стійкого розвитку .....	75
4.2 Оцінка конкурентоспроможності екологічної інновації – нових екологічно безпечних добрив пролонгованої дії.....	77
4.2 Розробка маркетингової стратегії просування гранульованих добрив пролонгованої дії на внутрішньому та зовнішньому ринках.....	92
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>105</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>	<b>107</b>

## ВСТУП

Виходячи з впливу загроз архітектурі глобальної безпеки на макроекономічну стабільність країн, виникає потреба активного переходу до сталого сільського господарства на інноваційній основі з метою подолання глобальної продовольчої кризи в майбутньому. Зміни на світових ринках зерна та мінеральних добрив у 2022–2023 маркетингових роках внаслідок геополітичних і природних факторів можуть призвести до подальшого загострення продовольчої кризи, поставивши нові виклики та відкривши можливості для виробників – знайти ефективні передові технології для підвищення врожайності та родючості ґрунтів, а також забезпечити екологічну безпеку землеробства. Зниження агрогенного навантаження на довкілля вимагає з одного боку зменшення кількості агрохімікатів, а з іншого – для отримання стійких і стабільно високих урожаїв сільськогосподарських культур потрібно застосування значних доз внесених добрив і засобів захисту рослин.

Отримання органо-мінеральних добрив із нанопористою структурою оболонки, крім вирішення основного завдання – забезпечення контрольованої розчинності добрив у ґрунті, також дозволяє вирішити проблеми прискорення переходу Європи до «зелених технологій» [8] та досягнення цілей сталого розвитку на основі концепції інноваційного прогресу. На зміну Цілям сталого розвитку (ЦСР) 7 «Екологічна стійкість» і ЦРТ 8 «Глобальне партнерство для розвитку», визначених у Цілях розвитку тисячоліття у 2015 році, прийшли ЦСР 12 «Відповідальне споживання та виробництво», ЦСР 13 «Зменшення наслідків зміни клімату», ЦСР 15 «Захист і відновлення наземної екосистеми», ЦСР 17 «Партнерство для сталого розвитку», визначена в Порядку денному сталого розвитку до 2030 року [9, 10, 11, 12, 13]. Розширення та деталізація Цілей сталого розвитку свідчить про появу нових глобальних проблем і те, що деякі завдання Цілі розвитку тисячоліття не вирішені, що потребує формування системи управління довкіллям на принципово новій основі [14]. Крім того, Порядок денний сталого розвитку на період до 2030 року ЦСР 9



«Промисловість, інновації та інфраструктура» визначає взаємозв'язок між заходами та інструментами для забезпечення досягнення вищезазначених ЦСР [15]. Такий комплексний підхід до створення ландшафту та сприятливих умов для вирішення проблеми зменшення техногенного навантаження може бути дуже ефективним у сільськогосподарському виробництві та суміжних галузях, що забезпечують цей напрям.

Використання гранул зі спеціальними властивостями, зокрема органо-мінеральних добрив із нанопористою структурою оболонки (покриття), є перспективним рішенням можливості їхнього контрольованого розчинення в ґрунті. Огляд складу оболонок органо-мінеральних добрив показав, що незважаючи на елементи, за допомогою яких можливо створити нанопористу структуру, додатковий пошук пороутворюючих елементів є актуальним завданням. Загальновідомо, що органічна речовина є ключовим компонентом ґрунту, який впливає на його фізичні, хімічні та біологічні властивості, сприяє його нормальному функціонуванню, від чого залежить виживання людства. Тому введення органічних речовин до складу добрива підвищує якість ґрунту за рахунок покращення умов утримання води та поживних речовин, що призводить до вищої продуктивності культур *in vivo*. При цьому, коріння легше проникають у ґрунт і краще розвиваються. До того ж, для ґрунтових мікроорганізмів і грибів створюється особливе середовище проживання, що забезпечує здоров'я рослин.

Поживні властивості вивчених раніше фосфат-глауконітових концентратів пропонується посилити таким сорбентом, як діатоміт (кізельгур), який є осадовою гірською породою. Відмінною особливістю цього компонента є його пориста структура і високий уміст кремнієвих сполук, які мають біогеохімічну активність і покращують обмін азоту та фосфору в тканинах рослин. Мікроскопічні дослідження діатомової землі показали, що розмір окремих частинок не перевищує 20 мкм, і більшість із них має пористу структуру. Також відомо, що кизельгур володіє необхідними характеристиками, що підвищують родючість ґрунту. На основі цього

запропоновано новий склад органічної оболонки з включенням діатоміту. Нанопориста структура оболонки органо-мінерального добрива з включенням діатоміту має розвинену мережу нанопор, що подовжує дію азотної складової гранули. Дослідження фазово-хімічного складу та кристалічної структури капсульованих добрив методами спектрометрії та електронної мікроскопії показали рівномірний розподіл хімічних елементів по товщині покриття. Також це сприяє пролонгованій дії карбамідного ядра гранул і накопиченню вологи в ґрунті, що дає можливість підвищити стресостійкість рослин у посушливі періоди вегетації за рахунок додавання в оболонку добрив Si-вмісних сполук.

Виконана оцінка конкурентоспроможності екологічної інновації – нових екологічно безпечних добрив пролонгованої дії, розроблена стратегія просування інноваційної продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках.

## **1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОДИФІКУВАННЯ ОБОЛОНКИ ОРГАНІЧНИМИ ДОБАВКАМИ Й ОЦІНКИ ПРОЛОНГУЮЧОГО ЕФЕКТУ АЗОТУ ДОБРІВ**

Одним із розповсюджених способів капсулювання азотних добрив є нанесення на поверхню гранули розчинів сірки, полімеру або порошкоподібних матеріалів у грануляторі окатування з наступними класифікацією та сушінням продукту. При цьому, як основну речовину оболонки застосовують сірку, полімерні компоненти та фосфатовмісні інгредієнти. Формування нанопористої структури є важливим етапом технологічного процесу отримання продуктів із особливими властивостями у вигляді сферичних гранул або тіл різної форми [16, 17]. Специфічні властивості цих продуктів, зокрема пористість, необхідні для забезпечення необхідної поверхні контакту фаз і утримання певної кількості цільової речовини в своєму об'ємі [18]. Розмір, кількість, форма і глибина пор визначають ефективність продукту з особливими властивостями його цільових функцій.

Розмір пор повинен визначатися розміром молекул речовин, які проникають у пористе тіло. Необхідна кількість пор диктується необхідною кількістю речовини, яка повинна проникнути (утриматися) в пористому тілі. Форма і глибина пор визначають швидкість взаємодії речовини з пористим тілом і поверхнею контакту фаз.

У численних дослідженнях детально описано фізико-хімічні властивості гранул добрив, отриманих різними методами [19, 20, 21, 22, 23], а також екологічні та економічні наслідки їх використання в сільському господарстві [24, 25, 26]. На основі аналізу таких показників, як ефективність, забруднення/захист навколишнього середовища, тривалість вивільнення поживних речовин і витрати (включаючи витрати на оплату праці), технологія контрольованого або повільного вивільнення добрив була обґрунтована як економічно краща для сільськогосподарської галузі [26, 27, 28, 29]. Процес капсулювання азотного добрива відбувається шляхом нанесення на ядро

азотного добрива фосфатної оболонки, наприклад, зволоженого порошкоподібного амонізованого суперфосфату і пластифікатору, за який використовується, наприклад, гумат кальцію, з подальшою класифікацією гранул та сушкою продукту [30].

З метою підвищення поживної цінності капсульованого добрива останнім часом використовуються оболонки на основі порошкоподібних амонізованого суперфосфату, амофосу, фосфоритових та (або) фосфат-глауконітових концентратів. А як пластифікатор при агломерації порошкоподібних часток фосфатовмісної речовини застосовуються водні розчини калієвих або азотних добрив та обробка постійним магнітним полем.

Розроблені рецептури оболонок азотних добрив за твердженням авторів дозволяють отримати пролонгуючий ефект добрива, та, водночас, в літературі обмежені відомості щодо можливостей управління часом розчинення азотного ядра добрива та структури фосфатовмісної оболонки. На основі раніше виконаних досліджень [31, 32] були розроблені технологічні основи нанесення порошкоподібних часток фосфатовмісної (фосфат-глауконітової) речовини методом агломерації, що дозволило створити пористу структуру покриття, яка знижує швидкість розчинення азотного ядра гранули. За результатами мікроскопічних досліджень визначені розміри і вид пор покриття, що стало основою подальших експериментальних робіт з модифікації складу покриття для підвищення його поживної цінності.

### **1.1 Дослідження органічних модифікаторів у складі покриття**

Широке застосування традиційних азотних добрив потребує підвищення коефіцієнта використання поживних речовин. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є уповільнення швидкості розчинення гранул азоту і, відповідно, більш повноцінне живлення рослин шляхом їх капсулювання полімерними та фосфоровмісними оболонками. Останнім часом, у тому числі авторським колективом, уже розроблено низку органо-мінеральних добрив, які дозволили підвищити на 20–30 % урожайність досліджуваних культур і вміст гумусу в

ґрунті, зменшити непродуктивні втрати азоту під час їх виробництва та використання. Такого ефекту вдалося досягти шляхом введення до фосфоровмісного покриття мікроелементів, гуматів натрію, калію, кальцію, а також сорбентів. Водночас, збільшення посушливих днів у період вегетації рослин знижує вміст вологи в ґрунті та не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал капсульованих добрив тривалої дії, що призводить до зниження врожайності та прямих економічних втрат. Використання гранул зі спеціальними властивостями, зокрема органо-мінеральних добрив із нанопористою структурою оболонки (покриття), є перспективним рішенням можливості контрольованого розчинення в ґрунті. Огляд складу оболонок органо-мінеральних добрив показав, що незважаючи на елементи, за допомогою яких можливо створити нанопористу структуру, додатковий пошук пороутворюючих елементів є актуальним завданням.

З цією метою проведені дослідження таких сорбентів як біочар, продукт піролізу органічних речовин, та мінеральної сировини, як діатоміт та сапоніт. Вивчення фізико-хімічних властивостей сорбентів проведено в лабораторіях НДІ МІНДІП, а дослідження морфології поверхні та внутрішньої структури гранули (лінійний розмір і форма пор, мікрорельєф поверхні різних об'єктів) проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа SEO-SEM Inspect S50-B в центрі колективного користування науковим обладнанням (ЦККНО) СумДУ.

### **1.1.1 Одержання зразка біочару**

Ґрунтуючись на літературних даних [33] щодо можливостей одержання біочару з різних видів органічної сировини була розроблена методика проведення досліджень та підготовлена металічна реторта для піролізу зразків. Експерименти з отримання біовугілля проводили в лабораторних умовах методом піролізу за відсутності кисню в металічній реторті, яку розміщували в муфельну піч і витримували за температур (400–600) °С протягом 48 годин.

Аналіз зразків біочара проводили за ГОСТ 7657-84 «Вугілля деревне».

Для досліджень використовували торф Глухівського родовища Сумської області, леонардит українського родовища та дубово-ясеневі відходи.

Протокол випробувань торфу наведено в таблиці 1.1. Протокол випробувань леонардиту наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Протокол випробувань торфу\*

Показник	Фактичний вміст, %
Масова частка вологи	81,64
Масова частка сухої речовини	18,36
Масова частка золи	15,50
Масова частка органічної речовини	84,50
Масова частка загального вуглецю, $C_{\text{заг.}}$	41,40
Масова частка гумінових кислот	1,21
Масова частка фульвокислот	0,95
Масова частка гумусових речовин	2,16
pH	6,9

\*за даними лабораторії органічних добрив і гумусу (свідоцтво про відповідність системи вимірювань вимогам ДСТУ 10012:2005 №01-0104/2017) ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Таблиця 1.2 – Протокол випробувань леонардиту\*

Показник	Фактичний вміст, %
1	2
Масова частка вологи	40,79
Масова частка сухої речовини	59,21
Масова частка золи	38,5
Масова частка органічної речовини	61,5
Масова частка загального вуглецю, $C_{\text{заг.}}$ , із сухого	37,95
Масова частка загального вуглецю, $C_{\text{заг.}}$ , у розчині	11,63
Масова частка вуглецю гумінових кислот, $C_{\text{ГК}}$ , у розчині	9,18

Продовження таблиці 1.2

1	2
Масова частка вуглецю фульвокислот, $C_{\text{фк}}$ , у розчині	2,45
Масова частка гумінових кислот	16,52
Масова частка фульвокислот	5,15
Масова частка гумусових речовин	21,67
pH	5,6

\*за даними лабораторії органічних добрив і гумусу (свідоцтво про відповідність системи вимірювань вимогам ДСТУ 10012:2005 №01-0104/2017) ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Аналітичні дослідження отриманого біочару з різних видів сировини у порівнянні з біочаром торгових марок наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Показники біочару різного складу

Показник	Біочар з торфу		Біочар з леонардиту Температура прокалювання 600°C	Біочар, дуб-ясен Температура прокалювання 600°C	Біочар, торгова марка	Біочар, Китай
	Температура прокалювання					
	400°C	500°C				
Леткі речовини, %	4,67	17,52	10,98	4,53	13,85	1,82
Зола, %	62,2	51,52	28,04	4,46	81,81	91,64
Нелеткий вуглець, %	33,13	30,56	60,98	91,01	86,15	6,54
Вміст H <sub>2</sub> O, %	-	-		-	5,06	0,46
pH				10,1		10,0

За результатами проведених досліджень для подальших випробувань прийнято біочар з відходів дуба-ясена, як такий, що має найкращі показники нелеткого вуглецю і найменшу кількість золи.

### 1.1.2 Дослідження зразка біочару

Біовугілля забезпечує екологічні й економічні переваги, підвищуючи родючість ґрунту до 30 % при одночасному зниженні споживання води. Біовугілля є найякіснішим добривом, яке існує на сьогодні, оскільки воно зупиняє процес деградації ґрунту, запобігаючи багатьом глобальним екологічним та економічним проблемам. Завдяки активним іонам, що містяться в добриві біовугілля, вуглець не випаровується в зовнішнє середовище, а надовго залишається в ґрунті, легко засвоюючись корінням рослин. Як результат, кількість парникових газів в атмосфері зменшується, а також зменшується загроза парникового ефекту та глобального потепління [34]. Електронна мікрофотографія біовугілля показана на рисунку 1.1.

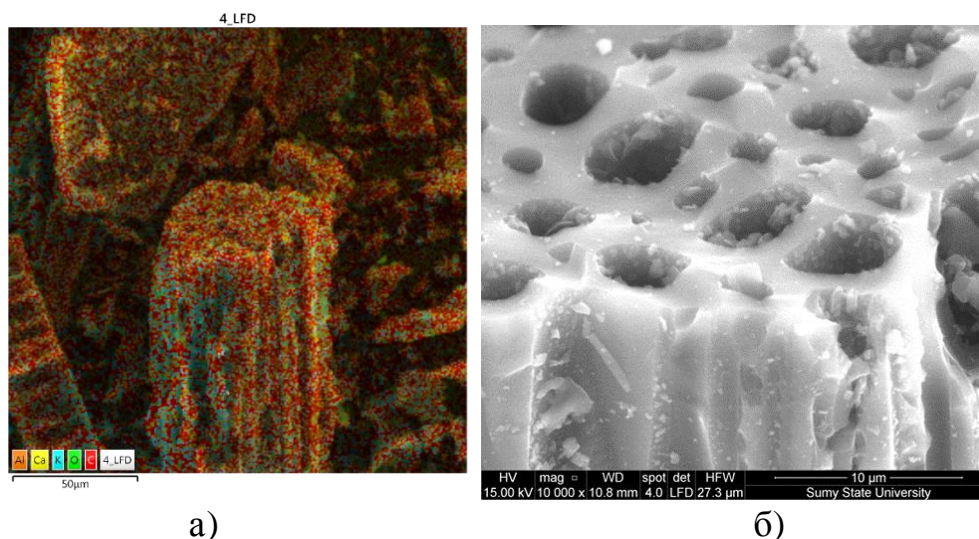


Рисунок 1.1 – Електронна фотографія мікроструктури біовугілля при збільшенні  $\times 1600$  (а);  $\times 10000$  (б)

Дослідження складу біовугілля показало рівномірне розташування складових елементів (рис. 1.1, а) і його розвинену пористу структуру та наявність великої кількості нанорозмірних мікропор (рис. 1.1, б), що має велике значення для сорбційних процесів. Пориста структура та високий уміст рН біовугілля можуть зменшити кислотність ґрунту, вимивання поживних речовин, а також потребу в добривах і зрошенні при використанні як компонента добрива. За своїми показниками біовугілля наближається до показників деревного вугілля, тому його можна розглядати як сорбційну добавку до складу добрив.

У теперішній час цей ефективний ґрунтовий ресурс вже знаходить застосування в сільському господарстві, підвищуючи родючість ґрунту, зменшуючи його твердість та щільність, одночасно знижуючи викиди метану та посилюючи ріст рослин. Крім цього, у ґрунті створюється особливі умови існування для ґрунтових мікроорганізмів і грибів, що забезпечує здоров'я рослин, дозволяє корінням легше проникати в ґрунт і краще розростатися. Біочар також затримує воду в ґрунті, підвищує ефективність добрив і за рахунок своєї адсорбційної здатності може служити бар'єром, що запобігає потраплянню пестицидів і гербіцидів у поверхневі води.



### 1.1.3 Дослідження зразка діатоміту

Проведена оцінка вітчизняної мінеральної бази з визначення перспективної сировини з пористою структурою показала, що доцільною добавкою може бути також діатоміт (кізельгур), поклади якого є в Кіровоградській області України. Ця осадова порода містить до 98 % розчинного кремнезему, має високу пористість, низьку об'ємну щільність, невелику об'ємну вагу, гарні адсорбційні властивості. Застосування діатоміту покращує обмінні процеси рослин, сприяє кращому обміну азоту й фосфору, бору та інших мікроелементів у їх тканинах, активізує процеси фотосинтезу, розвитку кореневої системи й підвищує врожайність і якість сільськогосподарської продукції. Наявність у рослині сполук силіцію дозволяє утворити захисний біокремнієвий екран, який знижує температуру листя на 4–6 °С і зменшує випаровування води через листя на 20–30 % протягом 6–10 днів. Завдяки своїм специфічним властивостям діатоміт також є природним біоінсектицидом. Отже, введення певної кількості діатоміту до складу фосфоромісної оболонки підвищить стресо-, посухо- та солестійкість сільськогосподарських культур та зміцнить їхній імунітет.

SEM дослідження низькодисперсних зразків діатоміту показує, що діатомітовий порошок має розмір частинок переважно не більше 20 мкм (рис. 1.2 а) і має пористу структуру. Деякі частинки мають розмір пор не більше 600 нм (рис. 1.2 б).

Мікроскопічні дослідження діатоміту показали, що він має такий хімічний склад, який підвищує родючість ґрунту. На основі одержаних результатів запропоновано новий склад фосфорорганічної оболонки з додаванням діатоміту.

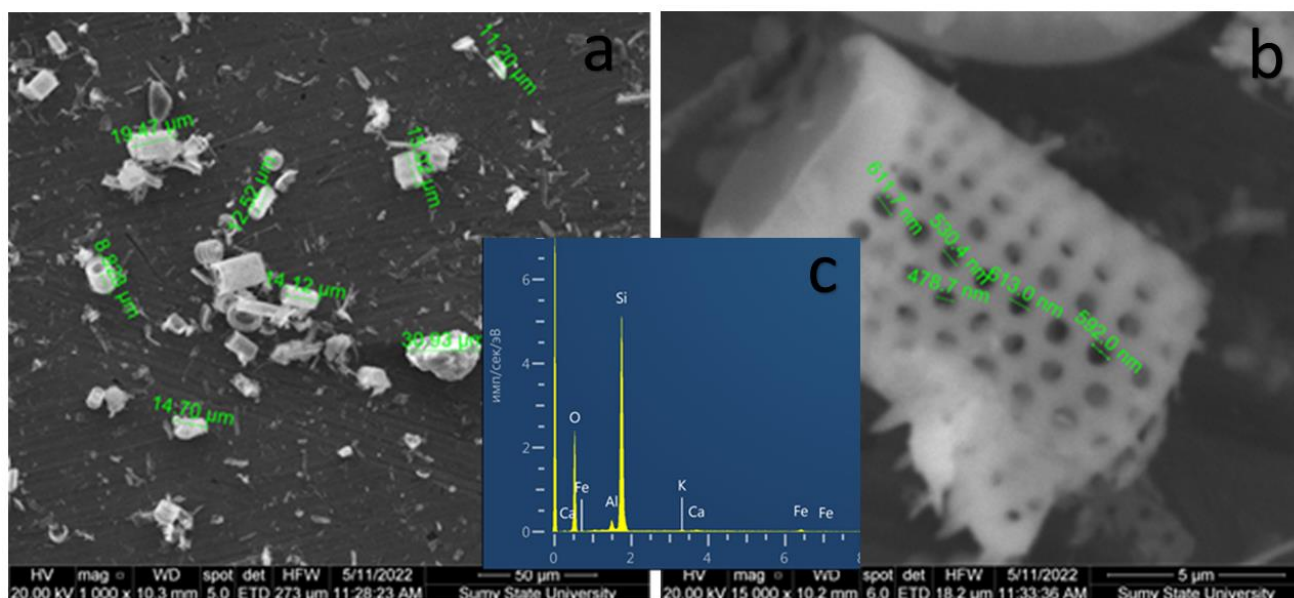


Рисунок 1.2 – SEM зображення морфології діатоміту:

а) розмір частинок діатоміту (збільшення  $\times 1000$ ), б) розмір пор деяких частинок діатоміту (збільшення  $\times 15000$ ), в) спектр EDX діатоміту

#### 1.1.4 Дослідження зразка сапоніту

Одним із відомих сорбційних матеріалів, що застосовується в харчовій, нафтовидобувній та нафтопереробній промисловості, в металургії та сільському господарстві, як наповнювач полімерних середовищ та кераміки, є сапонітові глини. У сільському господарстві сапоніт застосовують як високодисперсну мінеральну сировину, в складі якої присутні такі поживні речовини як калій, кальцій, магній, залізо тощо, і для грануляції добрив, як структуроутворювач ґрунту, адсорбент важких металів із ґрунту, стабілізатор рідких комплексних добрив та інгредієнт порошкових ядохімікатів [35].

Як показують результати мікроскопічних досліджень (рис. 1.3 б, в, г), поверхня і структура сапоніту не пориста, а пухка. Одержані результати дослідів співпадають із роботою [36], в якій для досягнення необхідних сорбційних властивостей сапоніту запропонована кислотна активація. Отже, застосування сапоніту як сорбента-модифікатора фосфоровмісного покриття можливе й доцільне тільки після кислотної обробки порошку. З метою оцінки безпечності сапоніту як агрохімікату для застосування у рецептурі добрив були

визначені показники екологічної безпечності за вмістом плумбуму, кадмію, арсену та ефективної питомої активності природних радіонуклідів. Результати аналітичних досліджень наведено в таблиці 1.4.

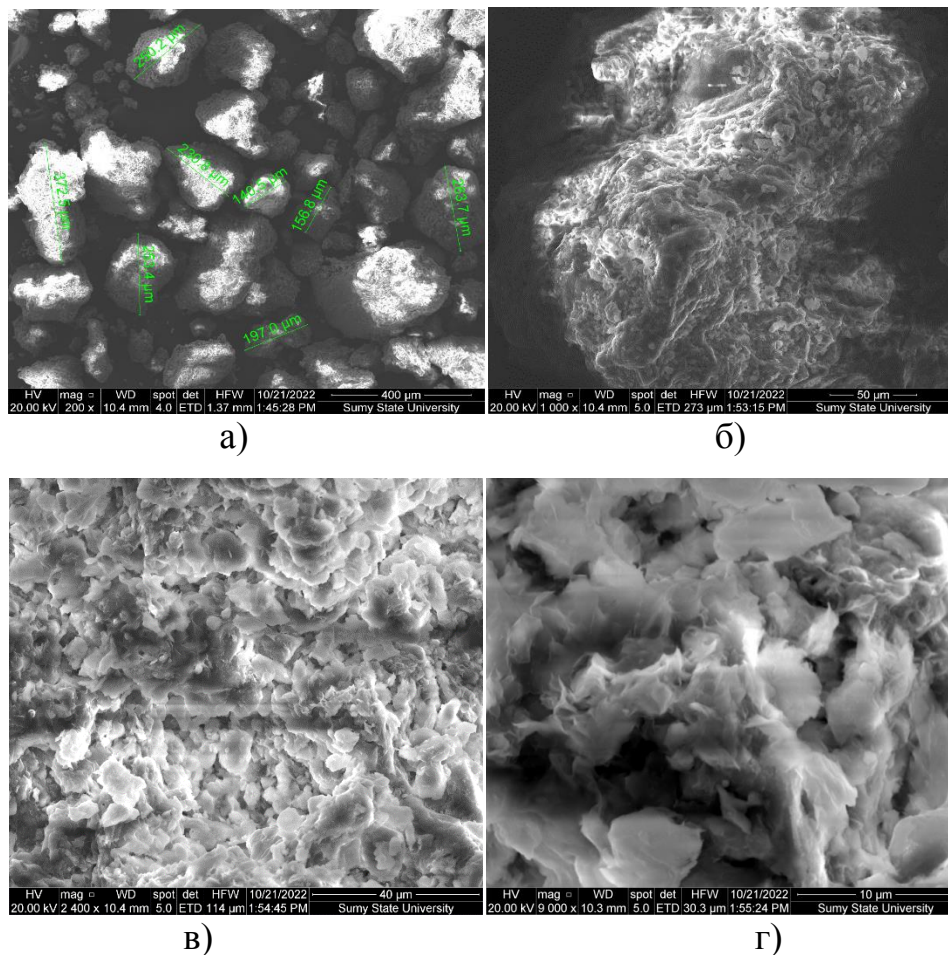
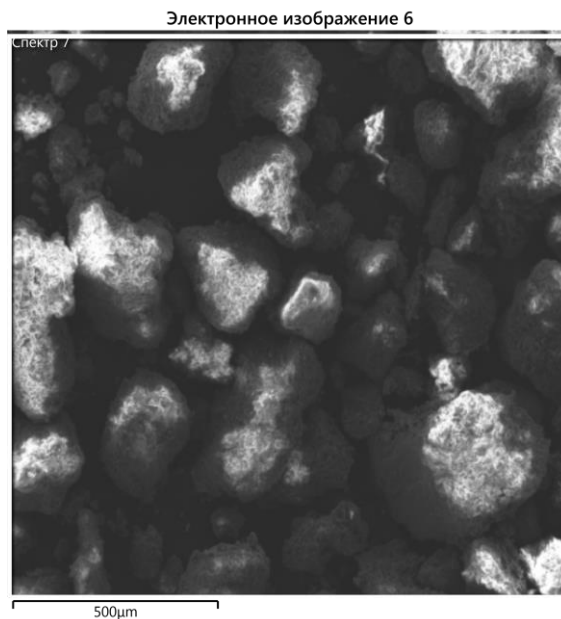
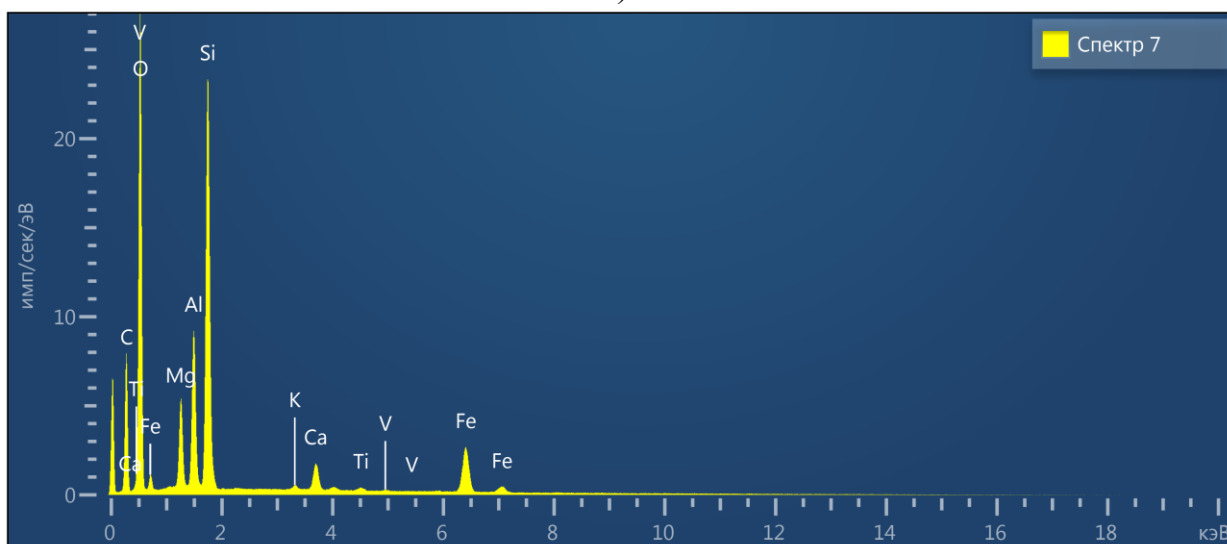


Рисунок 1.3 – Електронна фотографія мікроструктури сапоніту:

а) розмір частинок сапоніту (збільшення  $\times 200$ ); б) зображення поверхні частинок сапоніту (збільшення  $\times 1000$ ); в) поверхня сапоніту (збільшення  $\times 2400$ ); г) поверхня сапоніту (збільшення  $\times 5000$ )



а)



б)

Спектр 7 Элемент	Тип линии	Вес %	Сигма вес %	Атом. %
O	К-серия	43,68	0,20	44,89
Al	К-серия	4,30	0,04	2,62
Si	К-серия	10,94	0,06	6,40
Ca	К-серия	1,26	0,02	0,52
Fe	К-серия	6,18	0,06	1,82
Mg	К-серия	2,72	0,03	1,84
C	К-серия	30,49	0,26	41,74
Ti	К-серия	0,20	0,02	0,07
K	К-серия	0,16	0,01	0,07
V	К-серия	0,06	0,02	0,02
Всего		100,00		100,00

Рисунок 1.4 – SEM зображення морфології сапоніту:

а) розмір частинок сапоніту (збільшення  $\times 200$ ); б) спектр EDX сапоніту

Таблиця 1.4 – Показники безпечності сапоніту

Найменування показника та одиниця виміру	Результат випробування	Норма	НД на методи випробування
1 Масова частка плюмбуму (Pb), мг/кг	2,5	25	ТУ У 24.1-14005076-065-2003
2 Масова частка кадмію (Cd), мг/кг	менше 0,2	30	ТУ У24.1-14005076-065-2003
3 Масова частка арсену (As), г/кг	1,7	15	ТУ У 24.1-14005076-065-2003
4 Ефективна питома активність природних радіонуклідів, $A_{\text{эф.}} = A_{\text{U.Ra}} + 1,2 A_{\text{Th}}$ Бк/кг	6	1850	НРБУ -97

За показниками токсиколого-екологічних досліджень порошок сапоніту може бути залучений як модифікатор фосфоровмісного покриття карбаміду.

Із застосуванням пластифікатору у вигляді водних розчинів карбаміду та калію хлористого була оцінена можливість агломерації порошку сапоніту з одержанням гранул товарної фракції 2–4 мм (рис. 1.4). Процес агломерації проходив нерівно, з утворенням значної кількості зародків гранул і об'єднання їх в агломерати несферичної форми. Хімічний склад гранульованого продукту: вміст MgO в ньому – 10,3 %, CaO – 4,5 %. Статична міцність складає 5,6 кгс/см<sup>2</sup>. Отже, зважаючи на необхідність попередньої активації сапоніту та незадовільні результати процесу агломерації і низької статичної міцності гранул, вбачається доцільним застосовувати даний мінерал тільки в окремих випадках для продуктів високої споживчої вартості.



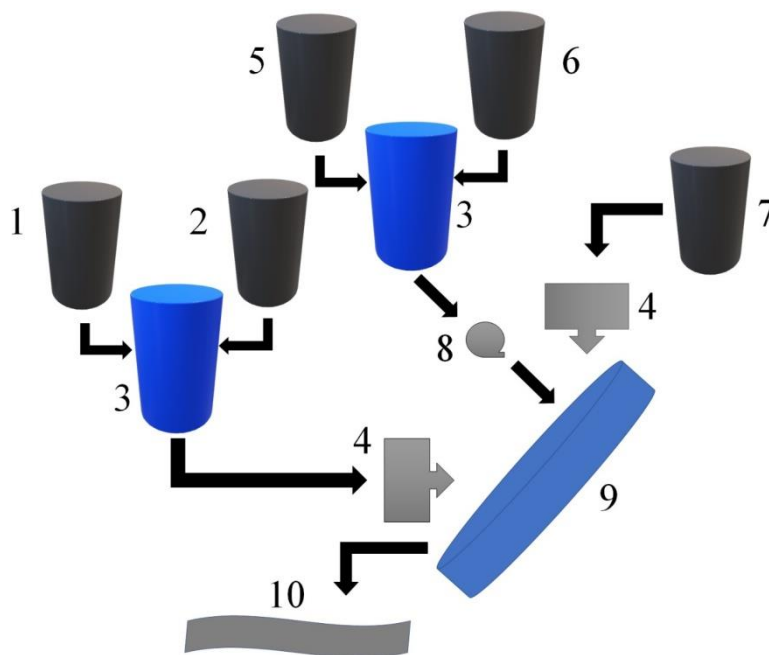
Рисунок 1.5 – Зразок гранульованого сапоніту

## **1.2 Модифікування фосфоровмісної оболонки органічними добавками**

Цикл досліджень із розробки фосфатовмісної композиції покриття з введенням сорбційної добавки виявив необхідність її подрібнення до 200 мкм і визначив, що максимальна кількість, яку можна ввести до складу покриття без істотних втрат міцності гранул становить 10 %. (Тестові вегетаційні досліди з визначення агрохімічної ефективності капсульованого органо-мінерального добрива пролонгованої дії на основі карбаміду та фосфатовмісного покриття з різним умістом сорбенту показали, що агрохімічний ефект від його використання у складі покриття помітний вже при його застосуванні у розмірі 1 %).

### **1.2.1 Опис лабораторної установки**

Зразки капсульованих органо-мінеральних добрив отримували на лабораторній установці на базі тарілчастого гранулятора (рис. 1.6). Методика проведення досліджень із застосуванням тарілчастого гранулятора описано в роботах [31, 32].



1 - фосфоритний бункер; 2 - бункер для сорбентів; 3 - змішувач;  
 4 - дозатор; 5 - резервуар сухого пластифікатора; 6 - бак розчину  
 пластифікатора; 7- вузол подачі ганульованого карбаміду; 8 - розпилювач;  
 9 - тарілчастий гранулятор; 10 - лоток для гранульованого продукту

Рисунок 1.6 – Лабораторна установка для капсулювання добрив

Витрати карбаміду, фосфатно-глауконітового концентрату, сорбенту та гумату калію визначали гравіметричним методом на терезах ВЛКТ-500. Відсів капсульованого продукту проводили на установці РКФ-2У з виділенням товарної фракції (2–5) мм. Отримані зразки продукції сушили в сушильній шафі СНОЛ-3.5.3.5.3.5/3,5-11. Статичну міцність одержаних капсульованих зразків визначали на приладі ППГ-1М за стандартною методикою. Фізико-хімічні дослідження одержаного продукту проводили за стандартними методиками на складні добрива.

Процес формування порошкоподібного покриття на гранулах карбаміду забезпечувався агломераційним механізмом. Гранули карбаміду подавали до тарілчастого гранулятора. Гранули карбаміду попередньо змочували водним розчином пластифікатора в грануляторі. Одночасно додавали суміш фосфориту та модифікуючої добавки у кількості 3–10 % від маси порошку. Відношення

маси покриття до маси карбаміду підтримували лише на рівні 1–1,2. Вологість капсульованої сечовини на виході із тарілки гранулятора становила не більше 7 %. Вологі гранули сушили протягом 3 годин при 65 °С. Продукт розсіювали з виділенням товарної фракції 2–5 мм. Введення до складу покриття дисперсного порошку сорбенту з фосфат-глауконітовим концентратом дозволяє отримати щільну мікро-і нанопористу структуру оболонки.

### 1.2.2 Дослідження капсульованого органо-мінерального добрива модифікованого біочаром

До складу фосфатовмісного покриття першого зразка добрив додатково вносили порошкоподібну добавку біовугілля (біочар) у кількості 10 %, із вмістом масової частки нелетючого вуглецю – 91,01 %, масової частки золи – 4,46 %, масової частки летких речовин – 4,53 %.

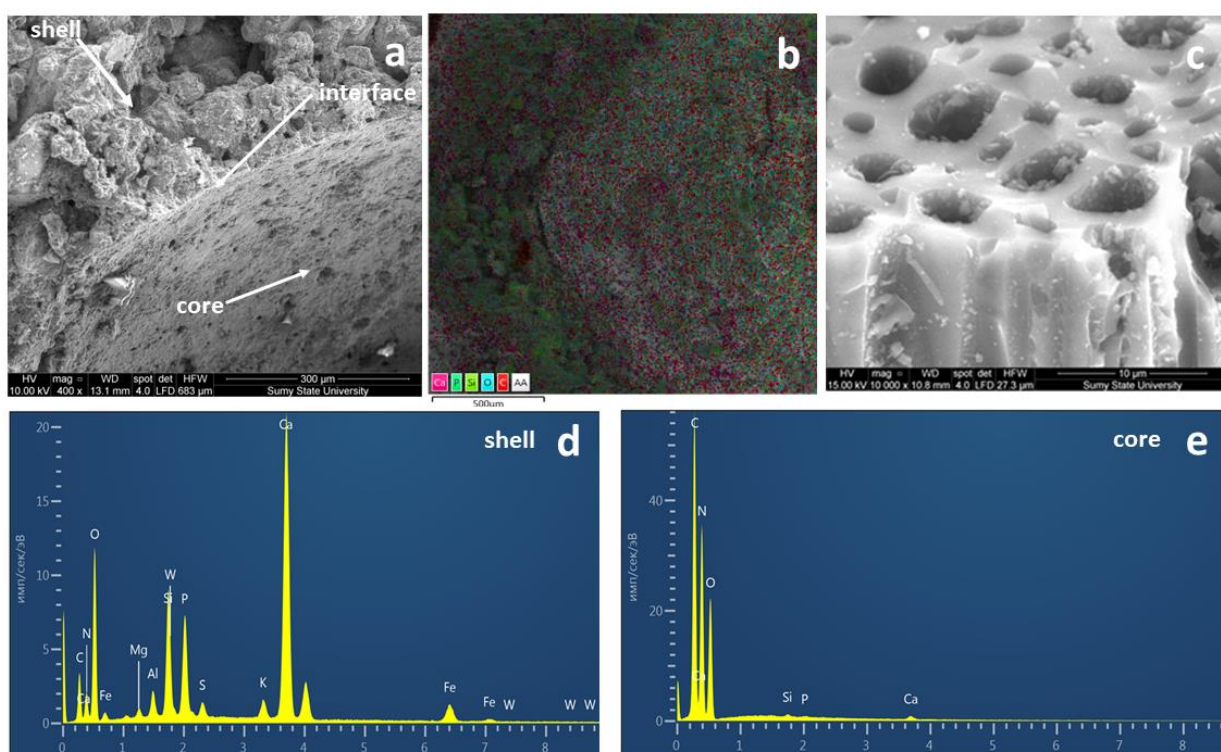


Рисунок 1.7 – SEM зображення морфології гранул добрива зразка 1 з додаванням біовугілля до оболонки: а) поперечний переріз гранули гранули: фосфатна оболонка, межа між оболонкою та ядром, карбамідне ядро (збільшення  $\times 400$ ); б) розподіл елементів в оболонці гранул; в) розмір пор частинок у біовугіллі (збільшення  $\times 10000$ ); д) спектр EDX оболонки гранул; е) EDX-спектр ядра гранули



Додавання біовугілля в оболонку гранул збільшує пористість оболонки. По всій товщині оболонки спостерігається рівномірна нанопориста структура (рис. 1.7, а), що забезпечує проникнення вологи через оболонку. На межі між ядром та оболонкою не спостерігаються пори, які оберігають ядро гранули від вологи й можуть забезпечити відмінне зчеплення між оболонкою та ядром і пошарове розчинення оболонки з подальшим розчиненням ядра гранули. Розподіл елементів (рис. 1.7, б) показує, що в оболонці присутні С, О, Si, Са, Р. Наявність Са та інших елементів-домішок можна пояснити додаванням гумату кальцію як пластифікатора і сполучної речовини між оболонкою та ядром. Пористу структуру поверхні біовугілля наведено на (рис. 1.7, с). Наявність великої кількості нанорозмірних мікропор у біовугіллі має велике значення для сорбційних процесів. Пориста структура оболонки добрив та високий уміст рН біовугілля можуть знизити кислотність ґрунту, вилуговування поживних речовин та потребу в добривах і зрошенні при використанні як компонент добрива. EDX-аналіз оболонки (рис. 1.7, d) показує найінтенсивніші піки Са, Р, Si, О. Основними елементами ядра є С, N, О (рис. 1.7, е) [37]. Результати фізико-хімічних досліджень одержаного капсульованого органо-мінерального добрива наведено в таблиці 1.5.

### **1.2.3 Дослідження капсульованого органо-мінерального добрива модифікованого діатомітом**

Дослідження утворення фосфатно-кремнеземної оболонки на гранулах карбаміду проводили в тарілчастому грануляторі з використанням калієвмісного пластифікатора. Кількість діатоміту у фосфатному покритті коливалася від 3 до 6 % від маси гранули.

Таблиця 1.5 – Фізико-хімічні показники капсульованих органо-мінеральних добрив

Показник	Фактичний вміст		
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1 Массова частка азоту, N, %	23,8	25,6	25,9
2 Масова частка фосфору у перерахунку на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	7,2	8,9	8,1
3 Масова частка калію у перерахунку на K <sub>2</sub> O, %	0,31	2,2	0,39
4 Пластифікатор, вид	Карбамід	Каліймаг	Гумат кальцію
5 Модифікатор	Біочар	-	Біочар 10 %
6 Масова частка води, H <sub>2</sub> O, %	0,35	0,76	0,48
7 Статична міцність, МПа	1,2	1,06	1,0

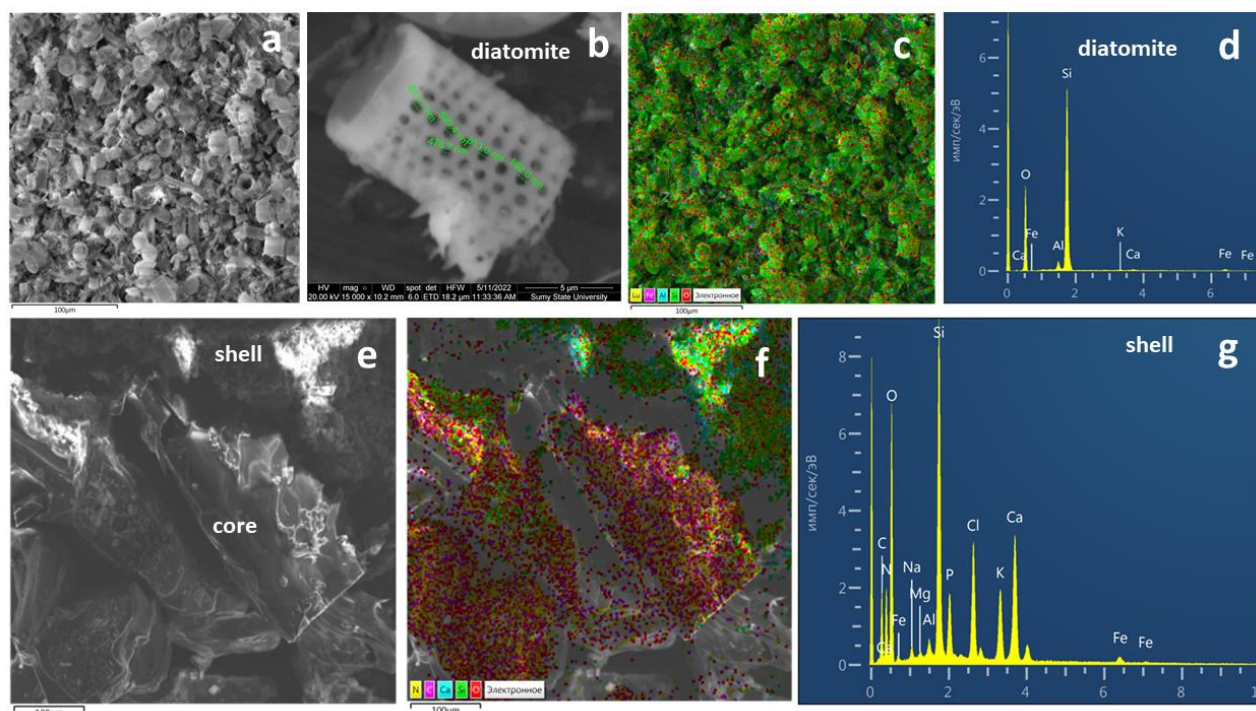


Рисунок 1.8 – SEM зображення морфології покриття карбамідної гранули:  
 а) розмір частинок діатоміту (збільшення  $\times 1000$ ), б) розмір пор деяких частинок діатоміту (збільшення  $\times 15000$ ), в) розподіл елементів в діатоміті; д) спектр EDX діатоміту; е) фосфатвмісне покриття з додаванням діатоміту гранули карбаміду (збільшення  $\times 1000$ ); ф) розподіл елементів в оболонці гранул; г) EDX-спектр покриття

Аналіз спектру EDX зразка діатоміту показує, що його основним елементом є силіцій, рівномірно розподілений у зразку (рис. 1.8, с), а також наведено такі елементи: O, Al, Fe, K, Ca [38]. Включення високодисперсного діатоміту до фосфатсвмісного покриття призводить до формування щільної структури покриття. Аналіз зразків добрив методом EDX показав присутність таких елементів Ca, O, Si, P, Cl, K, N, Al, C, Fe, Na. у рецептурі формування добрива (рис. 1.8, d). [39]. Si рівномірно розподіляється за товщиною покриття (рис. 1.8, f). Наявність пористих частинок доломіту у шарі покриття дозволяє отримати розвинену мікро- і нанопористу поверхню, що створює пролонговану дію карбамідного ядра гранули та акумулювання ґрунтової вологи.

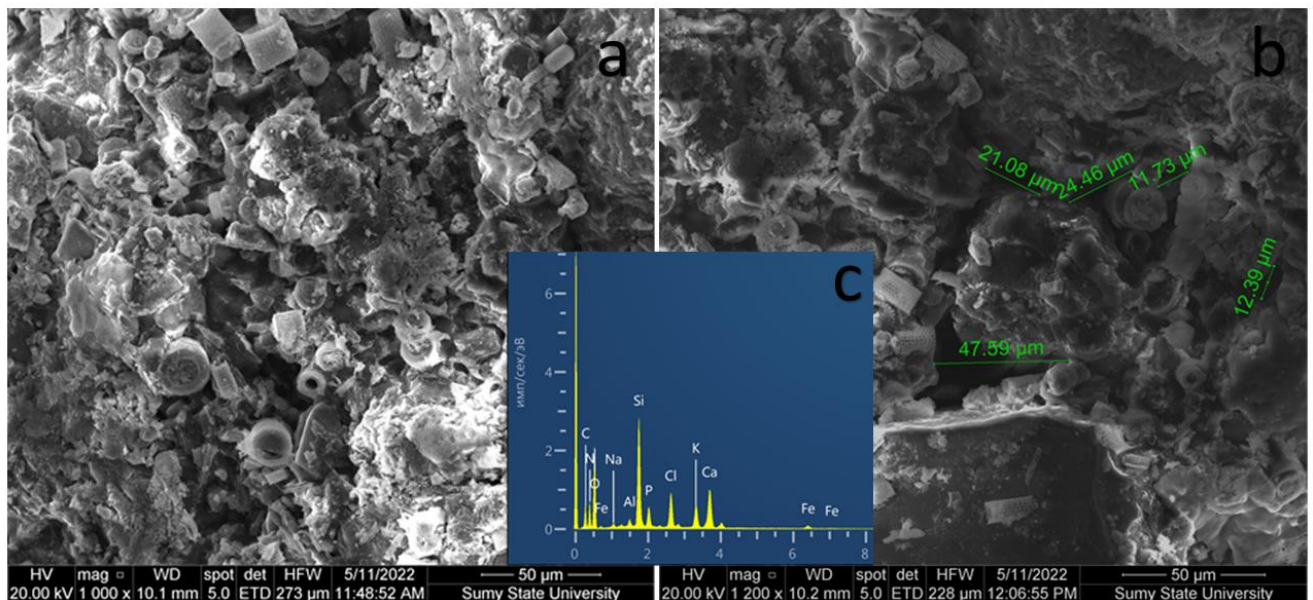


Рисунок 1.9 – SEM зображення морфології покриття карбамідної гранули: а) фосфатсвмісне покриття з додаванням діатоміту гранули карбаміду (збільшення  $\times 1000$ ); б) розмір мікропор у покритті (збільшення  $\times 1200$ ); в) EDX-спектр покриття

Нанопориста структура оболонки органо-мінерального добрива з включенням діатоміту має розвинену мережу нанопор, що подовжує дію азотної складової гранули (рис. 1.9). Методами спектрометрії та електронної мікроскопії дослідження фазово-хімічного складу та кристалічної структури капсульованих добрив показали рівномірний розподіл хімічних елементів за товщиною покриття. Також сприяє пролонгованій дії карбамідного ядра гранул

і накопиченню вологи в ґрунті, що дає можливість підвищити стресостійкість рослин у посушливі періоди вегетації за рахунок додавання в оболонку добрив Si-вмісних сполук. Результати фізико-хімічних досліджень одержаного капсульованого органо-мінерального добрива з модифікатором – діатомітом, наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Фізико-хімічні показники капсульованого органо-мінерального добрива модифікованого діатомітом

Показник	Фактичний вміст
1 Масова частка азоту, N, %	22,8
2 Масова частка фосфору у перерахунку на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	8,3
3 Масова частка калію у перерахунку на K <sub>2</sub> O, %	0,13
5 Модифікатор	діатоміт
6 Масова частка води, H <sub>2</sub> O, %	0,48
7 Статична міцність, МПа	0,9

### 1.3 Дослідження способів зниження енерговитрат при виробництві нового виду добрив

Проведені раніше дослідження [31, 32] з напівсухого способу агломерації дозволили знизити енергетичні витрати на ведення процесу нанесення фосфатовмісного покриття на пріли карбаміду. Формування покриття реалізовувалося методом агломерації при нанесенні водних розчинів на ядро гранули (пріли карбаміду) з поступовим налипанням часток фосфориту та модифікаторів і їх укатуванні на поверхні гранули. Такий метод одержання капсульованого добрива дозволив знизити вологість шихти, що подавалася на гранулювання з 30–40 % до 10–12 % у порівнянні з хімічним способом гранулювання.

Процес формування оболонки з додатковим окатуванням шару покриття дозволяє сформувати досить щільну пористу оболонку з макро- і мікропорами для пролонгованого розчинення карбаміду. Основна перевага такого методу

грануляції порівняно з хімічним полягає у можливості виробляти добрива у широкому діапазоні марок. Істотним недоліком вологої грануляції можна вважати ще досить дорогу вартість процесу із втратою матеріалу на різних стадіях обробки гранул. Водночас, в окремих випадках, існує можливість зменшити кількість вологого пластифікатору при формуванні гранул за рахунок його введення у вигляді пари [39]. З метою встановлення можливості застосування способу парової грануляції були проведені дослідження з формування гранул і покриття та виявлення особливостей ведення процесу. На першому етапі цикл досліджень включав одержання складного гранульованого добрива способом парової грануляції. Досліди проводилися на лабораторній установці на базі тарілчастого гранулятора, яка була доповнена пристроєм одержання пари з характеристиками:

- Максимальний робочий тиск пари – 0,32 МПа;
- Максимальна подача пари – 100 г/хв.;
- Потужність нагріву – 1500 Вт.

При паровій грануляції відбувається розчинення легкоплавких компонентів добрив, які виступають як пластифікатор у процесі агломерації. Оскільки в досліді стосовно процесу капсулювання використовується в основному карбамід, фосфорит, калій хлористий (каліймаг), то паровий спосіб агломерації порошків був апробований для NP, PK NPK добрив на основі цих компонентів.

Компоненти добрив попередньо розмелювалися, щоб порошок проходив через сито 200 мкм. Потім компоненти добрив у зумовленій маркою добрив пропорції ретельно перемішувалися і дозатором подавалися на таріль гранулятора. На шар гранул через сопло подавалася пара. Процес агломерації контролювався візуально. Одержані зразки добрив розсіювалися з виділенням товарної фракції 2–5 мм і сушилися в сушильній шафі при температурі 65–105 °С в залежності від складу гранул. Результати серії дослідів зведені в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 – Фізико-хімічні показники добрив, одержаних способом парової грануляції

Марка добрива	Вологість, %	Статична міцність, МПа	Легкоплавкий компонент
NP 5 : 25	7,0	2,41	Карбамід
NPК 5 : 20 : 5	5,7	0,3	Карбамід, калій хлористий
PK 25 : 3	6,25*	0,2	Калій хлористий

Примітка \* У зв'язку з незадовільним процесом агломерації в ході дослідів додалася вода у розпиленому вигляді.

Як показують результати дослідів, склад добрива суттєво впливає на статичну міцність гранули. Аналіз причин зниження статичної міцності виявив, що при розчиненні азотної складової добрива, яка дорівнює орієнтовно 10 %, статична міцність гранули досить висока. В іншому випадку вона може зменшуватися. Тестові дослідження швидкості розчинення карбаміду та калію хлористого показали, що карбамід розчиняється в 5 разів швидше, тому марка PK і має незначну статичну міцність. До недоліків способа парової грануляції можна віднести меншу щільність гранул у порівнянні з хімічним способом. Водночас, формування шару покриття з дисперсного фосфату підвищує площу контакту частинок фосфориту з водними розчинами ґрунту, що сприяє кращому вилученню фосфору з покриття.

Отримані результати досліджень дозволили прийняти обґрунтоване рішення про застосування карбаміду як легкоплавкої добавки при одержанні фосфоровмісного покриття азотного ядра гранули (зразок 1, таблиця 1.5).

Отже, проведені дослідження щодо можливості застосування парового способа агломерації порошків для одержання фосфатовмісного покриття азотної гранули показали, що такий спосіб є резервом зниження енерговитрат при виробництві капсульованих органо-мінеральних добрив пролонгованої дії і може бути рекомендований для впровадження.

#### 1.4 Визначення механізмів підвищення агрохімічних та екологічних характеристик розроблених складних добрив

Метою дослідження було виявити ефективність перспективних гранульованих добрив на основі карбаміду з фосфоритом, біочаром і пластифікаторами на основі карбаміду і гумата кальцію.

Ефективність добрив визначали за показниками: вага сухих рослин, вміст поживних речовин у висушених рослинах (мг/рослину) і біомаса (% або мг/кг).

Дослідження проводили в лабораторних умовах НДІ МІНДІП на проростках ярого ячменю. Чорнозем типовий використовували як субстрат, який відібрано в Сумському районі. В умовах лабораторії проведено аналіз ґрунту, а саме визначення кислотності, вмісту органічної речовини, нітратного азоту за методом Кравкова, фосфору і калію за методами Чирикова.

Дані агрохімічного аналізу ґрунту наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Агрохімічні показники ґрунту до проведення досліджень

Ґрунт	рН	Гумус, %	N, мг/кг			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (за Чириковим), мг/кг	K <sub>2</sub> O, (за Чириковим) мг/кг
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> і NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
Чорнозем типовий	7,12	6,98	19,36	5,45	24,81	112,45	75,1

Ґрунт, який використовували в дослідженні, містив азот в оптимальній кількості, за рівнем забезпеченості фосфором зразок характеризувався підвищеним рівнем, за калієм – середнім. Тому зразок ґрунту за агрохімічними показниками можна віднести до майже оптимального.

З метою виявлення біологічної ефективності перспективних гранульованих добрив і їх компонентів проводили їх дозування, при яких вміст у ґрунті азоту збільшували майже в 2–4 рази, фосфору і калію відповідно – 1,5–7 та 3,25 разів (табл. 1.9).

Таблиця 1.9 – Схема внесення азоту, фосфору і калію з добривами і їх компонентами

Варіант досліджу	Внесено, мг/кг ґрунту		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль, без добрив	-	-	-
Біочар, 25 мг/кг	-	-	-
Сульфат амонію, 280 мг/кг	64,67	-	-
Сульфат амонію, 280 мг/кг і біочар, 3 мг/кг	64,67	-	-
Гранфоска, розрахована за K <sub>2</sub> O, 3400 мг/кг	-	588,2	170
Гранфоска, розрахована за K <sub>2</sub> O, 3400 мг/кг, і біочар, 34,25 мг/кг	-	588,2	170
Гранульована суміш карбаміду, фосфориту й біочару (1:1:1), пластифікатор 50 % розчин карбаміду, 186,75 мг/кг	32,5	10,1	-
Гранульована суміш карбаміду, фосфориту й біочару (1:1:1), пластифікатор гумат Са, 267,25 мг/кг	32,5	15,4	-
Карбамід, покритий фосфоритом і біочаром, пластифікатор гумат Са, 295,5 мг/кг	68	21,3	1,01

Після внесення добрив ґрунт зволожували досягаючи 70 % вологості від найменшої вологоємності (НВ), висівали по 25 насінин ярого ячменю в чотирьох-кратній повторності. Пророщування й підтримання росту рослин ячменю проводили за температури 20 °С і 12-годинного світлового дня.

На 30 день вегетації робили заміри рослин і провели агрохімічний аналіз ґрунту після вирощування рослин ячменю. Результати агрохімічного аналізу ґрунту наведено в таблиці 1.10.

Рослини, вирощені на фоні різних добрив, були зібрані, з ними проведені біометричні заміри (довжина паростків і коренів, площа листової поверхні), висушені та зважені. Статистична обробка отриманих параметрів із обстежених рослин показала істотні відмінності серед різних варіантів внесення добрив і їх компонентів за сухою вагою. Показники сухої ваги рослин на фоні різних добрив наведено на рисунку 1.10.



Таблиця 1.10 – Агрохімічні показники ґрунту після проведення досліджень

Варіант досліджу	рН	Гумус, %	N, мг/кг			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , (за Чиріковим) мг/кг	K <sub>2</sub> O, (за Чиріковим) мг/кг
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> і NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
Контроль, без добрив	7,14	6,93	20,30	5,50	25,80	114,15	74,8
Біочар, 25 мг/кг	7,11	6,93	19,80	5,70	25,50	115,98	75,1
Сульфат амонію, 280 мг/кг	7,11	6,74	19,90	70,58	90,48	115,40	75,1
Сульфат амонію, 280 мг/кг і біочар, 30 мг/кг	7,14	6,86	20,30	71,45	91,75	115,68	75,9
Гранфоска, розрахована за K <sub>2</sub> O, 3400 мг/кг	7,19	6,83	20,40	6,10	26,50	703,40	244,3
Гранфоска, розрахована за K <sub>2</sub> O, 3400 мг/кг, і біочар, 34,25 мг/кг	7,16	6,79	19,90	5,90	25,80	702,40	245,2
Гранульована суміш карбаміду, фосфориту й біочару (1:1:1), пластифікатор 50% розчин карбаміду, 186,75 мг/кг	7,11	6,73	30,20	27,80	58,00	123,50	74,6
Гранульована суміш карбаміду, фосфориту й біочару (1:1:1), пластифікатор гумат Ca, 267,25 мг/кг	7,19	6,75	29,90	28,32	58,22	140,40	75,3
Карбамід, покритий фосфоритом і біочаром, пластифікатор гумат Ca, 295,5 мг/кг	7,16	6,72	30,30	64,65	94,95	146,30	75,9

Найбільшою сухою вагою відзначилися рослини на фоні внесення гранфоски (3400 мг/кг ґрунту) разом з біочаром (34,25 мг/кг) та гранульованої суміші карбаміду, фосфориту і біочару, з пластифікатором на основі 50 % карбаміду в кількості 186,75 мг/кг ґрунту. У порівнянні з варіантом без внесення добрив і їх компонентів прибавка у вазі в цих варіантах становила відповідно 4,938 мг і 5,075 мг, або на 26,4 % і 27,1 %.

Децю меншою вага рослин була на фоні внесення в ґрунт сульфату амонію (280 мг/кг) разом з біочаром (30 мг/кг ґрунту) та гранфоски в кількості

3400 мг/кг ґрунту, але була більшою в порівнянні з контролем (без внесення добрив) відповідно на 2,157 мг і 1,906 мг, або на 11,5 % і 10,2 %.

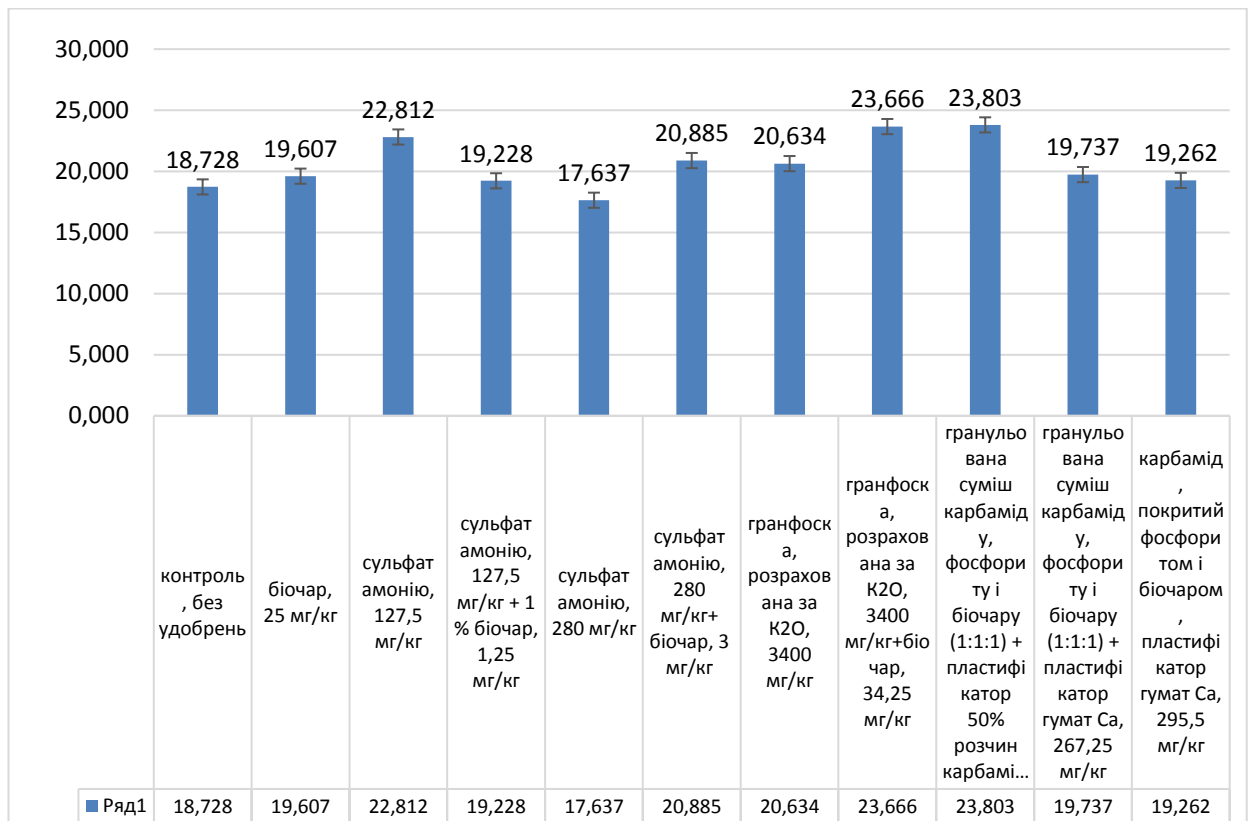


Рисунок 1.10 – Вага сухих рослин, мг

У варіантах внесення біочару (25 мг/кг ґрунту), гранульованої суміші карбаміду, фосфориту й біочару з використанням пластифікатора на основі гумату кальцію (267,25 мг/кг ґрунту) та гранульованого карбаміду з використанням для покриття фосфориту і біочару, з пластифікатором на основі гумату кальцію (295,5 мг/кг ґрунту) виявили лише тенденцію (статистично непідтверджений ефект) збільшення ваги проростків ярого ячменю. Ефективність цих гранульованих добрив доцільно вивчати на більш пізніх фазах розвитку рослин ярого ячменю в умовах польових досліджень.

Для встановлення ролі ключових компонентів на накопичення сухої ваги у проростків ячменю був проведений корелятивний аналіз між кількостями внесених у ґрунт окремих компонентів гранульованих добрив та сухою вагою проростків ячменю.

Найбільш тісними були зв'язки між накопиченням сухої ваги та всенням біочару, фосфору і калію. Коефіцієнти кореляції між цими показниками відповідно становили  $r=+0,563$ ,  $0,455$  і  $0,461$ . В даних умовах експерименту на початковому етапі росту ячменю на накопичення ваги проростків азот відігравав менш значну роль.

Отже, на ювенільних етапах росту й розвитку на накопичення біомаси ячменю більший вплив мали біочар, фосфор і калій. Так, на формування рослин частка впливу цих компонентів добрив становила відповідно  $31,6\%$ ,  $20,7\%$  і  $21,3\%$ .

Для більш детального виявлення ролі й механізму дії досліджуваних гранульованих добрив і їх компонентів на накопичення сухої ваги рослин та елементів живлення у проростках ярого ячменю була проведена їх листова діагностика на вміст азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію та мікроелементів.

За результатами листової діагностики виявлено, що найбільше азоту накопичувалося в біомасі рослин при внесенні сульфату амонію ( $280$  мг/кг) з біочаром ( $30$  мг/кг), гранульованої суміші карбаміду з фосфоритом і біочаром, з пластифікатором на основі  $50\%$  карбаміду в кількості  $186,75$  мг/кг ґрунту, гранульованої суміші карбаміду з фосфоритом і біочаром, з пластифікатором на основі гумату кальцію в кількості  $267,25$  мг/кг ґрунту та гранульованого карбаміду, покритого фосфоритом і біочаром з пластифікатором на основі гумату кальцію в кількості  $295,5$  мг/кг ґрунту (рис. 1.11).

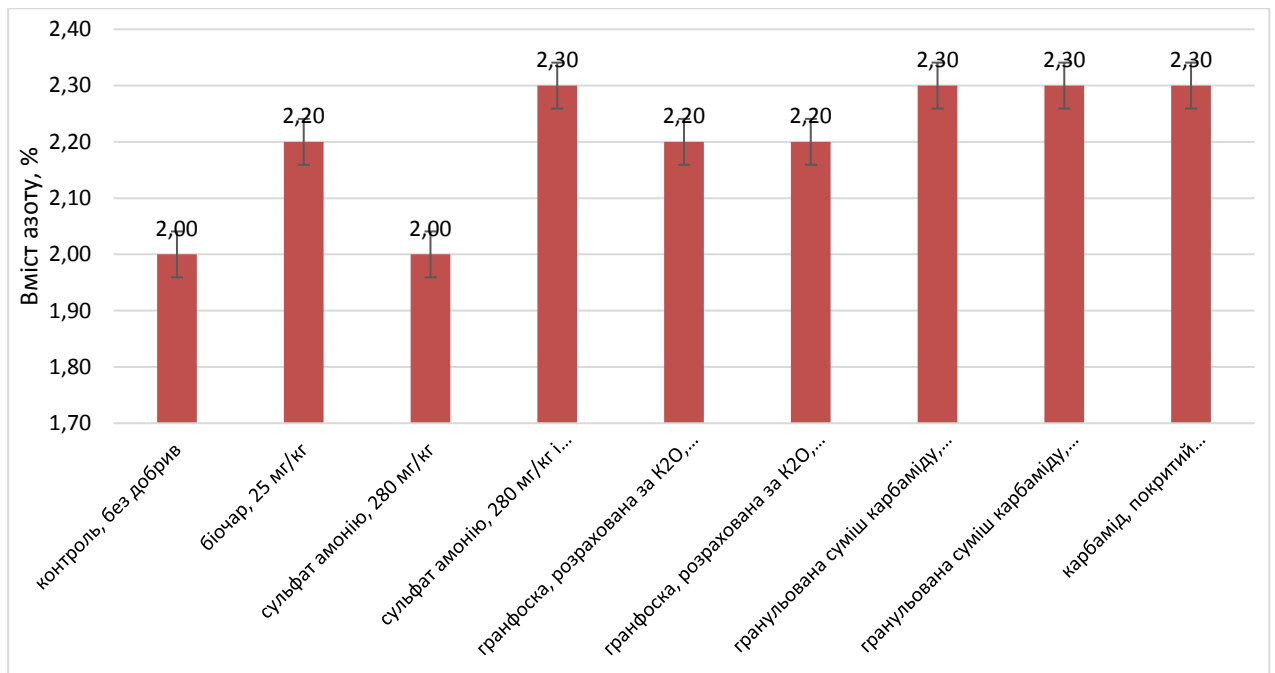


Рисунок 1.11 – Вміст азоту в проростках ячменю

Проте, за вмістом валового азоту в рослинах переважали варіанти з внесенням гранфоски (3400 мг/кг ґрунту) разом з біочаром (34,25 мг/кг ґрунту) та гранульованої суміші карбаміду з фосфоритом і біочаром, покритим пластифікатором на основі 50 % карбаміду в кількості 186,75 мг/кг ґрунту (рис. 1.12).

При цьому, на активність накопичення азоту в процесі ювенільного росту і розвитку в рослинах більше впливали фосфор і калій та опосередковано біочар. Так, коефіцієнти кореляції між азотом і фосфором, азотом і калієм та азотом і кількістю внесенного біочару в рослинах проростків ячменю становили відповідно  $r=+0,836$ ,  $+0,804$  та  $+0,622$ .

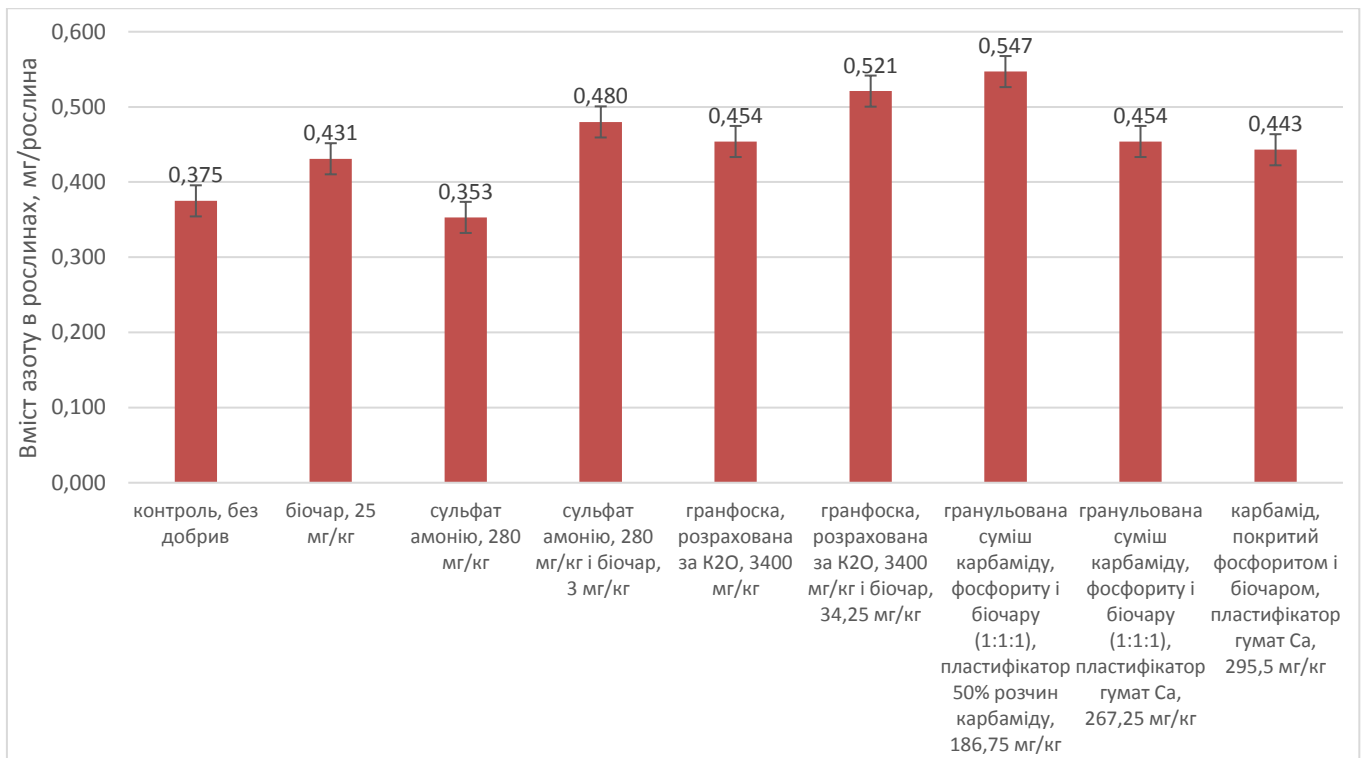


Рисунок 1.12 – Вміст азоту в проростках ячменю

Найбільшим вміст фосфору (0,69 %) в проростках ячменю було виявлено при внесення біочару в ґрунт у кількості 25 мг/кг ґрунту. Дещо менше у варіантах із внесенням гранфоски (3400 мг/кг ґрунту) разом з біочаром (34,25 мг/кг ґрунту), гранульованої суміші карбаміду, фосфориту й біочару, з пластифікатором на основі 50 % карбаміду в кількості 186,75 мг/кг ґрунту, гранульованої суміші карбаміду, фосфориту й біочару з пластифікатором на основі гумату кальцію в кількості 267,25 мг/кг ґрунту та гранульованого карбаміду, покритого фосфоритом і біочаром з пластифікатором на основі гумату кальцію в кількості 295,5 мг/кг ґрунту (рис. 1.13).

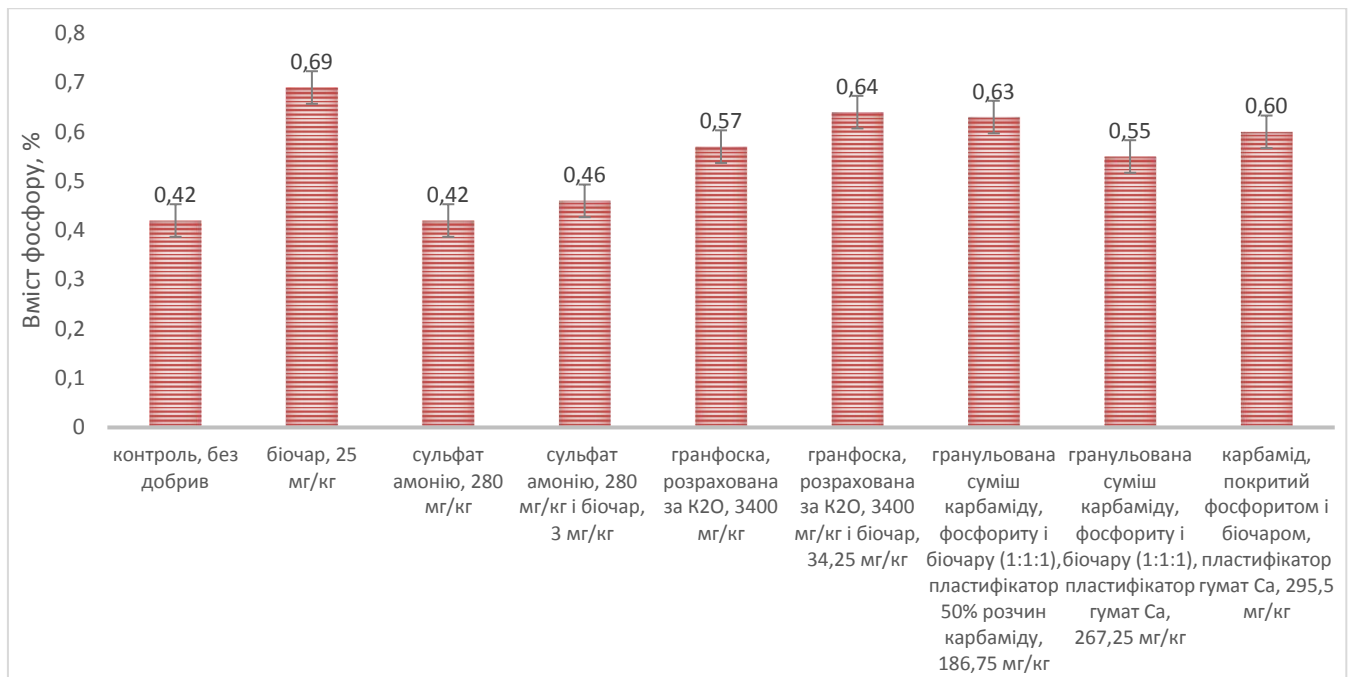


Рисунок 1.13 – Вміст фосфору в проростках ячменю

Валовий вміст фосфору у рослинах був більшим на фоні внесення гранфоски (3400 мг/кг ґрунту) разом з біочаром (34,25 мг/кг ґрунту) та гранульованої суміші карбаміду, фосфориту й біочару з пластифікатором на основі 50 % карбаміду в кількості 186,75 мг/кг ґрунту. Фосфору в проростках ячменю у варіантах внесення цих добрив виявлено відповідно 0,151 мг та 0,150 мг на рослину. Високий уміст фосфору в проростках був обумовлений наявністю в компонентах добрив високого вмісту фосфору та в присутності біочару.

Дещо меншим валовий вміст цього елемента був на фоні внесення біочара в ґрунт у кількості 25 мг/кг і становив 0,135 мг на рослину (рис. 1.14).

Отже, зростання вмісту фосфору у проростках ярого ячменю виявляли або внаслідок використання його в добривах, або при внесенні біочару. Так, коефіцієнти кореляції між внесеним фосфором і валовим його вмістом у рослинах становив  $r = + 0,415$ , між біочаром і валовим вмістом фосфору в рослинах він був дещо вищим –  $r = + 0,566$ .

За результатами визначення фосфору (% та валовий вміст) в проростках ячменю слід відзначити роль біочару в накопиченні цього елемента в

проростках ячменю. Дія біочару є скоріше опосередкованою. Враховуючи, що цей компонент добрив має високий вміст вуглецю і за структурою високопористий, завдяки адсорбційним властивостям він здатний до поглинання вільних катіонів, в тому числі  $\text{Ca}^{+2}$ .

Кальцій, який наявний в ґрунтоутворюючих породах у великій кількості, в ризосфері коренів здатний до зв'язування аніонів ортофосфорної кислоти з утворенням нерозчинної солі ортофосфату кальцію і тим самим унеможливити поглинання фосфору коренями рослин.

Саме завдяки адсорбційним властивостям біочару, концентрація вільних катіонів  $\text{Ca}^{+2}$  в ризосфері коренів рослин може зменшуватися. При цьому збільшується концентрація і рухомість аніонів ортофосфорної кислоти та покращуються умови до поглинання і забезпечення рослин фосфором.

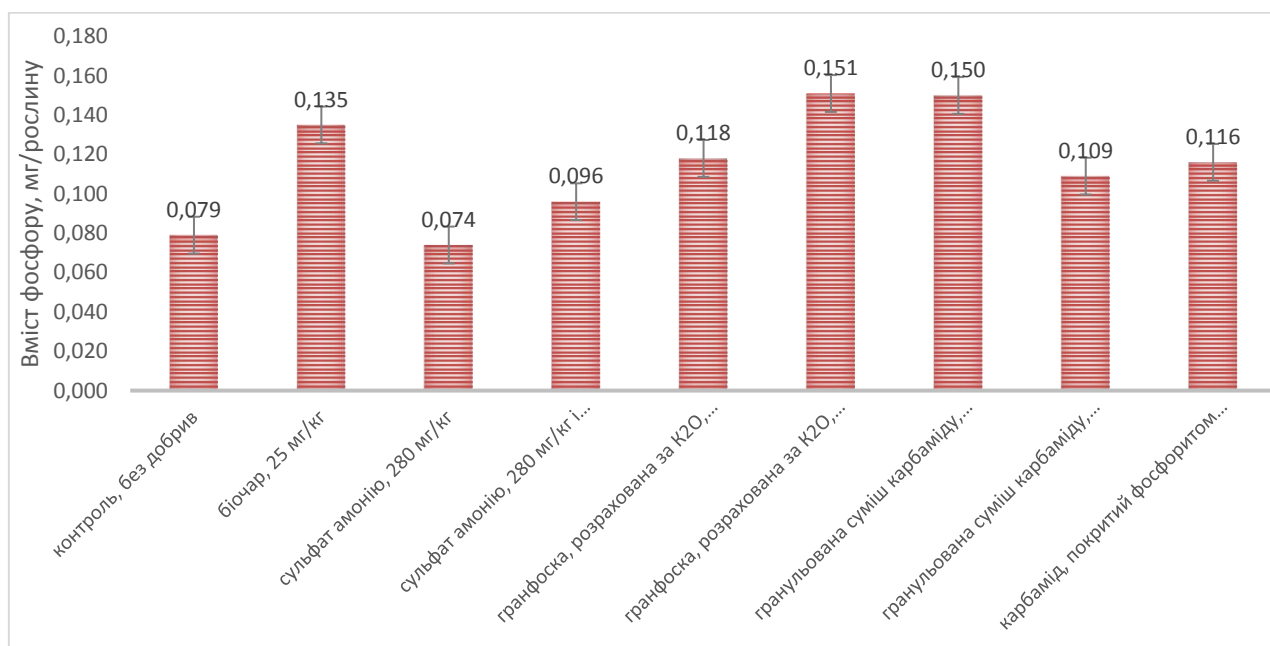


Рисунок 1.14 – Вміст фосфору в проростках ячменю

Ефективність перспективних добрив – гранульованої суміші карбаміду, фосфориту й біочару з використанням пластифікатора на основі гумату кальцію та гранульованого карбаміду з використанням для покриття фосфориту і біочару з пластифікатором на основі гумату кальцію – у накопиченні вмісту фосфору (% і валового вмісту) в період ювенільного періоду росту і розвитку

ярого ячменю була дещо меншою. Можливо це обумовлено використанням платифікатора на основі гумату кальцію.

Біологічну ефективність цих гранульованих добрив доцільно вивчати на більш пізніх фазах розвитку рослин ярого ячменю в умовах польових досліджень.

Найбільшим вмістом калію в період ювенільного росту рослин ярого ячменю було виявлено на фоні використання гранфоски (3400 мг/кг ґрунту) разом з біочаром (34,25 мг/кг ґрунту) та гранульованої суміші карбаміду, фосфориту і біочару з пластифікатором на основі 50 % карбаміду в кількості 186,75 мг/кг ґрунту. Вміст калію у цих варіантах становив відповідно 4,7 % та 4,4 %.

Дещо меншим він був при використанні добрив гранульованої суміші карбаміду, фосфориту і біочару з пластифікатора на основі гумату кальцію та гранульованого карбаміду з використанням для покриття фосфориту і біочару з пластифікатором на основі гумату кальцію. Відсоток калію був відповідно 3,5 % та 3,8 % при вмісті на контролі – 2,9 % (рис. 1.15).

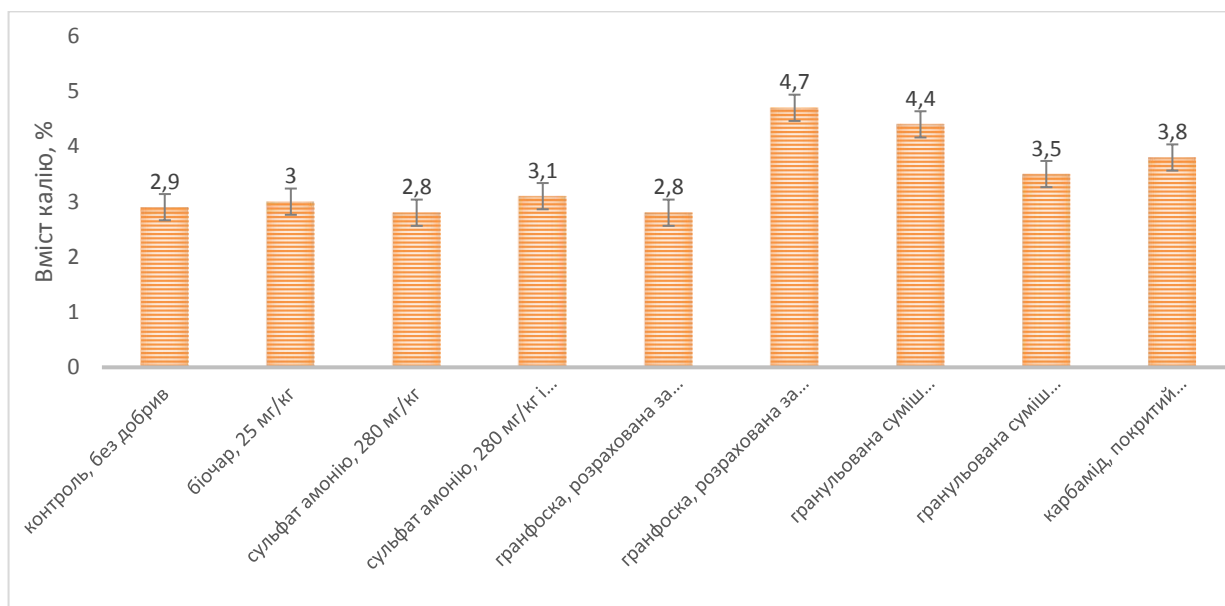


Рисунок 1.15 – Вміст калію в проростках ячменю

Валовий вміст калію також спостерігали при внесенні гранфоски (3400 мг/кг ґрунту) разом з біочаром (34,25 мг/кг ґрунту) та гранульованої



суміші карбаміду з фосфоритом і біочаром, з пластифікатором на основі 50 % карбаміде в кількості 186,75 мг/кг ґрунту. Калію у цих варіантах виявлено відповідно 1,112 та 1,047 мг на рослину.

Меншим він був при використанні добрив: гранульованої суміші карбаміду з фосфоритом і біочаром із використанням пластифікатора на основі гумату кальцію та гранульованого карбаміду з використанням для покриття фосфориту і біочару з пластифікатором на основі гумату кальцію. Валовий вміст калію був відповідно 0,691 мг та 0,732 мг в рослині, при вмісті на контролі – 0,543 мг в рослині (рис. 1.16).

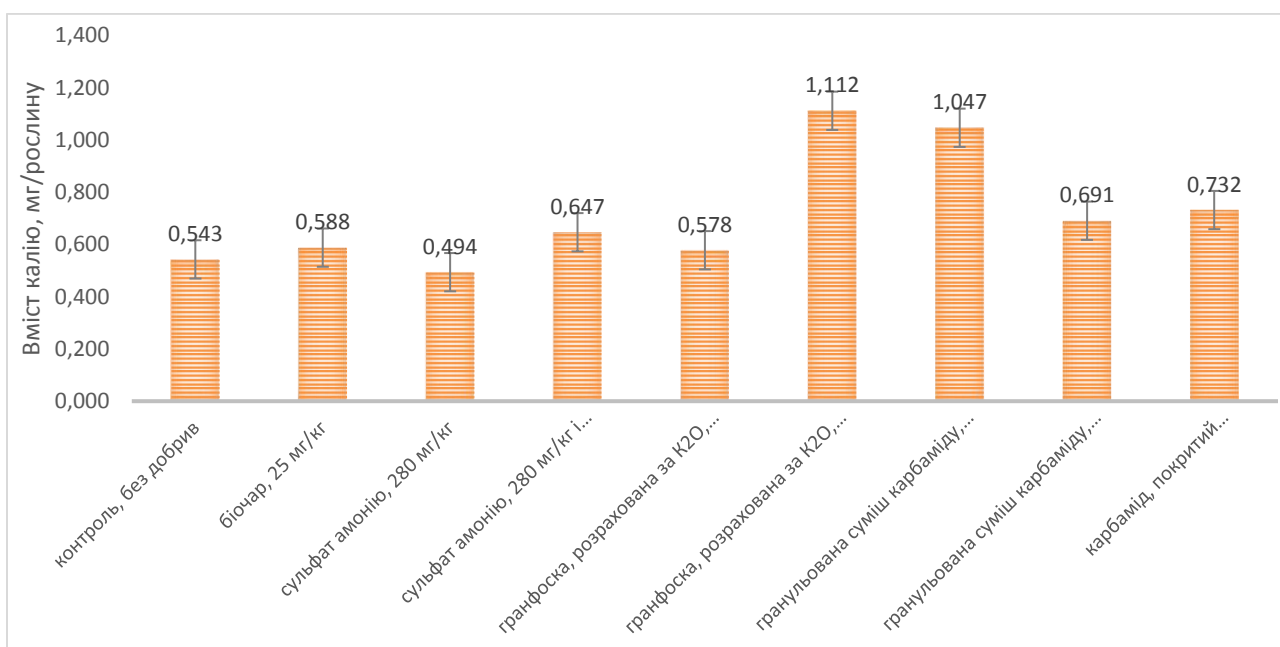


Рисунок 1.16 – Вміст калію в проростках ячменю

Аналіз показав, що в рослинах проростків ярого ячменю на даному етапі росту і розвитку на вміст калію в рослинах менше впливало внесення калієвмісних добрив і їх кількість. В даному експерименті встановлено досить незначний зв'язок між вмістом калію в рослинах і внесених калійних добрив.

Проте, рівень калію в рослинах збільшувався при використанні окремо або разом з добривами біочару. Коефіцієнт між вмістом калію в рослинах і кількістю внесеного біочару був позитивним і вірогідним та становив  $r = +0,576$ .

Ефективність біочару в накопиченні калію в рослинах також має опосередковану природу. Засвоєння амонійного азоту і калію рослинами відбувається за участю спеціалізованих протонних pomp у мембранах клітин коренів через обмінну реакцію з виділенням протону водню ( $H^+$ ) в ризосферу коренів і поглинання аніонів амонію ( $NH_4^+$ ) або калію ( $K^+$ ). В результаті підкислюється ґрунт у ризосфері, як результат збільшується кількість і рухомість катіона  $Ca^{+2}$ , який обмежує засвоєння аніона ортофосфорної кислоти (поглинання фосфору) рослинами. Отже, уповільнює ріст і розвиток проростків рослин на початковому етапі вегетації. Саме завдяки адсорбції катіонів  $Ca^{+2}$  біочаром, активність поглинання фосфору значно зростає. Оптимізація вмісту фосфору в рослинах на етапі ювенільного росту призводить до активізації фізіологічної активності рослин, прискорення ростових процесів, у тому числі росту кореневої системи, зростанню активності поглинання калію, азоту та інших елементів живлення.

В підтвердження даної гіпотези є результати визначення вмісту кальцію в рослинах ячменю при використанні біочару в гранульованих добривах (рис. 1.17).

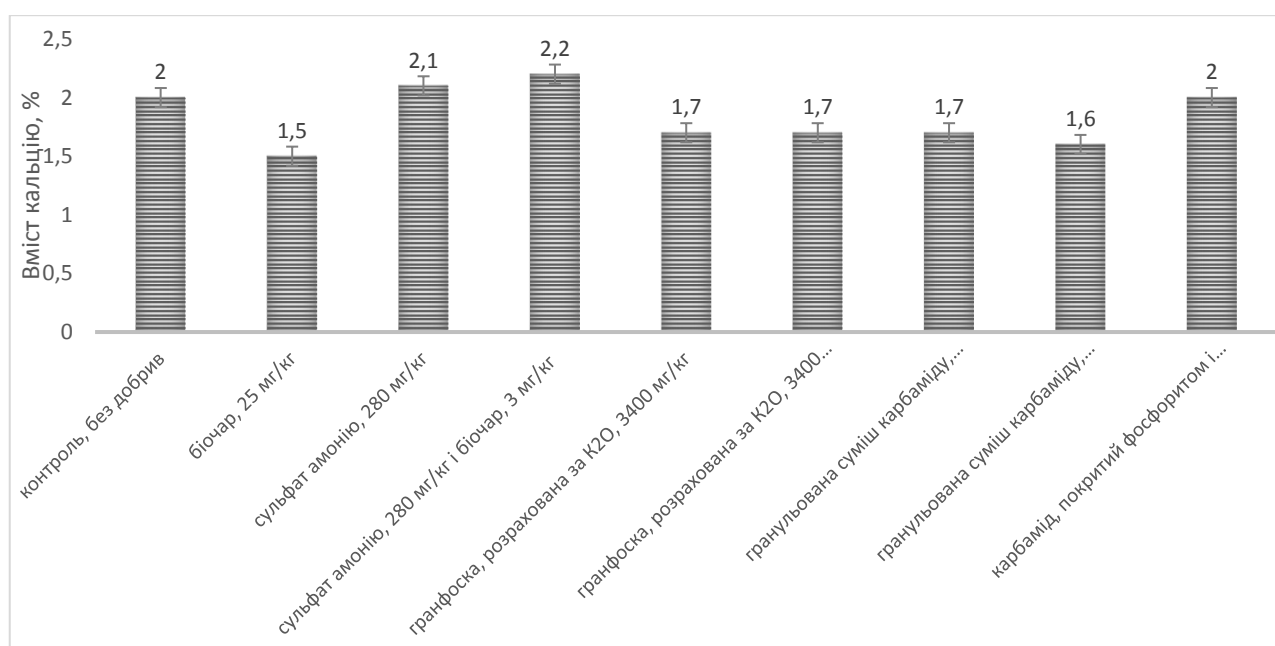


Рисунок 1.17 – Вміст кальцію в проростках ячменю, %

Вміст кальцію в сухій біомасі проростків ячменю був на рівні контролю (без внесення добрив) у варіантах без використання в добривах біочару за виключенням комбінації з високими дозами сульфату амонію і недостатньої кількості біочару та при внесенні гранульованого карбаміду з використанням для покриття фосфориту і біочару з пластифікатором на основі гумату кальцію.

У варіанті з внесенням сульфату амонію з біочаром виявлена висока концентрація кальцію в біомасі проростків, скоріше є результатом сильного підкисленням ризосфери коренів ячменю катіонами амонію та вивільнення великої кількості катіона  $\text{Ca}^{+2}$ . При застосуванні гранульованого карбаміду з використанням пластифікатора на основі гумату кальцію через невисоку кількість біочару та можливе обмежене його вивільнення вміст кальцію був на рівні контролю (без внесення добрив).

При наявності у схемах підживлення або у складі гранульованих добрив у значній кількості біочару вміст кальцію у рослинах ячменю був значно нижчим в порівнянні з рослинами на контролі (рис. 1.18).

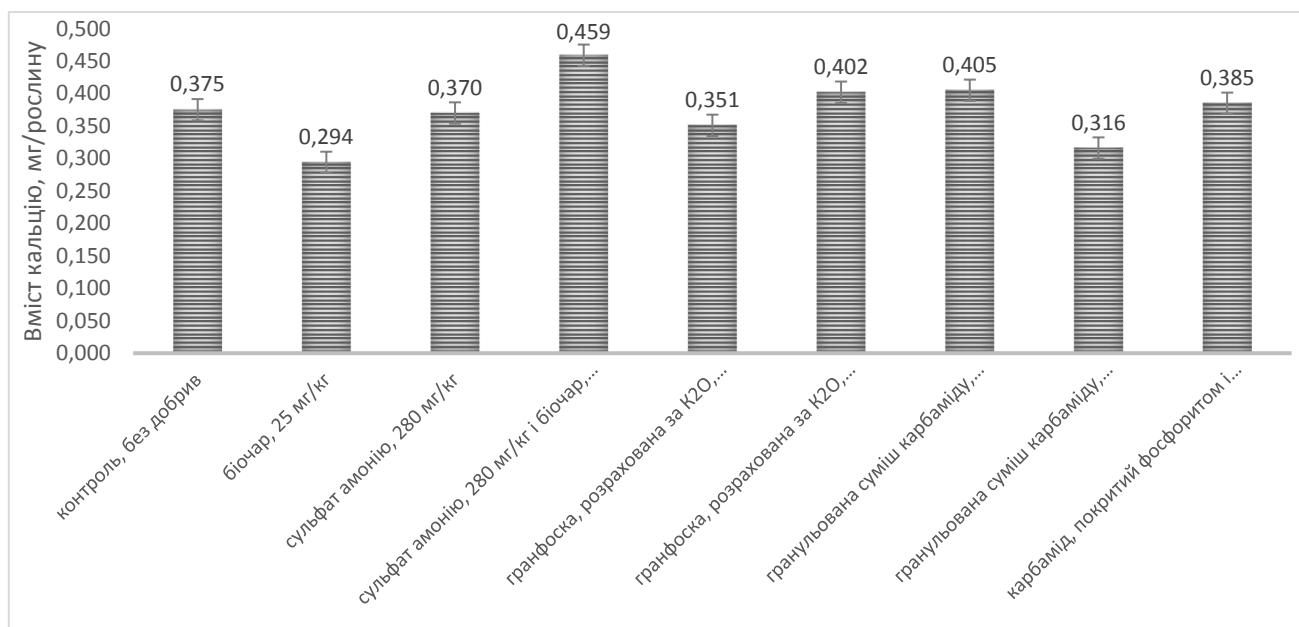


Рисунок 1.18 – Вміст кальцію в проростках ячменю, мг на рослину

За валовим вмістом кальцію найбільшим вміст був при вирощуванні рослин на фоні сульфату амонію з біочаром.

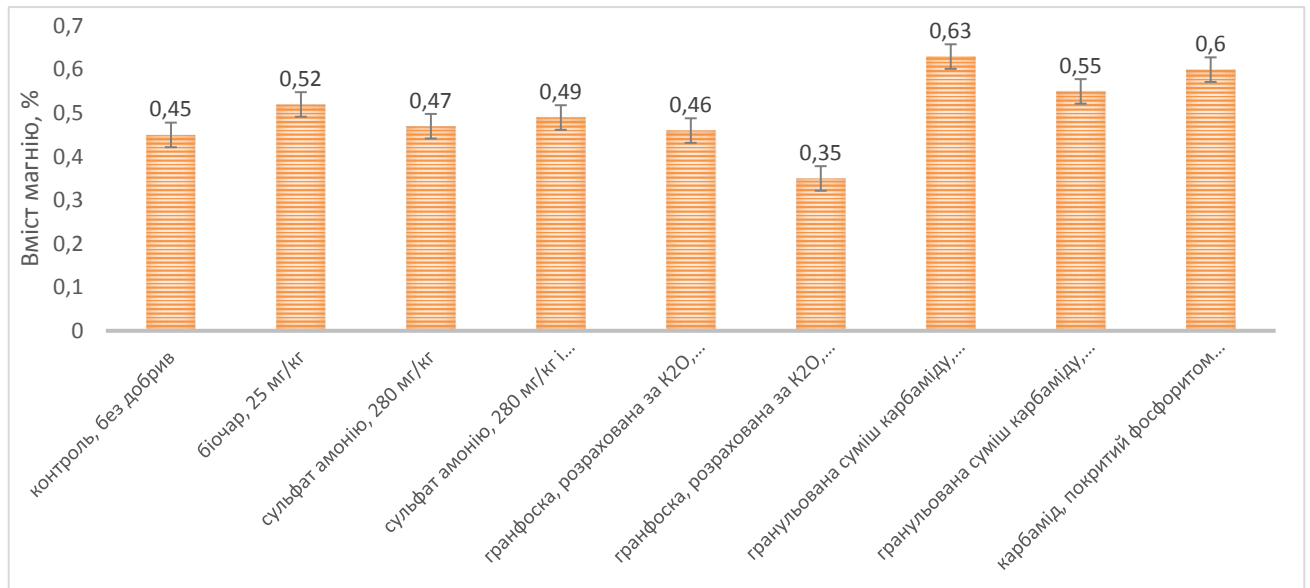


Рисунок 1.19 – Вміст магнію в проростках ячменю, %

За фізико-хімічними властивостями магній близький до кальцію. У ґрунті кількість магнію значно менше ніж кальцію, співвідношення Ca : Mg в ґрунті (3–10) : 1. Проте для рослин значення магнію надзвичайне. Магній входить до складу хлорофілу, який відповідальний за процес фотосинтезу.

Виявлено надзвичайну ефективність біочару у підвищенні вмісту магнію в біомасі (%) та валового вмісту (мг на рослину) у проростках ячменю як при застосування самого, так в складах гранульованого карбаміду (рис. 1.19 і 1.20).

Дія біочару також опосередкована, як сорбенту надлишкових кількостей катіонів Ca<sup>+2</sup> в ризосфері коренів та збільшення концентрації Mg<sup>+2</sup>.

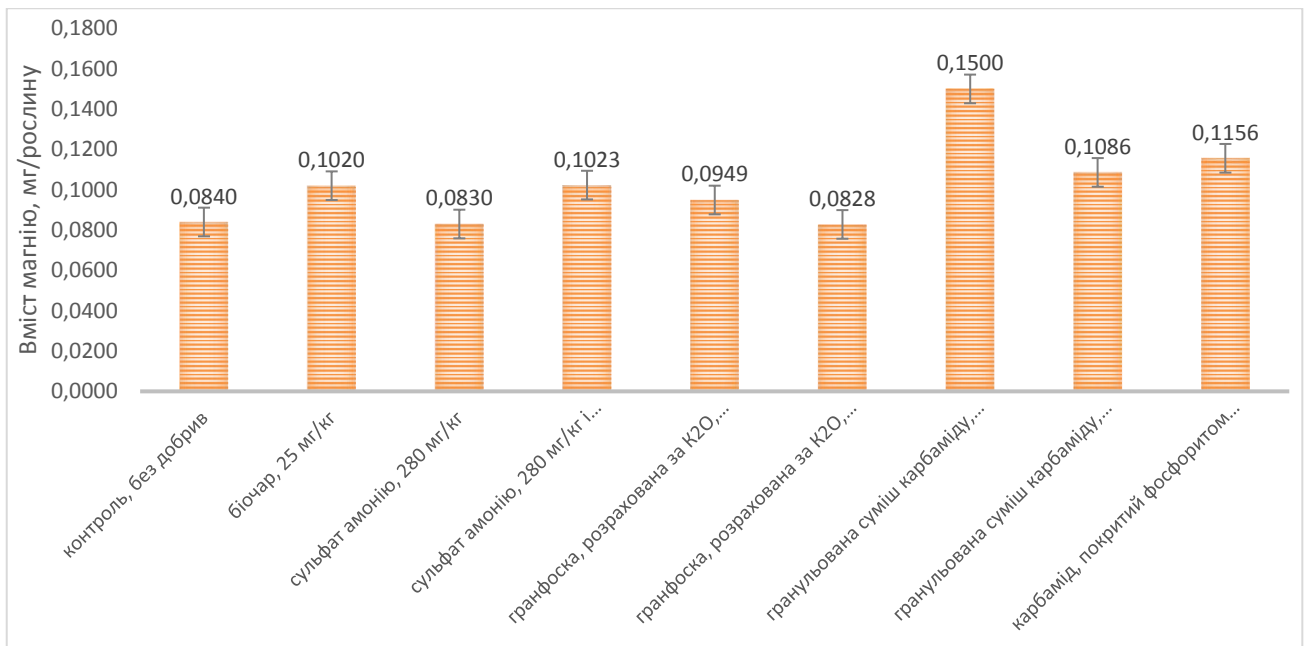


Рисунок 1.20 – Вміст магнію в проростках ячменю, мг на рослину

У зв'язку з тим, що кількість мікроелементів (бор, мідь, залізо, марганець та цинк) у біомасі була невисокою та коефіцієнти варіювання їх вмісту високим, істотний вплив перспективних гранульованих добрив і їх компонентів на ріст і розвиток проростків ярого ячменю в період від сходів до кушення не виявлено. Для встановлення дії цих гранульованих добрив і їх компонентів на накопичення мікроелементів у рослинах доцільно провести додаткові спеціальні лабораторні і польові дослідження.

З метою підтвердження ефективності модифікатора діатоміту, згідно з вищевикладеною методикою були проведені повторні агрохімічні дослідження капсульованого органо-мінерального добрива у порівнянні зі зразком, де модифікатором був біочар. Показники сухої ваги рослин на фоні різних удобрень наведено на рисунку 1.21.

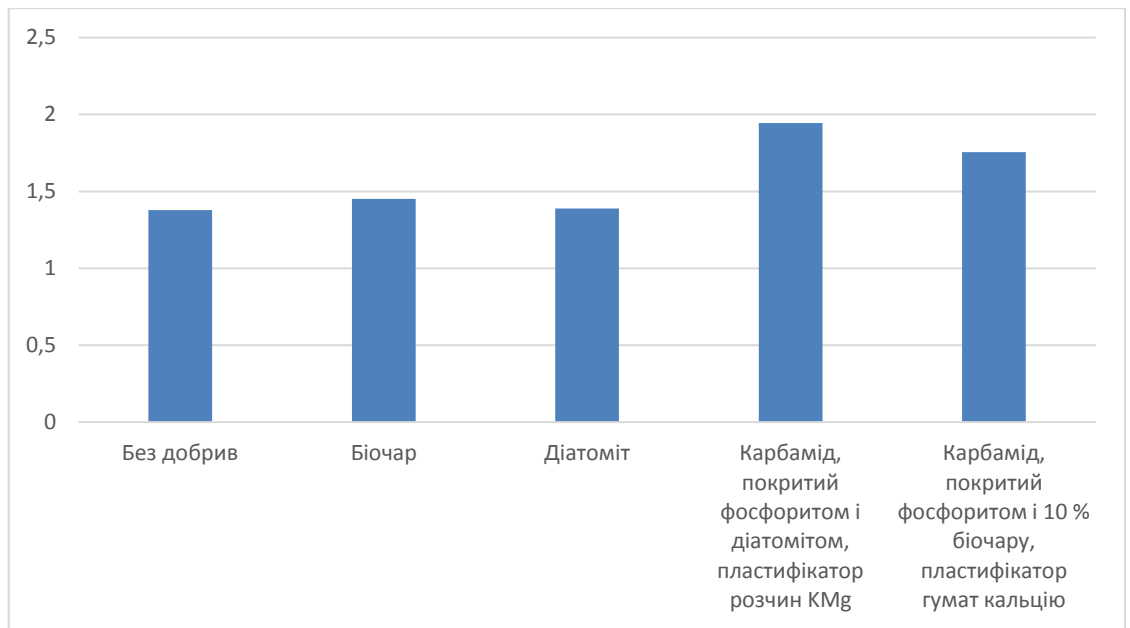


Рисунок 1.21 – Вага сухих рослин, г

Найбільшою сухою вагою відзначилися рослини, що були удобрені капсульованим органо-мінеральним добривом, яке модифіковане біочаром, та капсульоване органо-мінеральним добривом, яке модифіковане діатомітом. Досить близькі значення сухої ваги рослин при застосуванні цих добрив свідчать про аналогічну дію таких модифікаторів як біочар та діатоміт. При цьому ефективність застосування тільки біочара і діатоміту була на рівні зі зразком без добрив.

Отже, проведені дослідження ефективності перспективних гранульованих добрив на основі карбаміду і їх компонентів на проростках ярого ячменю показали, що найбільш ефективним у збільшенні сухої ваги рослин виявився гранульований карбамід із фосфоритом і біочаром, з пластифікатором на основі 50 % карбаміду в кількості 186,75 мг/кг ґрунту. В порівнянні з варіантом без внесення добрив прибавка у вазі становила 5,075 мг, або 27,1 %. Вплив гранульованого карбаміду з фосфоритом і біочаром із використанням для покриття пластифікатора на основі гумату кальцію (267,25 мг/кг ґрунту) та гранульованого карбаміду з використанням для покриття фосфориту й біочару з пластифікатором на основі гумату кальцію (295,5 мг/кг ґрунту) на накопичення сухої ваги рослин ячменю виявився невисоким. Ефективність цих

гранульованих добрив доцільно вивчати на більш пізніх фазах розвитку рослин ярого ячменю в умовах польових досліджень. В умовах досліду на ріст у розвиток ярого ячменю в ювенільній фазі виявлено ефективність окремих компонентів гранульованих добрив. Зокрема фосфору і біочару. Роль останнього проявлялася в оптимізації накопичення фосфору в проростках ярого ячменю шляхом підвищення рухомості аніонів ортофосфорної кислоти, а саме через його здатність до адсорбції та тимчасової нейтралізації катіонів  $\text{Ca}^{+2}$  в ризосфері коренів рослин. Як результат, в присутності біочару відбувається оптимізація вмісту фосфору в рослинах на етапі ювенільного росту, яка призводить до активізації фізіологічної активності рослин, прискорення ростових процесів, в тому числі росту кореневої системи, зростанню активності поглинання калію, азоту та інших елементів живлення. Додаткові біологічні дослідження показали можливість адекватної заміни біочару на діатоміт з аналогічною нанопористою структурою.

## 2 РОЗРОБКА НАУКОВИХ ОСНОВ ЗМЕНШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ГАЗАХ, ЩО ВІДХОДЯТЬ, В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЯХ ГРАНУЛЮВАННЯ КАПСУЛЬОВАНИХ ДОБРІВ

Оскільки для сушіння вологих гранул капсульованих орґано-мінеральних добрив використовується суміш газів від спалювання природного газу і повітря, що розбавляє ці газу, то зниження витрати природного газу дозволить знизити викиди парникових газів у довкілля. Розрахунки зі зниження концентрації шкідливих речовин у газу, що відходять, в технологічних лініях гранулювання капсульованих добрив, проведемо для реальної установки одержання мінеральних добрив напівсухим способом, на якій виробляються РК добрива на основі фосфоритового борошна.

Склад природного газу приймаємо, виходячи з прикладу розрахунку, виконаного раніше [32], % об'єм.

$\text{CH}_4 - 89,7$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 - 4,46$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 - 1,81$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} - 0,72$ ;  $\text{N}_2 - 3,16$ ;  $\text{CO}_2 - 0,15$ .

Згідно з проведеними розрахунками [32], масовий склад природного газу становить, % мас.:

$[\text{CH}_4] - 80,38$ ;  $[\text{C}_2\text{H}_6] - 7,49$ ;  $[\text{C}_3\text{H}_8] - 4,46$ ;  $[\text{C}_4\text{H}_{10}] - 2,34$ ;  $[\text{N}_2] - 4,96$ ;  $[\text{CO}_2] - 0,37$ .

При цьому маса парникових газів у продуктах згоряння становить:

- $\text{CO}_2 = 2,3863$  кг/кг газу;
- $\text{N}_2 = 12,4395$  кг/кг газу;
- Маса  $\text{H}_2\text{O} = 2,0526$  кг/кг газу.

Температура сушильних газів на вході в сушильний барабан  $500$  °С.

Теплова потужність теплогенератора,  $Q_{\text{тг}} = 3$  МВт.

Масова годинна витрата палива,  $G_{\text{т}} = 234,13$  кг/ч



Згідно з проведеними експериментальними дослідженнями для процесу агломерації напівсухим способом вологість гранул на виході з гранулятора становить 6 %, вологість при паровій грануляції – 3,5 % і вологість готових гранул після стадії сушіння становить 0,5 %.

Визначення потенціалу теплогенератора для процесу сушіння проведемо за методикою, розробленою раніше [32]:

Визначення максимальної кількості води, яку можуть випарувати сушильні гази, що виходять із теплогенератора в сушильний барабан, кг/год:

$$M_{\text{в.м.}} = G_{\text{т}} \times I_{\text{виход}} / q_{\text{исп}} \quad (2.1)$$

де:  $q_{\text{исп}}$  – реальні питомі витрати теплової енергії на випаровування 1 кг вологи в сушарках середньої калоричної ефективності, кДж/кг;

$G_{\text{т}}$  – максимальна витрата палива, кг/год;

$I_{\text{виход}}$  – ентальпія сушильних газів на виході з теплогенератора, кДж/кг п.г.

Максимальна кількість вологої шихти, яку здатні висушити сушильні гази.

Маса води в 1 т вихідної вологої шихти, кг/т:

$$M_{\text{вм}} = 1000 \times W_{\text{н}}, \quad (2.2)$$

де:  $W_{\text{н}}$  - початкова вологість шихти, дол.од.

Маса сухої речовини в 1 т вологої шихти, кг/т:

$$M_{\text{с}} = 1000 - W. \quad (2.3)$$

Масу вологи  $W$  у висушеній шихті при сушінні 1 т вологої шихти визначаємо з формули, кг

$$W^i / (M_c + W^i) = 0,025, \quad (2.4)$$

де: 0,025- кінцева вологість у висушеній гранулі, дол. од.

Маса висушеної шихти при сушінні 1 т вологої шихти, кг:

$$M_r = M_c + W^i. \quad (2.5)$$

Маса води, що видаляється при сушінні 1 т вологої шихти, кг:

$$M_B = W - W^i. \quad (2.6)$$

Максимальна маса вологої шихти, яку можна висушити в апараті при повному використанні теплової енергії сушильних газів, т:

$$M_T = M_{BM} / M_B. \quad (2.7)$$

де:  $M_{BM}$  – максимальна кількість води, яку здатні випарувати сушильні гази, що виходять з теплогенератора, кг/год;

$M_B$  – маса води, що випаровується з 1 т вологої шихти.

Якщо прийняти, що ретурність технології одержання гранульованого органо-мінерального добрива 1:0,5, то максимальна кількість нових гранул, які здатні висушити сушильні гази, т/год:

$$G = M_T / 1,5. \quad (2.8)$$

У складі свіжої вологої шихти міститься маса сухого пластифікатора та фосфориту, т/год:

$$M_3 = G \times (1 - W). \quad (2.9)$$

Максимальна продуктивність стадії сушіння за готовим продуктом (після класифікатора) при повному використанні теплоти сушильних газів, що виробляються теплогенератором, т/год:

$$G_{\max} = 0,001 \times G \times M_r. \quad (2.10)$$

Результати порівняльного розрахунку для двох варіантів, традиційного напівсухого способу одержання гранульованого продукту (А) і з застосуванням пари (Б) зведено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльний розрахунок стадії сушіння

Показник Одиниця виміру	Варіант А	Варіант Б
$M_{в.м.}$ , кг/год	2660	2660
$M_{вм}$ , кг/т	60	35
$M_c$ , кг/т	940	965
$W$ , кг	4,724	4,84
$M_r$ , кг	944,724	969,84
$M_b$ , кг	55,276	30,16
$M_t$ , т	48,12	88,19
$G$ , т/год	32,08	58,79
$M_3$ , т/год	30,155	56,73
$G_{\max}$ , т/год	30,3	57,02

Наведений розрахунок показує, що зниження вологості сировини дозволяє збільшити потужність барабанної сушарки з 30,3 до 57,02 т на годину. Водночас, конструкція сушарки обмежує оптимальне навантаження на неї. Зважаючи на це, з застосуванням наведеної методики проведемо зворотній розрахунок з визначенням необхідної витрати палива для сушки вологого капсульованого органо-мінерального добрива за удосконаленою технологією для барабанної сушарки потужністю 30,3 т/год.

За результатами розрахунку максимальна витрата палива складе 124,37 кг/т, що у порівнянні з 234,13 кг/т менше на 88,2 %. Відповідно можна застосувати теплогенератор меншої потужності й очікувати зниження викидів парникових газів, що надходять на стадію сушки з природним газом на таку кількість. Отже, в технологічних лініях гранулювання капсульованих добрив зменшення концентрації шкідливих речовин у газах, що відходять, можна досягнути при застосуванні парового способу агломерації порошків.

### **3 ОЦІНКА РІВНЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ЗАЯВЛЕНОЇ УСТАНОВКИ З ВИРОБНИЦТВА КАПСУЛЬОВАНИХ ДОБРИВ**

#### **3.1 Формування дорожньої карти розвитку технології капсулювання**

Результати досліджень, наведені у звіті й дані дослідно-промислового впровадження технологічних основ одержання орґано-мінеральних добрив дозволили визначити два потенційних рівня готовності розробки (за даними [40]).

TRL 3: «Виходячи з попереднього вивчення питання проводяться фактичні дослідження для оцінки технічної та ринкової доцільності концепції. Сюди входить активна науково-дослідницька діяльність на рівні лабораторій і перші переговори з потенційними клієнтами. Дослідницька група продовжує розширюватися і виконується попередня оцінка ринкової ефективності».

TRL 4: «Об'єднання основних технологічних компонентів для попередньої оцінки ефективності шляхом тестування в лабораторних умовах. Виконується активне дослідження можливостей виробництва з паралельним визначенням основних принципів виробництва. Перевірка провідних ринків для визначення попиту. Організація готова вступити на етап розширення, проводиться аналіз можливих послуг і повноцінний аналіз ринку».

На рисунках 1–5 наведено аналіз кожного запропонованого технологічного рівня в застосуванні до технології одержання мінеральних добрив. Аналіз проведено за допомогою TRL-калькулятора [41]. Результати аналізу дають можливість запропонувати цикл заходів з розвитку технологічного рівня розробки. Кожний наступний рівень готовності за класифікацією TRL визначався на базі отриманих на кожному етапі проекту результатів досліджень. Додатково для оцінки застосовано перелік ознак кожного з рівнів, наведений в [40].

**AFRL Transition Readiness Level Calculator, version 2.2** **Summary**

**Reset All**

Use Manufacturing     Hide Blank Rows  
 No Manufacturing

Use Programmatics    % Complete is now set at: **100%**  
 No Programmatics

Green set point is: 100%    Yellow set point is: 50%    Change set points on Summary sheet.

**Hardware Calculator**

Only Hardware  
 Only Software  
 Hardware & Software

Technology Readiness Level Achieved					Technical:			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Program Name: \_\_\_\_\_ Date TRL Computed: \_\_\_\_\_ Program Manager: \_\_\_\_\_

**TOP LEVEL VIEW -- Demonstration Environment (Start at top and pick the first correct answer)**

- Has an identical unit been successful an on operational mission (space or launch) in an identical configuration?
- Has an identical unit been demonstrated on an operational mission, but in a different configuration/system architecture?
- Has an identical unit been mission (flight) qualified but not operationally demonstrated (space or launch)?
- Has a prototype unit been demonstrated in the operational environment (space or launch)?
- Has a prototype been demonstrated in a relevant environment, on the target or surrogate platform?
- Has a breadboard unit been demonstrated in a relevant (typical; not necessarily stressing) environment?
- Has a breadboard unit been demonstrated in a laboratory (controlled) environment?
- Has analytical and experimental proof-of-concept been demonstrated?
- Has a concept or application been formulated?
- Have basic principles been observed and reported?
- None of the above

Reset Top Level View    **TRL 4**

Source: James W. Bilbro, NASA, Marshall SFC, May 2001

Рисунок 3.1 – Загальна характеристика рівня готовності розробки TRL

**AFRL Transition Readiness Level Calculator, version 2.2** **Summary**

**Reset All**

Use Manufacturing     Hide Blank Rows  
 No Manufacturing

Use Programmatics    % Complete is now set at: **100%**  
 No Programmatics

Green set point is: 100%    Yellow set point is: 50%    Change set points on Summary sheet.

**Hardware Calculator**

Only Hardware  
 Only Software  
 Hardware & Software

Technology Readiness Level Achieved					Technical:			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Do you want to assume completion of TRL 1?

H/SW	Ques	% Complete	
Both	Catgry		<b>TRL 1 (Check all that apply or use slider for % complete)</b>
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> "Back of envelope" environment
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Physical laws and assumptions used in new technologies defined
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Paper studies confirm basic principles
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Basic scientific principles observed
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Research hypothesis formulated
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

Reset Level 1

Рисунок 3.2 – Відповідність розробки рівню TRL 1

**AFRL Transition Readiness Level Calculator, version 2.2** **Summary**

**Reset All**

Use Manufacturing     Hide Blank Rows  
 No Manufacturing

Use Programmatic    % Complete is now set at:  
 No Programmatic    100%

Green set point is: 100%    Yellow set point is: 50%    Change set points on Summary sheet.

**Hardware Calculator**

Technology Readiness Level Achieved					Technical:			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Only Hardware  
 Only Software  
 Hardware & Software

Do you want to assume completion of TRL 2? **Reset Level 2**

H/SW	Ques	% Complete	
Both	Catgry		
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Potential system or component application(s) have been identified
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Paper studies show that application is feasible
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> An apparent theoretical or empirical design solution identified
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Basic elements of technology have been identified
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Desktop environment
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Components of technology have been partially characterized
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Performance predictions made for each element
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Initial analysis shows what major functions need to be done
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Modeling & Simulation only used to verify physical principles
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Rigorous analytical studies confirm basic principles
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Individual parts of the technology work (No real attempt at integration)
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Know what output devices are available
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Know what experiments you need to do (research approach)

Рисунок 3.3 – Відповідність розробки рівню TRL 2

**AFRL Transition Readiness Level Calculator, version 2.2** **Summary**

**Reset All**

Use Manufacturing     Hide Blank Rows  
 No Manufacturing

Use Programmatic    % Complete is now set at:  
 No Programmatic    100%

Green set point is: 100%    Yellow set point is: 50%    Change set points on Summary sheet.

**Hardware Calculator**

Technology Readiness Level Achieved					Technical:			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Only Hardware  
 Only Software  
 Hardware & Software

Do you want to assume completion of TRL 3? **Reset Level 3**

H/SW	Ques	% Complete	
Both	Catgry		
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Academic environment
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Predictions of elements of technology capability validated by Analytical Studies
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Science known to extent that mathematical and/or computer models and simulations are possible
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Predictions of elements of technology capability validated by Modeling and Simulation
H	M	100	<input checked="" type="checkbox"/> No system components, just basic laboratory research equipment to verify physical principles
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Laboratory experiments verify feasibility of application
H	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Predictions of elements of technology capability validated by Laboratory Experiments
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Cross technology effects (if any) have begun to be identified
H	M	100	<input checked="" type="checkbox"/> Design techniques have been identified/developed
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Paper studies indicate that system components ought to work together
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Metrics established
H	M	100	<input checked="" type="checkbox"/> Current manufacturability concepts assessed
H	M	100	<input checked="" type="checkbox"/> Producibility needs for key breadboard components identified
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Scientific feasibility fully demonstrated
B	T	100	<input checked="" type="checkbox"/> Analysis of present state of the art shows that technology fills a need

Рисунок 3.4 – Відповідність розробки рівню TRL 3

**AFRL Transition Readiness Level Calculator, version 2.2** **Summary**

**Reset All**

Use Manufacturing     Hide Blank Rows  
 No Manufacturing

Use Programmatic    % Complete is now set at: **100%**  
 No Programmatic

Green set point is: 100%    Yellow set point is: 50%    Change set points on Summary sheet.

**Hardware Calculator**

Only Hardware  
 Only Software  
 Hardware & Software

Technology Readiness Level Achieved					Technical:			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

H/SW	Ques	Both	Ques	Category	% Complete	TRL 4 (Check all that apply or use slider for % complete)
B	T					<input type="checkbox"/> Cross technology issues (if any) have been fully identified
H	M					<input type="checkbox"/> Ad hoc and available laboratory components are surrogates for system components
H	T					<input type="checkbox"/> Individual components tested in laboratory/by supplier (contractor's component acceptance testing)
H	M				45	<input type="checkbox"/> Piece parts and components in a pre-production form exist
H	T					<input type="checkbox"/> M&S used to simulate some components and interfaces between components
B	T				30	<input type="checkbox"/> Overall system requirements for end user's application are known
H	M				15	<input type="checkbox"/> Available components assembled into system breadboard
H	T				40	<input type="checkbox"/> Laboratory experiments with available components show that they work together (lab kludge)
H	T					<input type="checkbox"/> Hardware in the loop/computer in the loop tools to establish component compatibility
B	T				60	<input type="checkbox"/> Technology demonstrates basic functionality in simplified environment
H	M				15	<input type="checkbox"/> Scalable technology prototypes have been produced
H	M				15	<input type="checkbox"/> Design techniques identified/defined to where small applications may be analyzed/simulated
B	T				30	<input type="checkbox"/> Controlled laboratory environment
B	M				5	<input type="checkbox"/> Integration studies have been started
H	M				15	<input type="checkbox"/> Key manufacturing processes identified
H	M					<input type="checkbox"/> Key manufacturing processes assessed in laboratory
B	T				15	<input type="checkbox"/> Low fidelity technology "system" integration and engineering completed in a lab environment
H	M					<input type="checkbox"/> Mitigation strategies identified to address manufacturability / producibility shortfalls
B	T					<input type="checkbox"/> Functional work breakdown structure developed
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>

**Reset Level 4**

Рисунок 3.5 – Відповідність розробки рівню TRL 4

За даними таблиці 3.1 для випадку оцінки рівня готовності пересувної установки очищення технологічних рідин, який на базі викладеного вище визначений як TRL 4, рівень готовності розробки складає 45 %, відповідно рівень неготовності визначено як 55 %. Цей висновок є основою для подальшої розробки дорожньої карти технологічного розвитку й оцінки ризиків впровадження установки на ринок.

Використовуючи досвід, набутий при створенні дорожньої технологічної карти розвитку проекту «Вихровий гранулятор для виробництва пористої аміачної селітри [43–45] пропонується комплексний аналіз рівня технологічної готовності установки та рівня її комерціалізації. Результати аналізу наведено на рисунку 3.6 (інструмент – [46]).



Таблиця 3.1 – Оцінка готовності технології (TR) та ризиків або неготовності технології (TU) (за даними [42])

Рівень ризику	Рівень готовності розробки	Опис готовності	Впевненість
1	2	3	4
0	9	Виробництво повністю запущене, а продукт конкурентний	100 %
1	8	Виробництво повністю перевірено, затверджено і готове до запуску	95 %
Продовження таблиці 3.1			
1	2	3	4
2	7	Демонстрація пілотного виробництва на низькому рівні	90 %
3	6	Випуск дослідного зразка продукту, включаючи тестування в робочому середовищі користувача	80 %
4	5	Перевірка прототипу в робочому середовищі користувача	65 %
5	4	Підтвердження працездатності готового прототипу в лабораторії	45 %
6	3	Перша оцінка ефективності застосування ідеї і технології	30 %
7	2	Формулювання технологічних рішень	12 %
8	1	Отримання базових принципів	5 %
9	0	Відсутність формулювання концепта або базова ідея	0 %

### Technology & Commercialization Readiness Level Calculator

**Instructions**

This Excel Workbook has been developed by NYSERDA to help emerging and growing companies determine the level of technical and commercial maturity of their products/innovations through the use of a customized and integrated Technology Readiness Level (TRL) and Commercial Readiness Level (CRL) tool. This TRL/CRL tool is based on the systems developed by NASA, DOE, and ARPA-E, and has been designed specifically for ventures in the clean energy industry.

For each category, select the button next to the description that best fits the status of your product/innovation, this tool will determine the appropriate TRL and CRL levels based on your answers. Once all categories have been completed, go to "Summary & Results" tab to view your TRL and CRL scores and answers.

**PLEASE NOTE:** This TRL/CRL tool is provided for informational purposes only, with the understanding that NYSERDA is not rendering any professional opinion or advice. You should consult with a professional advisor before taking any action based on the content of this tool.

Profile	
Company/Organization Name	<input type="text" value="Sury State University"/>
Proposal Title	<input type="text" value="Unit for production of organic-mineral fertilizers"/>
Product/Innovation Description	<input type="text"/>

Technology		
<input type="radio"/>	1	Project work is beyond basic research and technology concept has been defined
<input type="radio"/>	2	Applied research has begun and practical application(s) have been identified
<input type="radio"/>	3	Preliminary testing of technology components has begun, and technical feasibility has been established in a laboratory environment
<input checked="" type="radio"/>	4	Initial testing of integrated product/system has been completed in a laboratory environment
<input type="radio"/>	5	Laboratory scale integrated product/system demonstrates performance in the intended application(s)

Answer	<b>Initial testing of integrated product/system has been completed in a laboratory environment</b>
--------	--

Product Development		
<input type="radio"/>	1	Initial product/market fit has been defined
<input checked="" type="radio"/>	2	Pilot scale product/system has been tested in the intended application(s)
<input type="radio"/>	3	Demonstration of a full scale product/system prototype has been completed in the intended application(s)
<input type="radio"/>	4	Actual product/system has been proven to work in its near-final form under a representative set of expected conditions and environments
<input type="radio"/>	5	Product/system is in final form and has been operated under the full range of operating conditions and environments

Answer	<b>Pilot scale product/system has been tested in the intended application(s)</b>
--------	--

Product Definition/Design		
<input type="radio"/>	1	One or more initial product hypotheses have been defined
<input checked="" type="radio"/>	2	Mapping product/system attributes against customer needs has highlighted a clear value proposition
<input type="radio"/>	3	The product/system has been scaled from laboratory to pilot scale and issues that may affect achieving full scale have been identified
<input type="radio"/>	4	Comprehensive customer value proposition model has been developed, including a detailed understanding of product/system design specifications, required certifications, and trade-offs
<input type="radio"/>	5	Product/system final design optimization has been completed, required certifications have been obtained, and product/system has incorporated detailed customer and product requirements

Answer	<b>Mapping product/system attributes against customer needs has highlighted a clear value proposition</b>
--------	---

Рисунок 3.6 – Вихідні дані для аналізу рівня технологічної готовності установки та рівня її комерціалізації

Competitive Landscape		
<input type="radio"/>	1	Secondary market research has been performed and basic knowledge of potential applications and competitive landscape have been identified
<input type="radio"/>	2	Primary market research to prove the product/system commercial feasibility has been completed and basic understanding of competitive products/systems has been demonstrated
<input checked="" type="radio"/>	3	Comprehensive market research to prove the product/system commercial feasibility has been completed and intermediate understanding of competitive products/systems has been demonstrated
<input type="radio"/>	4	Competitive analysis to illustrate unique features and advantages of the product/system compared to competitive products/systems has been completed
<input type="radio"/>	5	Full and complete understanding of the competitive landscape, target application(s), competitive products/systems, and market has been achieved
Answer	<b>Comprehensive market research to prove the product/system commercial feasibility has been completed and intermediate understanding of competitive products/systems has been demonstrated</b>	

Team		
<input type="radio"/>	1	No team or company in place (single individual, no legal entity)
<input checked="" type="radio"/>	2	Solely technical or non-technical founder(s) running the company with no outside assistance
<input type="radio"/>	3	Solely technical or non-technical founder(s) running the company with assistance from outside advisors/mentors and/or incubator/accelerator
<input type="radio"/>	4	Balanced team with technical and business development/commercialization experience running the company with assistance from outside advisors/mentors
<input type="radio"/>	5	Balanced team with all capabilities onboard (e.g. sales, marketing, customer service, operations, etc.) running the company with assistance from outside advisors/mentors
Answer	<b>Solely technical or non-technical founder(s) running the company with no outside assistance</b>	

Go-To-Market		
<input type="radio"/>	1	Initial business model and value proposition have been defined
<input checked="" type="radio"/>	2	Customers/partners have been interviewed to understand their pain points/needs, and business model and value proposition have been refined based on customer/partner feedback
<input type="radio"/>	3	Market and customer/partner needs and how those translate to product requirements have been defined, and initial relationships have been developed with key stakeholders across the value chain
<input type="radio"/>	4	Partnerships have been formed with key stakeholders across the value chain (e.g. suppliers, partners, service providers, and customers)
<input type="radio"/>	5	Supply agreements with suppliers and partners are in place and initial purchase orders from customers have been received
Answer	<b>Customers/partners have been interviewed to understand their pain points/needs, and business model and value proposition have been refined based on customer/partner feedback</b>	

Manufacturing/Supply Chain		
<input type="radio"/>	1	Potential suppliers, partners, and customers have been identified and mapped in an initial value chain analysis
<input checked="" type="radio"/>	2	Relationships have been established with potential suppliers, partners, service providers, and customers and they have provided input on product and manufacturability requirements
<input type="radio"/>	3	Manufacturing process qualifications (e.g. QC/QA) have been defined and are in progress
<input type="radio"/>	4	Products/systems have been pilot manufactured and sold to initial customers
<input type="radio"/>	5	Full scale manufacturing and widespread deployment of product/system to customers and/or users has been achieved
Answer	<b>Relationships have been established with potential suppliers, partners, service providers, and customers and they have provided input on product and manufacturability requirements</b>	

Рисунок 3.7 – Вихідні дані для аналізу рівня технологічної готовності установки та рівня її комерціалізації (продовження)

### Technology & Commercialization Readiness Level Calculator

Profile	
Company/Organization Name:	<input type="text" value="Sumy State University"/>
Proposal Title:	<input type="text" value="Unit for production of organic-mineral fertilizers"/>
Product/Innovation Description:	<input type="text" value="0"/>

**Technology Readiness Level:** 4

**Commercialization Readiness Level:** 3

Category	Answer
Technology	Initial testing of integrated product/system has been completed in a laboratory environment
Product Development	Pilot scale product/system has been tested in the intended application(s)
Product Definition/Design	Mapping product/system attributes against customer needs has highlighted a clear value proposition
Competitive Landscape	Comprehensive market research to prove the product/system commercial feasibility has been completed and intermediate understanding of competitive products/systems has been demonstrated
Team	Solely technical or non-technical founder(s) running the company with no outside assistance
Go-To-Market	Customers/partners have been interviewed to understand their pain points/needs, and business model and value proposition have been refined based on customer/partner feedback
Manufacturing/Supply Chain	Relationships have been established with potential suppliers, partners, service providers, and customers and they have provided input on product and manufacturability requirements

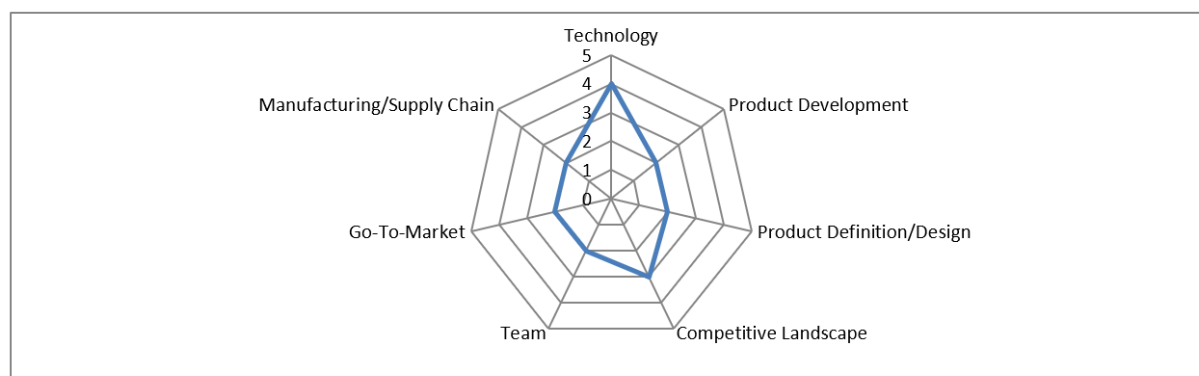


Рисунок 3.8 – Результати аналізу рівня технологічної готовності установки та рівня її комерціалізації

За результатами аналізу даних визначено подальші заходи (етапи) розвитку технологічного рівня розробки. Окремі з них можуть проводитись паралельно, причому в деяких випадках це є обов'язковою умовою (наприклад,

формування команди та перехід від відпрацювання технології до промислового зразка установки).

### **3.2 Оцінка зміни рівнів екологічної, економічної та продовольчої безпеки національної економіки в результаті застосування різних технологій виробництва добрив, в тому числі авторської технології капсулювання добрив**

Управління кліматичними ризиками, обумовленими антропогенним навантаженням на екосистеми, передбачає глобальне скорочення викидів парникових газів в усіх секторах економіки та «зелений» перехід національних економік до кліматичної нейтральності та сталого розвитку [47, 48, 49] відповідно до розроблених Європейською Комісією документів «The European Green Deal» [50] та 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality [51], які є відповіддю на кліматичні виклики [52].

За даними Європейського агентства з навколишнього середовища [53], найбільшим забруднювачем за обсягом антропогенних викидів парникового газу  $N_2O$  в ЄС є аграрний сектор, на який у 2019 р. припадало 74,59 % викидів оксиду азоту (або 174 965,9 kt  $CO_2$  еквівалент). Загальну динаміку утворення парникових газів у країнах ЄС показано на рисунку 30. В Україні за даними annual inventory submissions 2021 [54, 55] обсяг викидів оксиду азоту в агросекторі у 2019 р. становив 111,3 kt, 78 % з яких є прямими та непрямими викидами з сільськогосподарських угідь (в результаті застосування органічних та неорганічних добрив).

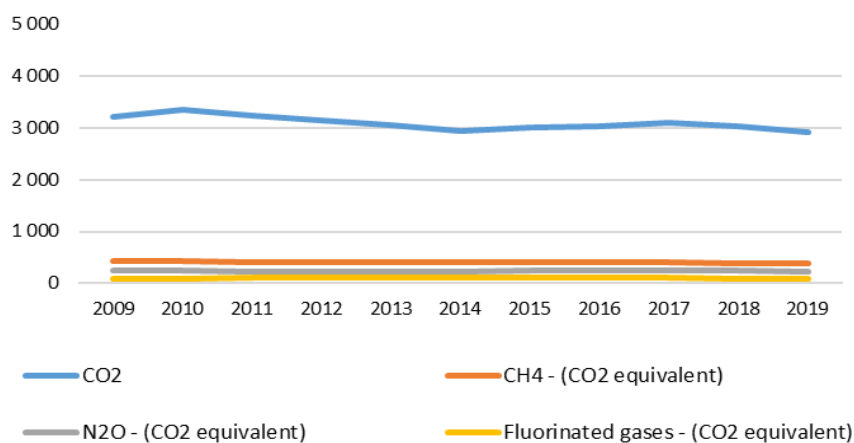


Рисунок 3.9 – Динаміка викидів парникових газів в ЄС, тис. kt (побудовано за даними European Environment Agency [53])

Динаміка використання добрив в агросекторі України за період 2000–2020 рр. свідчить про зростання обсягів споживання мінеральних добрив майже на 886 % (з 0,28 млн т у 2000 р. до 2,78 млн т у 2020 р.) при одночасному скороченні обсягів внесення органічних добрив на 60,6 % порівняно з 2000 р. (з 29 млн т до 11,4 млн т). При цьому частка обробленої мінеральними добривами площі сільськогосподарських угідь зросла лише на 252,7 % і у 2020 р. становила 39,5 %, а частка обробленої органічними добривами площі сільськогосподарських угідь зросла на 41,2 % і у 2020 р. становила 2,4 % [56]. Такі данні доводять, що при збереженні існуючих тенденцій, обсяги утворення парникових газів у сільському господарстві будуть зростати, а «зелений» перехід до органічного виробництва буде відбуватися вкрай повільними темпами навіть за умови орієнтації на досягнення цілей кліматичної нейтральності у 2060 р. або навіть у 2070 р., як це визначено у Національній економічній стратегії на період до 2030 року від 03.03.2021 №179 [57] та Проекті Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року [58].

Необхідність прискорення «зеленого» переходу України до кліматичної нейтральності шляхом впровадження екологічних інновацій визачена у Національній економічній стратегії на період до 2030 року [57]. Крім того,

тригером «зеленого» переходу Європи є постійно зростаючі гібридні загрози з боку Російської Федерації, які посилюють міграційні процеси, в т.ч. обумовлені кліматичними змінами, впливають на продовольчу, енергетичну, екологічну та національну безпеки країн Європи. У зв'язку з цим, відповідно до Concept of sustainable innovative outpacing/proactivity, одним з шляхів прискорення «зеленого» переходу в аграрному секторі є застосування добрив нового покоління, які є екологічно безпечними на всіх етапах їх еколого-економічного циклу, який охоплює етапи життєвого та кастомізаційного циклів [59–61], та ґрунтуються на інноваційному підході до технології виробництва самого добрива й застосуванні виключно чистих джерел енергії у виробничому процесі [1, 61-64].

Слід зазначити, що на Україну, площа якої становить 14,5 % території країн ЄС (рис. 3.10), а населення якої складає лише 1 % населення світу, припадає близько 5 % світового виробництва та переробки мінеральних ресурсів. Низький рівень екологічності й досконалості технологій переробки мінеральної сировини, зокрема виробництва добрив, та їх неефективне використання призводить до стрімкого зростання техногенного навантаження на довкілля, яке характеризується, насамперед, забруднення природних компонентів довкілля й інтенсифікація процесів деградації ґрунтів, 71,3 % яких у структурі земельного фонду України становлять сільськогосподарські угіддя (рис. 3.10) [65–67].

Усе це посилює утворення парникових газів в атмосферному повітрі та супроводжується виділенням у навколишнє середовище значної кількості шкідливих хімічних сполук і комплексів (рис. 3.11).

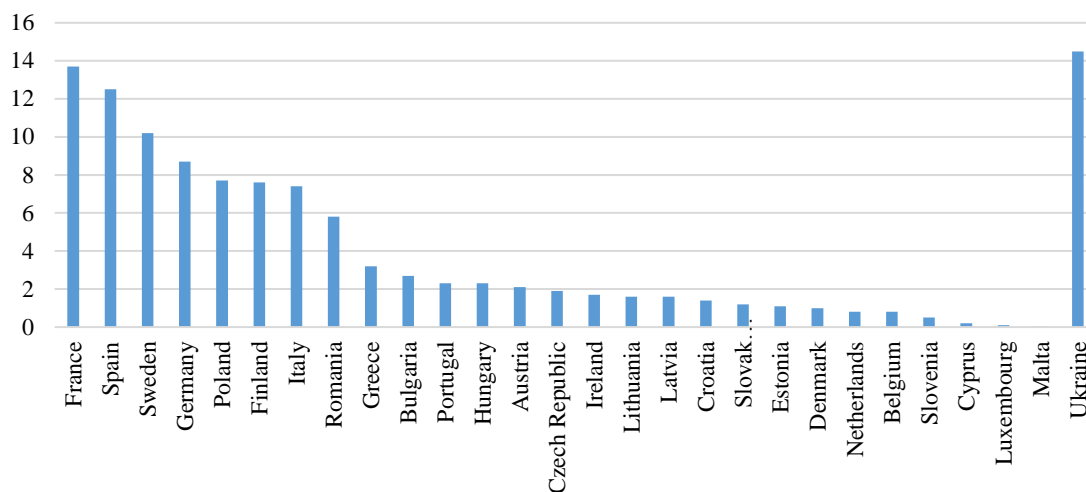


Рисунок 3.10 – Площа країни до загальної площі ЄС (розроблено авторами на основі даних [65, 67–70])

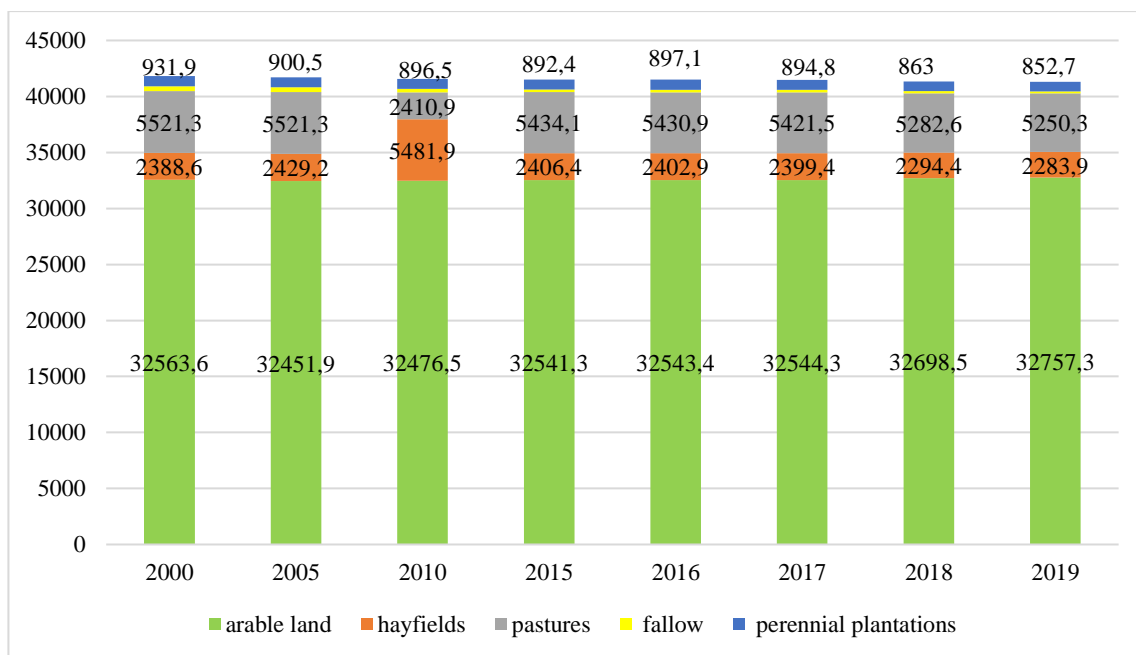


Рисунок 3.11 – Структура земельного фонду України (розроблено авторами на основі даних [65])



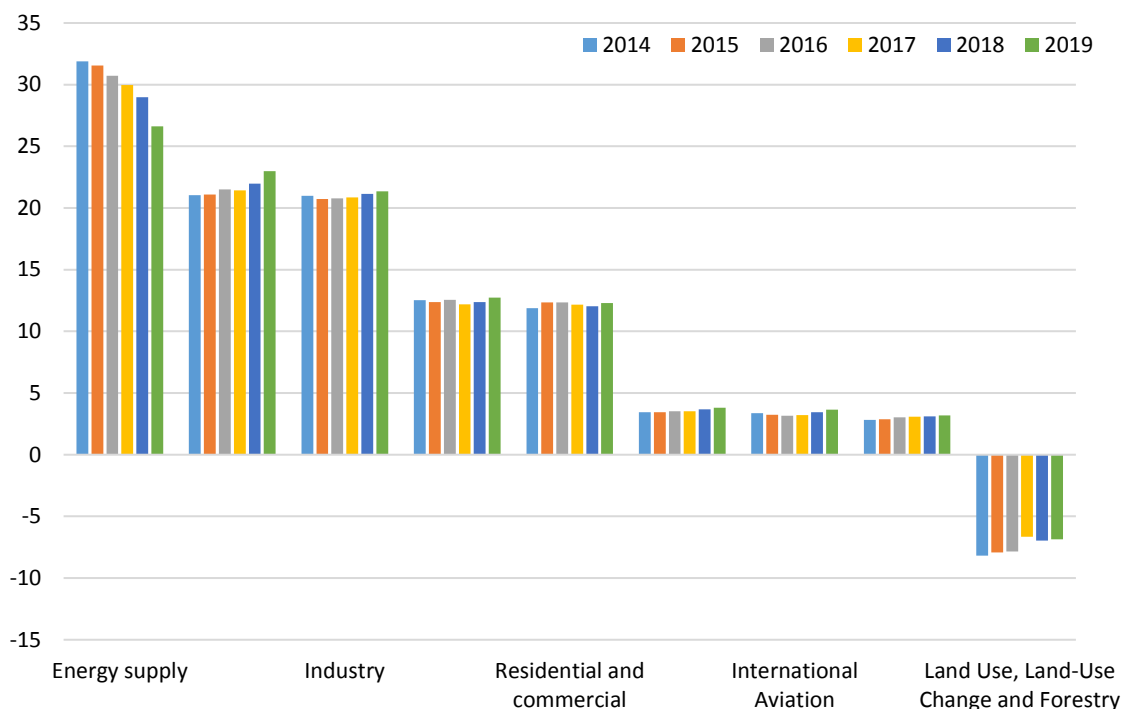


Рисунок 3.12 – Секторальні частки чистих викидів у ЄС-27 у 2014–2019 роках, % від «Загальних чистих викидів з міжнародним транспортом (ЕЕА) по секторах (розроблено авторами на основі даних [53])

За словами голови Держекоінспекції Андрія Мальованого, посилаючись на розрахунки дослідників міжнародної організації Global Footprint Network, Україна з 8 серпня 2021 року живе в екологічному боргу [71]. Це означає використання більшої кількості внутрішніх ресурсів, ніж українське довкілля може відновити за рік. Водночас зміна кліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур, значне зменшення внесення доз органічних добрив негативно впливають на процеси підтримання необхідної родючості вітчизняних ґрунтів та призводять до їх поступової деградації. Отже, підвищення рівня екологічної та продовольчої безпеки, які є складовими національної безпеки, потребує впровадження інноваційних методів, визначених у [72], та трансформації існуючих підходів до видобутку та використання корисних копалин. та органічні добрива.

Загальновідомо, що органічні речовини є ключовими компонентами ґрунту, які впливають на його фізичні, хімічні та біологічні властивості,

сприяють його нормальному функціонуванню, від якого залежить виживання людства. Переваги вищого вмісту органічних речовин у ґрунті включають покращену якість ґрунту за рахунок збільшення утримання води та поживних речовин, що призводить до вищої продуктивності культур *in vivo*. Таким чином, процеси накопичення вуглецю в ґрунті є життєво важливою функцією екосистеми, що виникає внаслідок взаємодії екологічних процесів. У зв'язку з цим недолік органічної складової в удобренні рослин необхідно компенсувати додатковими високовуглецевими ресурсами. Одним із варіантів таких ресурсів є біовугілля (Green Carbon), яке є насамперед ефективним ґрунтовим субстратом, який підвищує родючість ґрунту, знижуючи його твердість і щільність. При цьому коріння легше проникають у ґрунт і краще розвиваються. Крім того, для ґрунтових мікроорганізмів і грибів створюється особливе середовище проживання, що забезпечує здоров'я рослин.

Біовугілля забезпечує екологічні та економічні переваги, підвищуючи родючість ґрунту до 30 % при одночасному зниженні споживання води. Біовугілля є найякіснішим добривом, яке існує на сьогодні, оскільки воно зупиняє процес деградації ґрунту, запобігаючи багатьом глобальним екологічним та економічним проблемам. Завдяки активним іонам, що містяться в добриві біовугілля, вуглець не випаровується в зовнішнє середовище, а надовго залишається в ґрунті, легко засвоюючись корінням рослин. Таким чином, кількість парникових газів в атмосфері зменшується, і водночас зменшується загроза парникового ефекту та глобального потепління [34]. Отримання біовугілля при переробці деревини та відходів дозволить частково компенсувати нестачу органічних добрив і підтримувати вміст гумусу в ґрунті на прийнятному рівні. Він також може захистити рослини від деяких позакоренових і ґрунтових хвороб, що в цілому підвищує продуктивність сільськогосподарського виробництва.

### **3.3 Науково-методичний підхід до оцінки рівня продовольчої безпеки держави**

Аналіз наукових та нормативних розробок із проблематики продовольчої безпеки та необхідність урахування керованості вирішення проблем дали підстави розглядати продовольчу безпеку на національному рівні як такий стан в економіці країни, при якому державою гарантовані можливості стабільного задоволення потреб населення у якісних продуктах харчування в кількості, достатній для підтримки його активної життєдіяльності.

Методологічною основою дослідження, оцінки та аналізу стану продовольчої безпеки є конкретизація її складників та їх індикаторів і визначення на цій основі рівня продовольчої безпеки держави. Зазначимо, що у нормативних актах України та законопроектах містяться певні розбіжності щодо їх складу, порядку розрахунку індикаторів, їх граничного рівня, також дещо інші складники та індикатори, виділені в програмних та аналітичних документах Міжнародних організацій. Зокрема, у методиці Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН у сукупності статичних та динамічних детермінантів продовольчої безпеки розглядаються такі [73]: достатність; фізична та економічна доступність; утилізація; уразливість; шок (стабільність). Відповідно цим детермінантам згруповані індикатори продовольчої безпеки.

Враховуючи визначальні ознаки продовольчої безпеки, основними її складовими є:

- достатність пропозиції продовольства для підтримки активної життєдіяльності населення, задоволення його потреб на рівні, не меншому від раціональних норм;
- фізична й економічна доступність продовольства належної якості для всіх верств населення в достатній кількості;
- стабільність у пропозиції продовольства та його доступності;
- якість продовольчої продукції, її безпечність і корисність для споживачів, раціональна структура з умістом необхідних поживних речовин.

Для комплексного врахування факторів, які формують продовольчу безпеку, запропоновано визначати комплексний показник оцінки рівня продовольчої безпеки  $S$  за формулою:

$$S = (S_1, S_2, S_3, S_4) \rightarrow 1; \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} S_1 &= f(S_{1o}, S_{1n}, w_{1o}, w_{1n}); \\ S_2 &= f(S_{2o}, S_{2n}, w_{2o}, w_{2n}); \\ S_3 &= f(S_{3o}, S_{3n}, w_{3o}, w_{3n}); \\ S_4 &= f(S_{4o}, S_{4n}, w_{4o}, w_{4n}), \end{aligned}$$

де  $S_1$  – рівень достатності пропозиції продовольства для підтримки активної життєдіяльності населення, задоволення його потреб на рівні, не меншому від раціональних норм,  $S_1 \in [0; 1]$ ;

$S_2$  – рівень доступності продовольства для всіх верств населення в достатній кількості,  $S_2 \in [0; 1]$ ;

$S_3$  – рівень стабільності у пропозиції продовольства та його доступності,  $S_3 \in [0; 1]$ ;

$S_4$  – рівень якості продовольчої продукції, її безпечність та корисність для споживачів,  $S_4 \in [0; 1]$ ;

$S_{1o}, S_{1n}$  – відповідно рівень достатності пропозиції органічної та неорганічної продукції для підтримки активної життєдіяльності населення, задоволення його потреб на рівні, не меншому від раціональних норм,  $S_{1o} \in [0; 1]$ ,  $S_{1n} \in [0; 1]$ ;

$S_{2o}, S_{2n}$  – відповідно рівень доступності продовольства для всіх верств населення в достатній кількості,  $S_{2o} \in [0; 1]$ ,  $S_{2n} \in [0; 1]$ ;

$S_{3o}, S_{3n}$  – відповідно рівень стабільності у пропозиції органічної та неорганічної продовольчої продукції та її доступності,  $S_{3o} \in [0; 1]$ ,  $S_{3n} \in [0; 1]$ ;

$S_{4o}, S_{4n}$  – відповідно рівень якості органічної та неорганічної продовольчої продукції, її безпечність та корисність для споживачів,  $S_{4o} \in [0; 1]$ ,  $S_{4n} \in [0; 1]$ ;

$w_{1o}, w_{1n}$  – відповідно частка продовольчої та непродовольчої продукції у структурі показника достатності пропозиції продовольства для підтримки

активної життєдіяльності населення, задоволення його потреб на рівні, не меншому від раціональних норм,  $w_{1o} \in [0; 1]$ ,  $w_{1n} \in [0; 1]$ ,  $f(w_{1o}, w_{1n}) = 1$ ;

$w_{2o}$ ,  $w_{2n}$  – відповідно частка продовольчої та непродовольчої продукції у структурі показника доступності продовольства для всіх верств населення в достатній кількості,  $w_{2o} \in [0; 1]$ ,  $w_{2n} \in [0; 1]$ ,  $f(w_{2o}, w_{2n}) = 1$ ;

$w_{3o}$ ,  $w_{3n}$  – відповідно частка продовольчої та непродовольчої продукції у структурі показника стабільності у пропозиції продовольства та його доступності,  $w_{3o} \in [0; 1]$ ,  $w_{3n} \in [0; 1]$ ,  $f(w_{3o}, w_{3n}) = 1$ ;

$w_{4o}$ ,  $w_{4n}$  – відповідно частка продовольчої та непродовольчої продукції у структурі показника якості органічної та неорганічної продовольчої продукції, її безпечність та корисність для споживачів,  $w_{4o} \in [0; 1]$ ,  $w_{4n} \in [0; 1]$ ,  $f(w_{4o}, w_{4n}) = 1$ .

Рівень продовольчої безпеки пропонується здійснювати за рівнями показників-індикаторів  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ , визначеними за допомогою таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення показників-індикаторів оцінки рівня продовольчої безпеки (розроблено авторами)

Значення показників-індикаторів $S_1, S_2, S_3, S_4$	Характеристика	
[0,95;1]	Абсолютно безпечний	Достатній рівень
[0,75; 0,95)	Допустимий	
[0,5; 0,75)	Задовільний	
[0,25; 0,5)	Низький	Недостатній рівень
[0; 0,25)	Небезпечний	

Для ідентифікації рівня продовольчої безпеки автором запропоновано використовувати таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Рівні продовольчої безпеки (розроблено авторами)

Рівні показників-індикаторів продовольчої безпеки $S_1, S_2, S_3, S_4$				Рівень достатності пропозиції, $S_1$			
				достатній		недостатній	
				Рівень доступності продовольства, $S_2$			
		достатній	недостатній	достатній	недостатній		
Рівень стабільності у пропозиції, $S_3$	достатній	Рівень якості продовольчої продукції, $S_4$	достатній	I	II	II	III
			недостатній	II	III	III	IV
	недостатній		достатній	II	III	III	IV
			недостатній	III	IV	IV	V

Загалом виділяють такі рівні безпеки [74]:

I. Природний – не змінений безпосередньо господарською діяльністю людини (місцева природа відчуває тільки слабкі опосередковані впливи від глобальних антропогенних змін);

II. Рівноважний – швидкість відновних процесів вища або дорівнює темпам антропогенних порушень;

III. Кризовий – швидкість антропогенних порушень перевищує темпи самовідновлення еколого-економічної системи, але ще не відбувається її корінної зміни;

IV. Критичний – відновна заміна попередніх екологічних систем під антропогенним тиском на менш;

V. Катастрофічний – важко відновна заміна попередніх еколого-економічних систем під антропогенним тиском на менш продуктивні, закріплення малопродуктивних систем;

VI. Колапс – безвідновна втрата біологічної продуктивності.

Рівні I-II екологічної безпеки забезпечують ідеальні умови функціонування, відтворення та розвитку людства, рівні III-IV ставлять під загрозу функціонування, відтворення та розвиток прийдешніх поколінь, V

рівень – нинішнього і прийдешніх поколінь, VI – призводить до загибелі людства та інших біологічних видів [74].

Для наших цілей пропонується розглядати лише I–V рівні, вважаючи що рівень колапсу є абсолютно не припустимим.

Отже, значення показника  $S$ , що відповідає I рівню – рівню природної безпеки, яка вказує на те, що всі складові показника знаходяться на достатньому рівні.

Значення показника  $S$ , що відповідає II рівню – рівноважної безпеки, вказує на те, що один із складових показника оцінки рівня продовольчої безпеки знаходиться на недостатньому рівні, швидкість відновних процесів вища або дорівнює темпам порушень у забезпеченні системи продуктами харчування відповідної якості. Існуючі відхилення можна виявити шляхом проведення поглиблених досліджень і на основі отриманих даних вжити заходів щодо усунення цієї проблеми.

Значення показника  $S$ , що відповідає III рівню – рівню кризової безпеки, вказує на те, що два із складових показника оцінки рівня екологічної безпеки знаходяться на недостатньому рівні. Швидкість порушень щодо забезпечення потреб у продуктах харчування перевищує темпи самовідновлення економічної системи, але ще не відбувається корінної її зміни.

Значення показника  $S$ , що відповідає IV рівню – рівню критичної безпеки, вказує на те, що три із складових показника оцінки рівня екологічної безпеки знаходяться на недостатньому рівні. Це свідчить про відновну заміну попередніх економічних систем під антропогенним тиском на менш продуктивні, закріплення малопродуктивних систем. При цьому необхідно впровадити заходи щодо поліпшення стану продовольчої безпеки.

Значення показника  $S$  відповідає V рівню – рівню катастрофічної безпеки. Рівень продовольчої безпеки є недостатнім одночасно по чотирьох складових показника. Важко відновна заміна попередніх економічних систем під антропогенним тиском на менш продуктивні, закріплення малопродуктивних

систем. Необхідно впровадити заходи щодо поліпшення стану продовольчої безпеки.

На основі дослідження та оцінки рівня продовольчої безпеки економічної системи запропоновано здійснювати вибір моделі мотиваційного механізму управління розвитком органічного виробництва. Загальний алгоритм такого вибору показано на рисунку 3.13.

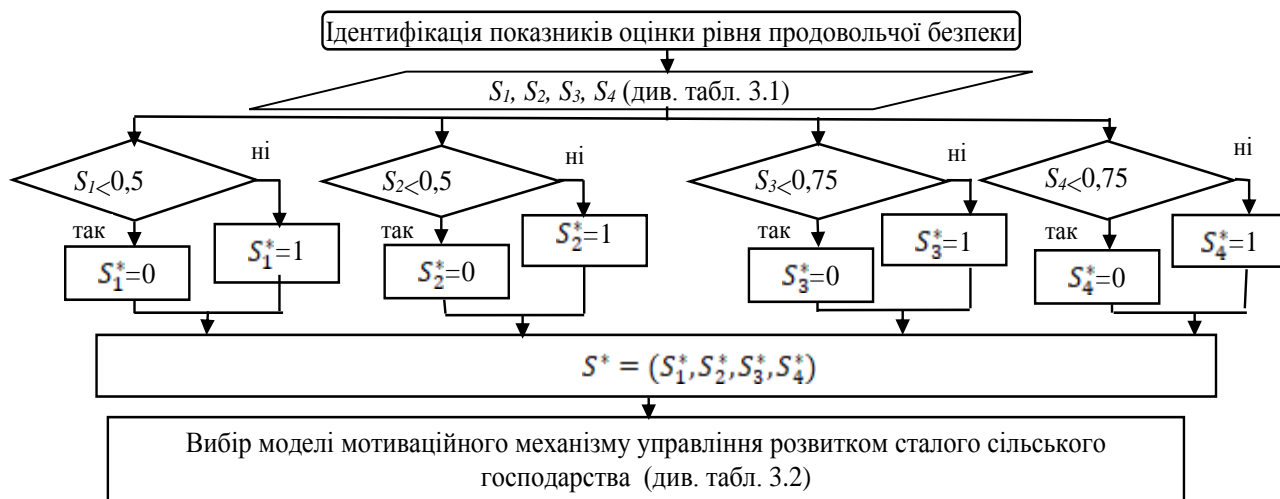


Рисунок 3.13 – Процес вибору моделі мотиваційного механізму управління розвитком сталого сільського господарства в Україні (удосконалено авторами на основі [75])

Вибір моделі мотиваційного механізму управління розвитком органічного виробництва, що сприятиме забезпеченню достатнього рівня продовольчої безпеки економічної системи (країни, регіону) пропонується здійснювати за показником преобразованих значень показників-індикаторів оцінки рівня продовольчої безпеки  $S^* = (S_1^*, S_2^*, S_3^*, S_4^*)$  (табл. 3.4).

Слід зазначити, що в рамках кожної моделі можливо також здійснювати вибір методів та інструментів мотивування з урахуванням їх економічної ефективності. Розробка методичного підходу до такого вибору є напрямком наших подальших досліджень.



Таблиця 3.4 – Вибір моделі мотиваційного механізму розвитку сталого сільського господарства (розроблено авторами)

Значення показника $S^* = (S_1^*, S_2^*, S_3^*, S_4^*)$	Модель
(1;1;1;1), (1;1;1;0), (1;1;0;1); (1;0;1;1); (0;1;1;1)	М'який механізм
(1;0;1;0), (1;0;0;1); (1;1;0;0), (0;0;1;1); (0;1;1;0) (0;1;0;1)	Стимулюючий механізм
(1;0;0;0), (0;1;0;0); (0;0;1;0), (0;0;0;1), (0;0;0;0)	Жорсткий механізм

Таблиця 3.5 – Вибір стратегії підвищення рівня стійкості сільського господарства (розроблено авторами)

Значення показника $S^* = (S_1^*, S_2^*, S_3^*, S_4^*)$	Стратегія
(1;1;1;1)	Підтримки
(1;1;1;0), (1;1;0;1); (1;0;1;1); (0;1;1;1)	Посилення
(1;0;1;0), (1;0;0;1); (1;1;0;0), (0;0;1;1); (0;1;1;0) (0;1;0;1)	Адаптації
(1;0;0;0), (0;1;0;0); (0;0;1;0), (0;0;0;1), (0;0;0;0)	Змін

Характеристику стратегій підвищення рівня стійкості сільського господарства наведено у таблиці 3.6.

Слід зазначити, що при виборі стратегій слід також враховувати рівень стійкості та сталого розвитку, що може обумовити необхідність застосування комбінації стратегій та вибору в рамках кожної з них комплексу заходів, що регулюють характер та впливають на показники стійкості та сталого розвитку аграрного сектору економіки.

Таблиця 3.6 – Стратегії підвищення рівня стійкості сільського господарства (розроблено авторами)

Характер стійкості	Стратегія	Характеристика стратегії
Зростаючий (Improving)	Підтримки	Збереження достатнього рівня стійкості сільського господарства та/або покращення стійкості при збереженні сталого розвитку сільського господарства, попередження появи загроз економічним інтересам підприємств АПК
Стагнуючий (Robusting)	Посилення	Проведення заходів посилення показників економічної стійкості при збереженні сталого розвитку сільського господарства
Флуктуаційний (Fluctuating)	Адаптації	Пов'язана з адаптацією підприємства АПК до впливу зовнішніх факторів на їх діяльність, і полягає в максимальному зменшенні негативного впливу на довкілля
Рецесивний (Decreasing)	Змін	Передбачає активне впровадження різних видів інновацій та проведення заходів з метою посилення показників стійкості, значення яких є недостатніми та низькими.

## 4 ОЦІНКА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ ІННОВАЦІЇ РОЗРОБКИ

### 4.1. Оцінка відповідності нових видів органо-мінеральних добрив інтересам суб'єктів ринку з урахуванням досягнення цілей стійкого розвитку

Пошук нових стійких ринків є ключовим питанням для інноваційного підприємництва, враховуючи той факт, що конкуренція всіх економічних агентів стає більш інтенсивною [2, 3]. Для зменшення впливу різних ризиків оцінка ринкових перспектив інноваційної продукції на етапі бізнес-аналізу життєвого циклу інновації є важливим критерієм для ухвалення управлінських рішень щодо доцільності подальшої реалізації проекту.

Для оцінки відповідності нових видів добрив інтересам всіх суб'єктів ринку (виробника, споживача, держави та суспільства), методика проведення якої детально описана у роботі [76], було сформувати три групи експертів, кожна з яких представляла відповідну категорію суб'єктів ринку – виробник, споживач, держава та суспільство.

На основі визначених експертним методом характеристик добрив, було сформовано наступні групи характеристик добрив, що відповідали інтересам відповідних суб'єктів ринку.

Для оцінки відповідності інтересам споживачів досліджували такі групи показників:

$X_{11}$  – Вартість/очікувана вартість нового вида добрива;

$X_{12}$  – Економія при використанні;

$X_{13}$  – Комплексний склад добрива;

$X_{14}$  – Екологічність (рівень загрози надлишкового накопичення нітратів у с/г рослинах та продукції);

$X_{15}$  – Придатність до використання в конкретних умовах;

$X_{16}$  – Частота внесення;

$X_{17}$  – Рівень утримання гранулами вологи в ґрунті;

$X_{18}$  – Зручність, простота у застосуванні (для суцільного внесення, на задану глибину та відстань від рядка при посіві різних культур);

$X_{19}$  – Відсутні додаткові витрати (на придбання відповідної техніки для внесення добрив);

$X_{20}$  – Ефективність (зростання кількості та якості врожаю).

Для зазначених груп показників були визначені такі вагомості:  $X_{11} – 0,17$ ;  $X_{12} – 0,09$ ;  $X_{13} – 0,1$ ;  $X_{14} – 0,05$ ;  $X_{15} – 0,09$ ;  $X_{16} – 0,07$ ;  $X_{17} – 0,11$ ;  $X_{18} – 0,06$ ;  $X_{19} – 0,12$ ;  $X_{20} – 0,14$ .

Для оцінки відповідності інтересам виробників досліджували такі групи показників, вагомості яких вказано у дужках:

$X_{21}$  – Зменшення екологічних податків, штрафів (0,08);

$X_{22}$  – Можливість розширення існуючих ринків збуту та вихід на нові ринки (0,18);

$X_{23}$  – Забезпечення здоров'я працівників (0,08);

$X_{24}$  – Підвищення прибутків (0,15);

$X_{25}$  – Зменшення собівартості виробництва (0,15);

$X_{26}$  – Безпека виробництва (в т.ч. екологічна безпека) (0,09);

$X_{27}$  – Підвищення статусу підприємства (за рахунок впровадження екологічно безпечних технологій виробництва, перехід на чисту енергетику) (0,08);

$X_{28}$  – Енергетична незалежність виробництва (за умови впровадження власних енергогенеруючих потужностей на відновлюваних джерелах енергії) (0,09);

$X_{29}$  – можливість залучення зовнішніх інвестицій для розвитку бізнесу (0,1).

Для оцінки відповідності інтересам держави та суспільства досліджували такі групи показників, вагомості яких вказано у дужках:

$X_{31}$  – Підвищення рівня безпеки (в т.ч. екологічної, продовольчої, енергетичної, національної) (0,15);

$X_{32}$  – Зростання національної економіки (0,12);

- $X_{33}$  – Зростання глобальної конкурентоспроможності країни (0,12);
- $X_{34}$  – Забезпечення здоров'я нації (0,11);
- $X_{35}$  – Наповнення державного бюджету та зростання надходжень до державного бюджету (0,1);
- $X_{36}$  – Зростання кількості робочих місць (0,1);
- $X_{37}$  – Підвищення рівня соціальної відповідальності бізнесу (0,1);
- $X_{38}$  – Прискорення досягнення цілей сталого розвитку (0,1);
- $X_{39}$  – Прискорення «зеленого» переходу національної економіки (0,1).

Оцінку ступеня відповідності характеристик нового виду добрива інтересам кожного з суб'єктів ринку здійснювали на основі аналізу відповідності цим інтересам визначених характеристик за шкалою від 0 до 4, де 0 – повністю не відповідає, 4 – повністю відповідає.

На основі отриманих оціночних показників розраховали оцінки відповідності нового виду добрива інтересам споживачів ( $O_1$ ), виробників ( $O_2$ ) та суспільних і державних інститутів ( $O_3$ ), які склали:  $O_1=3,84$ ;  $O_2=3,9$ ;  $O_3=3,91$ . Ступінь достовірності оцінок відповідності нового виду добрива інтересам суб'єктів ринку – виробнику ( $\delta_1$ ), споживачу ( $\delta_2$ ), державі та суспільству ( $\delta_3$ ), розрахована за формулою стандартного відхилення, становить відповідно  $\delta_1=0,072$ ;  $\delta_2=0,17$ ;  $\delta_3=0,103$ .

З урахуванням показників ступеня достовірності оцінок, розрахована інтегральна оцінка відповідності нового екологічного добрива інтересам усіх суб'єктів ринку склала  $3,88 \pm 0,115$ , що відповідає високому рівню задоволення інтересам усіх суб'єктів ринку та свідчить про прийнятність виробництва та виведення на ринок нового виду добрива.

#### **4.2 Оцінка конкурентоспроможності екологічної інновації – нових екологічно безпечних добрив пролонгованої дії**

У зв'язку з розробкою капсульованих оргно-мінеральних добрив пролонгованої дії, які передбачають підвищення коефіцієнта використання

поживних речовин та зниження техногенного навантаження на довкілля, постає питання екологічного обґрунтування їх впровадження у виробництво і сільське господарство [77].

Для оцінки конкурентоспроможності екологічної інновації використовуються такі групи показників [78]:

- показники споживчих якостей інновації;
- показники, що характеризують рівень передпродажного та післяпродажного сервісу;
- показники іміджу товару і його товаровиробника;
- вартісні показники придбання (ціна товару, знижки та надбавки);
- вартісні показники споживання та утилізації.

Оцінка конкурентоспроможності товару може здійснюватися як за окремими характеристиками, так і за всім їх комплексом (інтегральна оцінка конкурентоспроможності), але цей процес має бути систематичним та безперервним для своєчасного попередження послаблення та втрати ринкових позицій підприємством.

Існують різні підходи до оцінки конкурентоспроможності товару [79–87], які в цілому передбачають такі основні етапи (рис. 4.1):

1. Аналіз ринку і вибір найбільш конкурентоспроможного товару-зразка (еталона для порівняння);
2. Визначення сукупності параметрів двох товарів для порівняння;
3. Розрахунок інтегрального показника конкурентоспроможності оцінюваного товару.

Розглянемо одну з методик, яку пропонують Ілляшенко С. М. [78], та Пилипчук В.П. [84], відповідно до якої оцінка конкурентоспроможності товару виконується у такій послідовності.

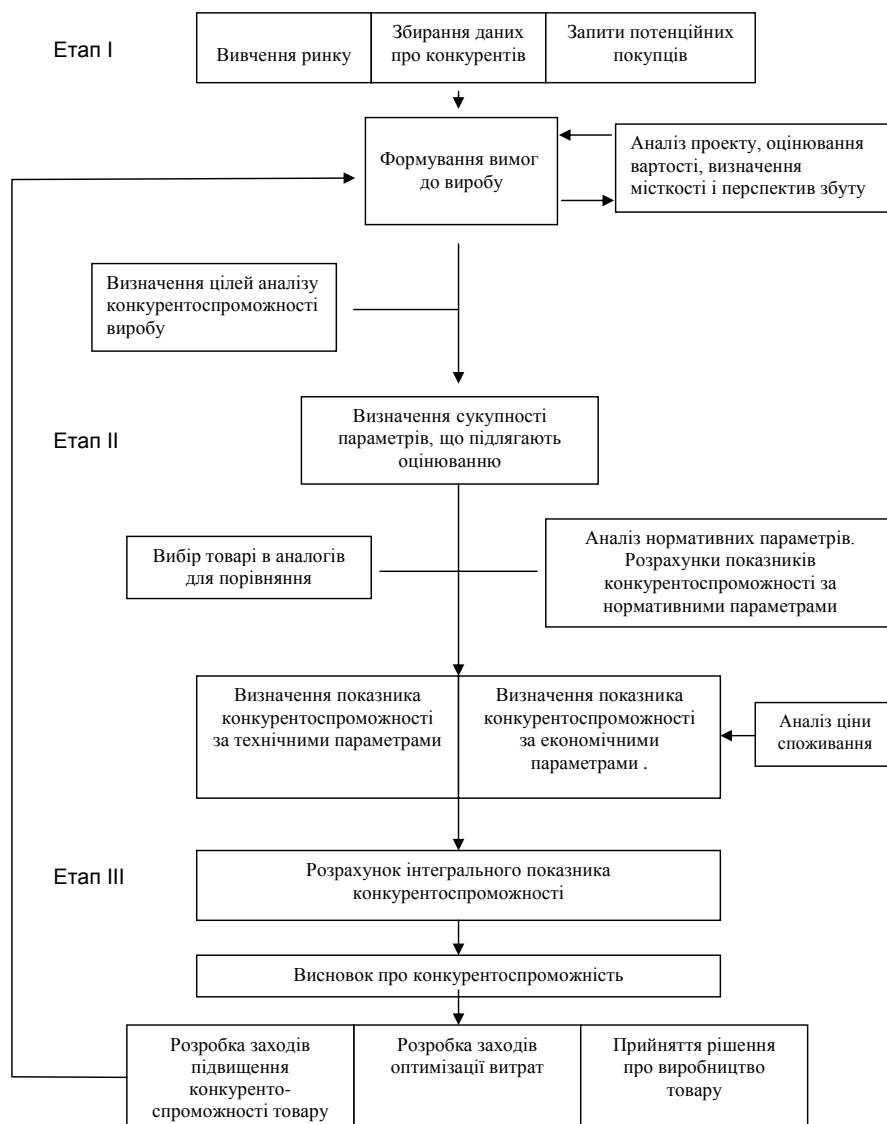


Рисунок 4.1 – Типові етапи оцінки конкурентоспроможності продукції

1. *Збір та аналіз інформації* про споживачів (покупців), мотиви їх поведінки, тенденції розвитку ситуації на ринку, конкурентів тощо.

2. *Вибір оцінних показників конкурентоспроможності* з огляду на специфіку товару і споживацьких запитів (техніко-економічні показники, показники рівня сервісу, іміджу тощо), а також вимоги стандартів (нормативні показники).

3. *Вибір найбільш конкурентоспроможного товару-зразка* (еталона для порівняння) має належати разом з аналізованим виробом до однієї групи товарів, відповідати певним умовам використання й функціонального призначення, бути характерним для вибраного ринку, мати максимальні

переваги для покупців. Зрозуміло, що товар-еталон повинен повністю відповідати нормативним вимогам майбутнього ринку, оскільки конкурентоспроможність в найширшому розумінні визначає можливість продажу товару на певному ринку. Конкурентоспроможною можна вважати продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, ідентичними показникам проданого товару [84].

4. *Визначення вагомості оцінних показників ( $B_i$ ).* Оскільки якість товару оцінюють споживачі (сприймають чи не сприймають її), то кращим способом визначення вагомості оцінних показників є опитування споживачів. При цьому, як правило, до уваги слід брати думку розробників і товаровиробників. Один з методів визначення вагомостей – метод попарного порівняння.

5. *Оцінка кожного з товарів конкурентів за окремими показниками.* Перш за все рекомендується виконати оцінку відповідності показників товару нормативним значенням (оцінку конкурентоспроможності за нормативними показниками). Якщо товар не відповідає вимогам нормативів хоча б за одним із показників, він визнається неконкурентоспроможним. Якщо товар за нормативними значеннями є конкурентоспроможним, далі виконується відносна оцінка показників товарів-конкурентів порівняно з кращими з показників усіх порівнюваних товарів. Порівнюють як фактичні значення показників, які можна оцінити чисельно, так і ті значення, що оцінюють якісно (дизайн, якість передпродажного та післяпродажного сервісу, відповідність певному стилю тощо). В останньому випадку якісні оцінки попередньо переводять у бальні.

Відносну оцінку конкурентоспроможності за окремими показниками визначають за такими правилами:

1) якщо більше значення показника свідчить про вищу конкурентоспроможність, для розрахунку слід застосовувати таку формулу

$$I_j = \frac{P_{ij}}{P_{\max}}, \quad (4.1)$$



де  $P$  - значення  $i$ -го показника  $j$ -го товару;

$P_{max}$  - найбільше зі значень  $i$ -го показника з усіх порівнюваних товарів відповідно.

2)

3) якщо менше значення показника свідчить про вищу конкурентоспроможність, для розрахунку слід застосовувати таку формулу

$$I_j = \frac{P_{min}}{P_{ij}}, \quad (4.2)$$

де  $P_{min}$  - найменше зі значень  $i$ -го показника з усіх порівнюваних товарів відповідно.

При цьому окремо оцінюють:

– *технічні, експлуатаційні, сервісні, маркетингові показники* (далі їх будемо умовно називати *технічні характеристики товару*). Рівень конкурентоспроможності за технічними показниками оцінюють за допомогою "жорстких" і "м'яких" параметрів.

«Жорсткі» параметри – це технічні та ергономічні параметри, а також параметри призначення, які мають конкретну величину, що виражається у кілограмах, міліметрах та інших одиницях. «М'які» параметри характеризують естетичні властивості товару (дизайн, колір, упаковка). Для параметрів, які не мають кількісних характеристик, результати виражають у бальній формі за оцінками груп експертів відповідно до обраної ними шкали.

– *економічні показники конкурентоспроможності*, які включають витрати споживача на придбання товару та витрати, пов'язані з його експлуатацією (витрати на транспортування виробу; витрати на монтаж; витрати на навчання персоналу; витрати на експлуатацію; витрати на ремонт; витрати на технічне обслуговування; страхові внески; витрати на пальне,

енергію; витрати на купівлю та переклад національною мовою технічної інформації та інструкцій) [78].

Максимальною оцінкою є 1, коли значення порівнюваного показника конкретного товару відповідає еталонному (найкращому показнику з усіх порівнюваних товарів).

6. *Комплексна оцінка за всіма показниками усіх товарів-конкурентів* (окремо за технічними характеристиками ( $I_{mex}$ ) та окремо за економічними ( $I_{ек}$ )):

$$\begin{aligned} I_{mex} &= \sum_{i=1}^n Im_i \cdot Bm_i, \\ I_{ек} &= \sum_{i=1}^n Ie_i \cdot Be_i, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де  $Im_i$  та  $Ie_i$  – відносні одиничні оцінки відповідно  $i$ -го технічного та  $i$ -го економічного показників;  $Bm_i$  та  $Be_i$  – вагомості відповідних показників.

7. *Інтегральна оцінка конкурентоспроможності* кожного з товарів за технічними і економічними характеристиками виконується за формулою:

$$K = I_{тех} \cdot I_{ек} \quad (4.4)$$

Вища оцінка з досліджуваних товарів-конкурентів свідчить про більший рівень конкурентоспроможності з усієї порівнюваної сукупності товарів. Максимальною є оцінка 1, при цьому  $I_{mex}=1$  і  $I_{ек}=1$ , тобто порівнюваний виріб є кращим за технічними і економічними характеристиками.

Величина  $\frac{1}{I_{ек}}$  характеризує, яку частину конкурентоспроможності «ідеального» товару (кращого за всіма параметрами) за економічними показниками становить конкурентоспроможність конкретного товару. Як зазначено у [78] доцільність врахування саме цієї величини, обумовлена можливістю в наочній формі порівнювати конкурентоспроможність товарів,

оскільки в такому разі формула (1.4) характеризує, наприклад, відношення «якість—ціна споживання».

8. *Графічна інтерпретація порівняльної оцінки конкурентоспроможності продукції за допомогою циклограми якості товарів.* Цей етап не є обов'язковим, але дозволяє у наглядній формі побачити сильні та слабкі сторони товарної конкурентоспроможності у розрізі параметричних показників.

Результати оцінки є підставою для розробки рекомендацій щодо підвищення конкурентоспроможності товару (за необхідності) [88].

Інтегральний показник конкурентоспроможності вказує на ступінь його привабливості з позиції покупця.

*Оцінку конкурентоспроможності продукції підприємства на зовнішньому ринку пропонується оцінювати диференціальним методом, заснованому на використанні одиничних параметрів узятого продукту, що зіставляється зі зразком.*

Для оцінки міжнародної конкурентоспроможності підприємства слід застосовувати таку систему показників, які характеризують:

1) *Конкурентоспроможність по продукту:*

а) коефіцієнт ринкової частки, що характеризує частку, займану підприємством на зовнішньому ринку ( $K_{чр}$ ):

$$K_{чр} = \frac{Q_{підпр}}{Q_{заг}} \quad (4.5)$$

де  $Q_{підпр}$  – обсяг продажу продукції підприємством на зовнішньому ринку;

$Q_{заг}$  – загальний обсяг продажу продукції на зовнішньому ринку;

б) коефіцієнт передпродажної підготовки ( $K_{п}$ ), що характеризує зусилля підприємства до зростання міжнародної конкурентоспроможності за рахунок покращання передпродажної підготовки:

$$K_{\Pi} = \frac{TC_{\Pi}}{TC_{\text{ВП}}} \quad (4.6)$$

де  $TC_{\Pi}$  – сума загальних витрат на передпродажну підготовку;

$TC_{\text{ВП}}$  – сума витрат на виробництво продукту й організацію його продажів на зовнішньому ринку.

У випадку, якщо продукт не вимагав передпродажної підготовки у звітний період, приймаємо  $K_{\Pi}=1$ ;

в) коефіцієнт еластичності конкурентоспроможності за обсягами продажу ( $E_Q$ ), що відображає флуктуації рівня конкурентоспроможності підприємства залежно від обсягу продажів:

$$E_Q = \frac{Q_{\text{кін}}}{Q_{\text{поч}}} \quad (4.7)$$

де  $Q_{\text{кін}}$  – обсяг продажу підприємства на зовнішньому ринку на кінець звітного періоду;

$Q_{\text{поч}}$  – обсяг продажу підприємства на зовнішньому ринку на початок звітного періоду;

## 2) Конкурентоспроможність за ціною:

а) коефіцієнт еластичності конкурентоспроможності за ціною, що також відображає флуктуації рівня конкурентоспроможності підприємства залежно від ціни ( $E_P$ ):

$$E_P = \frac{P_{\text{max}} + P_{\text{min}}}{2P_{\text{розр}}} \quad (4.8)$$

де  $P_{\text{max}}$  – максимальна ціна товару на зовнішньому ринку;

$P_{\text{min}}$  – мінімальна ціна товару на зовнішньому ринку;

$P_{\text{розрах}}$  – ціна товару, встановлена підприємством, яку доцільно визначати таким чином: для підприємств, які мають багаторівневі канали збуту, – як середньозважену ціну (з урахуванням цінової політики підприємства щодо різних груп посередників та кінцевих споживачів (у випадку прямих продаж); для підприємств, що мають однорівневий канал збуту (зокрема, це стосується продукції виробничо-технічного призначення), – як ціну, визначену договором між підприємством та замовником даної продукції;

3) *Конкурентоспроможність за критерієм доведення продукту до споживача* пропонується визначати за коефіцієнтом доведення продукту до споживача, що відображає прагнення фірми до підвищення міжнародної конкурентоспроможності за рахунок поліпшення своєї збутової діяльності ( $K_3$ ):

$$K_3 = \frac{E_Q \cdot TC_{з(\text{кін})}}{TC_{з(\text{поч})}} \quad (4.9)$$

де  $TC_{з(\text{кін})}$  – витрати на функціонування системи збуту на кінець звітного періоду;

$TC_{з(\text{поч})}$  – витрати на функціонування системи збуту на початок звітного періоду;

4) *Конкурентноспроможність за критерієм просування продукту* пропонується визначати за коефіцієнтом рекламної діяльності, що відображає прагнення фірми до зростання конкурентоздатності за рахунок поліпшення рекламної діяльності ( $K_p$ ):

$$K_p = \frac{E_Q \cdot TC_{p(\text{кін})}}{TC_{p(\text{поч})}} \quad (4.10)$$

де  $T_{C_{p(\text{кін})}}$  – витрати на рекламну діяльність на зовнішньому ринку кінець звітнього періоду;

$T_{C_{p(\text{кін})}}$  – витрати на рекламну діяльність на початок звітнього періоду.

Окремо слід зазначити, що для розрахунку інтегрального коефіцієнта міжнародної конкурентоспроможності підприємства також потрібно враховувати показники фінансового стану підприємства, що розраховують на основі фінансової звітності підприємства за звітний (досліджуваний) період.

Таким чином, загальна формула розрахунку інтегрального коефіцієнта міжнародної конкурентоспроможності підприємства ( $MK_{\text{інт}}$ ) буде мати такий вигляд:

$$MK_{\text{інт}} = E_{\text{марк}} \cdot K_{\text{лікв}} \cdot K_{\text{забезп}}, \quad (4.11)$$

де  $K_{\text{лікв}}$  – коефіцієнт поточної ліквідності;

$K_{\text{забезп}}$  – коефіцієнт забезпеченості власними коштами;

$E_{\text{марк}}$  – коефіцієнта ефективності маркетингової діяльності на зовнішньому ринку, який визначається як середньозважена величина коефіцієнтів ефективності по кожному продукту, розрахованих для кожного конкретного продукту окремо як середньоарифметична величина показників, визначених за формулами (4.5)–(4.10).

Відповідно до значень інтегрального коефіцієнта міжнародної конкурентоспроможності ( $MK_{\text{інт}}$ ) підприємства поділяються на наступні групи [89]: ринкові лідери, ринкові претенденти, ринкові послідовники; підприємства, що діють у ринковій ніші; банкрути.

*Ринкові лідери* – підприємства, що мають значення коефіцієнту більше 9. Як правило, ці підприємства мають найбільшу ринкову частку, є лідерами в ціновій політиці, оптимізації витрат, використанні різноманітних розподільних систем тощо. Для підприємств-лідерів характерною стратегією є оборона.

*Ринкові претенденти* – фірми, розрахунковий коефіцієнт конкурентоспроможності яких в межах 3,1–9. Ці фірми, як правило, борються за збільшення ринкової частки продажів, проводять ціновий демпінг. Для них характерна стратегія атаки на всіх напрямках діяльності.

*Ринкові послідовники* – фірми, розрахунковий коефіцієнт конкурентоспроможності яких лежить у діапазоні 1–3. Ця група підприємств, як правило, постійно відчують атаку з боку ринкових претендентів, тому дотримуються стратегії проходження за галузевим лідером, не схильні до ризику, але й не проявляють пасивності. Рішення щодо діяльності на зовнішньому ринку підприємства цієї групи приймають особливо обережно та виважено, копіюючи лідера, але діючи більш обачно, оскільки розраховують на менші ресурси.

*Фірми, що діють у ринковій ніші.* Розрахунковий коефіцієнт конкурентоспроможності цієї групи лежить у діапазоні від 0,99 до -6,9. Фірми цієї групи обслуговують маленькі сегменти ринку, які інші учасники конкуренції не приймають до уваги. Для них характерний високий рівень спеціалізації. Коло їх споживачів є обмеженим, характерним є високий рівень цін на їх продукцію. У своїй діяльності такі підприємства максимально залежать від споживачів.

*Банкрути* – підприємства з коефіцієнтом конкурентоспроможності від -7 до -10. Вони приймають режим зовнішнього керування, проводять заходи щодо виходу з банкрутства або проводять розрахунки із кредиторами й ліквідуються [89].

Для виявлення, аналізу і оцінки позицій товарної лінії і окремих товарних одиниць відносно продукції конкурентів нами було побудовано карту ринкового профілю, яка показує, що нові добрива займають верхній ціновий сегмент. Однак для роботи у верхньому ціновому сегменті потрібно мати істотні конкурентні переваги і досить позитивний стійкий імідж.

Основні характеристики добрив конкурентів показано у таблиці 4.1. Бальна оцінка характеристик продукції наведена у таблиці 4.2.

Виконаємо оцінку конкурентоспроможності окремо за групами якісних, технічних, сервісних та економічних показників та окремо за економічними показниками (ціною), що дозволить визначити заходи щодо підвищення ефективності товарної політики підприємства з метою підвищення рівня конкурентоспроможності підприємства на зовнішньому ринку. Розрахунок здійснюємо за методикою, наведеною вище. Вагомості якісних, технічних і сервісних груп показників визначені шляхом опитування споживачів. Вони відповідно становлять: 0,3; 0,35; 0,35.

Розрахунки свідчать, що за комплексом якісних, технічних і експлуатаційних параметрів кращим є запропонований нами продукт. Результати розрахунку показників конкурентоспроможності за усім комплексом якісних, технічних, експлуатаційних, і економічних показників представлено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники конкурентоспроможності різних видів добрив

Вид добрива	Показники конкурентоспроможності					
	якісні	технічні	сервісні	інтегральний технічний показник	економічні	інтегральний показник конкурентоспроможності
1 Капсульоване органо-мінеральне добриво модифікованого біочаром	0,3000	0,3191	0,3500	0,9691	0,5422	0,5254
2 Капсульоване органо-мінеральне добриво модифікованого діатомітом	0,2387	0,3186	0,2333	0,7906	0,6445	0,5095
3 Мінеральне добриво РК 25 : 3	0,1202	0,2953	0,0700	0,4855	1	0,4855
4 Мінеральне добриво NPK 5 : 20 : 5	0,1687	0,3169	0,0408	0,5264	0,7758	0,4084
5 Мінеральне добриво NP 5 : 25	0,1656	0,3151	0,0642	0,5449	0,7012	0,3821



Для поліпшення конкурентних позицій нового виду добрив, які займають сегмент високих цін необхідно: застосувати стратегію низьких витрат (знизити вартість необхідних матеріалів). Аналіз структури собівартості нового виду добрива показує, що провідне місце займає вартість матеріалів, причому її частка складає 64,3 %. Отже, головну увагу слід приділяти зниженню вартості матеріалів у структурі собівартості.

Інтегральна оцінка відповідності нового товару інтересам суб'єктів зовнішнього ринку, розрахована за методикою [79], свідчить про високі шанси на успіх нового товару на зовнішньому ринку, однак не завадить провести уточнювальний аналіз. При цьому найменшу оцінку продукція отримала у посередників, через те, що ціни на продукцію занадто завищені по відношенню до конкурентів, а через те потрібно запропонувати заходи щодо зниження ціни, без суттєвої втрати конкурентоспроможності продукції. В цілому товарна номенклатура продукції достатньо повно відповідає інтересам суб'єктів зовнішнього ринку, і має високі шанси на успіх на зовнішньому ринку.

Також визначимо конкурентоспроможність нових видів добрив, які нами розроблені, за інтегральним показником конкурентоспроможності за формулою:

$$K = \frac{Q}{Q_{\Sigma}}, \quad (4.12)$$

де  $K$  – інтегральний коефіцієнт конкурентоспроможності товару (послуги);

$Q$  – загальна кількість параметрів, які відповідають міжнародним та національним стандартам за оцінками експертів;

$Q_{\Sigma}$  – загальна кількість параметрів оцінки.

Оцінка конкурентоспроможності проводиться за такими критеріями:

$K \geq 1$  – товар відповідає вимогам міжнародного ринку;

$0,85 \leq K \leq 0,99$  – товар відповідає вимогам національного ринку;

$0,75 \leq K \leq 0,84$  – товар відповідає вимогам місцевого регіонального ринку;

$K < 0,75$  – товар є неконкурентоспроможним.

Аналіз конкурентоспроможності нового виду добрив здійснюємо за параметрами, наведеними у таблиці 4.2. Бали визначені за шкалою від 0 (не відповідає) до 1 (відповідає).

Таблиця 4.2 – Аналіз конкурентоспроможності нового виду добрив

Порядковий номер параметру	Найменування параметрів	Відповідність стандартам, бали
1	2	3
1.1	Відповідність міжнародним параметрам якості	1
1.2	Відповідність національним параметрам якості	1
1.3	Відповідність міжнародним нормативам	1
1.4	Відповідність національним нормативам	1
1.5	Відповідність діючим міжнародним законодавчим актам	1
1.6	Відповідність діючим національним законодавчим актам	1
1.7	Відповідність упаковки діючим міжнародним стандартам	1
1.8	Відповідність упаковки діючим національним стандартам	1
1.9	Відповідність міжнародним екологічним стандартам	1
1.10	Відповідність національним екологічним стандартам	1
1.11	Відповідність складу діючим міжнародним стандартам	1
1.12	Відповідність складу діючим національним стандартам	1
2.1	Ціна виробу	0
2.2	Вартість упаковки	1
2.3	Вартість технічного обслуговування	1
	Q	14
	$Q_{\Sigma}$	15
	K	0,93

Отже, наведені в таблиці 4.2 дані свідчать про те, що з 15 параметрів, які характеризують інновацію, 14 відповідають сучасним вимогам міжнародного та національного ринку і інтегральний показник його

конкурентоспроможності складає 0,93, що свідчить про її конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Для підвищення конкурентоспроможності інновації необхідно визначити шляхи зменшення її вартості, в т.ч. за рахунок зменшення витрат енергоресурси, необхідні для її виробництва.

Кількісну оцінку рівня цінового ризику виробництва нового виду добрива проводимо за допомогою використання шкали експертних оцінок факторів цінового ризику, що наведені в таблиці 4.3. Визначити, до якої зони цінових ризиків належить знайдений.

Таблиця 4.3 – Фактори цінового ризику

Цінова еластичність попиту		Конкурентоспроможність товару		Умови постачання і форми розрахунків з постачальником		Рівень каналу товарору		Форма і методи збуту		Репутація постачальника		Якість роботи з ціноутворення		Рівень сервісу		Імідж підприємства на ринку		Система знижок, що використовується	
$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$	$\omega$	$\beta$
0,3	1	0,15	0,93	0,06	7	0,12	4	0,09	5	0,07	6	0,01	10	0,05	8	0,02	9	0,13	3

Розрахунок цінового ризику здійснюється за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^n b_i \cdot \omega_i \quad (4.13)$$

$$R = 1 \cdot 0,3 + 0,15 \cdot 0,93 + 2 \cdot 0,06 \cdot 7 + 4 \cdot 0,12 + 0,09 \cdot 5 + 0,01 \cdot 10 + 0,05 \cdot 8 + 0,02 \cdot 9 + 0,13 \cdot 3 = 3,27$$

Таблиця 4.4 – Рівні ризику

Шкала меж зон цінового ризику	Рівень ризику
$0 \leq R < 2,5$	Мінімальний
$0,25 \leq R < 5$	Підвищений
$5 \leq R < 7,5$	Критичний
$7,5 \leq R \leq 10$	Катастрофічний

На основі проведених розрахунків сформовано наступні рекомендації щодо оптимізації цінового ризику. Серед внутрішніх заходів із зниження цінових ризиків рекомендується лімітування за допомогою встановлення економічних і фінансових нормативів; диверсифікація постачальників, диверсифікація системи знижок для споживачів; одержання додаткової інформації про постачальників, систему збуту тощо; мінімізація ризиків, пов'язаних із визначенням рівня торговельних надбавок, скорочення переліку форс-мажорних обставин у договорі з постачальниками, обґрунтування економічної доцільності проведення переоцінки і використання системи знижок на підприємстві; страхування цінових ризиків.

#### **4.2 Розробка маркетингової стратегії просування гранульованих добрив пролонгованої дії на внутрішньому та зовнішньому ринках**

Війна в Україні стала викликом глобальній безпеці, сталості та стійкості національних економік, посилила глобальну харчову, енергетичну, міграційну та фінансову кризи. Усе це відбувається в той час, коли країни вже борються з каскадними викликами – пандемією COVID-19, кліматичною кризою та недостатніми ресурсами на тлі постійної та зростаючої нерівності [90]. Кроткостроковими наслідками війни для світової економіки є зміна цін на продукти, енергію, добрива та транспортування, а також зміна транспортних ланцюгів. Вже у коротко- та середньостроковій перспективі слід очікувати переорієнтацію сировинних потоків (продукти харчування, паливо та сільськогосподарські ресурси) та зміни у логістиці (через повну відсутність

доступу до узбережжя Азовського моря та понад 80 % узбережжя Чорного моря, враховуючи берегову лінію АР Крим; блокаду морських портів України та неможливість судноплавства у виключно економічній зоні України через її щільне мінування; постійну загрозу ракетних ударів по об'єктам інфраструктури залізничного та автомобільного транспорту). Крім того, прогнозується зменшення світового виробництва зернових культур та добрив [91], а також скорочення обсягів їх експорту.

Перше пов'язано зі зміною ролі України та РФ, які на даний час є одними основних постачальників зерна в світі, у світовій торгівлі. Так, за даними [91–99] протягом 2018–2021 років Україна входила у трійку найбільших світових експортерів зерна (ячмінь, кукурудза, жито, фуражне зерно, пшениця, борошно та продукція з нього), займаючи 2 місце після США за результатами 2018–2019 маркетингового року та 3 місце після США та Аргентини – за результатами 2019–2021 маркетингових років (рис. 4.2). Сукупно ці країни забезпечували більше 51 % світового експорту зерна. В той же час, на долю РФ у 2018–2021 рр. приходилося близько 9 % світового експорту зерна. За попередніми оцінками у 2021–2022 маркетинговому році очікується незначне скорочення обсягів експорту України та РФ, що дозволить їм посісти відповідно 4 та 6 місця у структурі світового експорту зерна, поступившись відповідно США, Аргентині, Бразилії та країнам ЄС.

За прогнозними оцінками, у 2022–2023 маркетинговому році можливе скорочення обсягів експорту зерна в Україні ще на 54 %, що обумовлено такими факторами:

- 1) скорочення площі сільськогосподарських земель у тимчасово окупованих регіонах (станом на травень 2022 р. їх площа складає близько 125 тис. кв. км або 20,7 % земельного фонду України [100], у районах проведення активних воєнних (бойових) дій та на деокупованих територіях, де залишається мінна небезпека;

- 2) природні фактори, а саме: зниження родючості ґрунтів та кліматичні зміни.

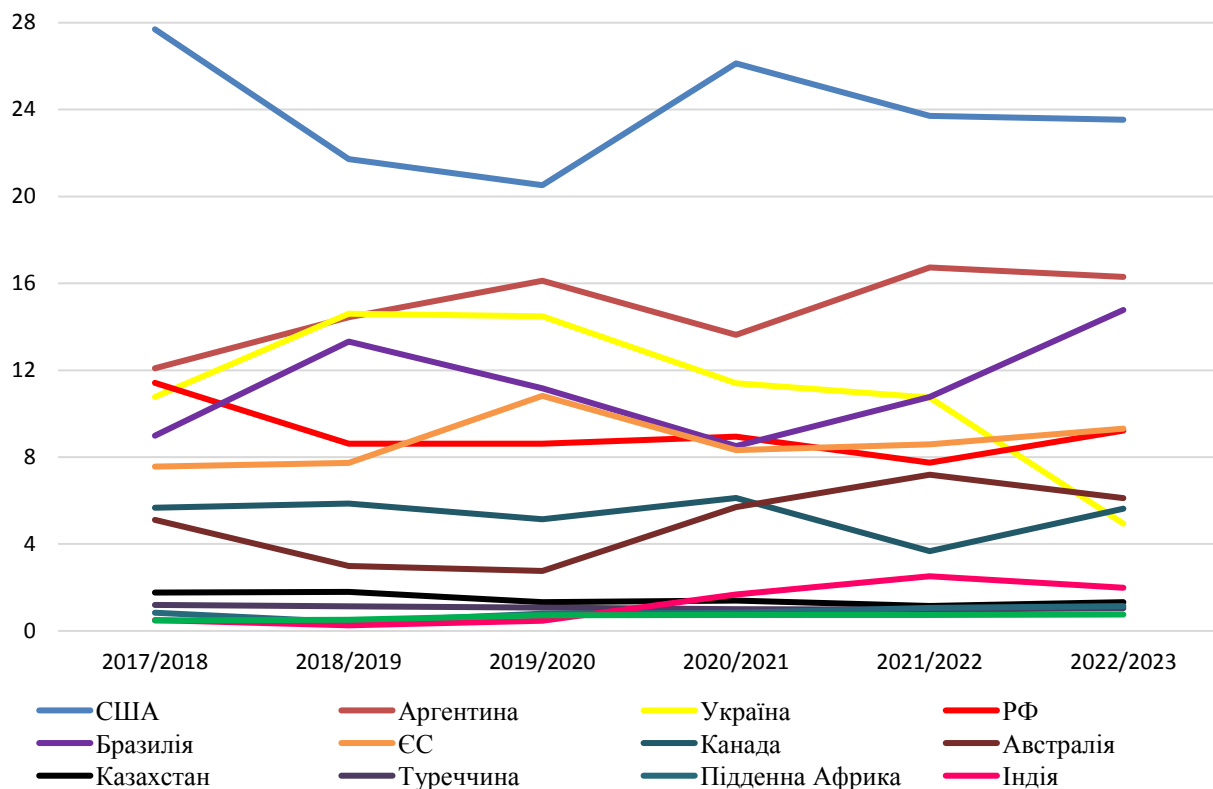


Рисунок 4.2 – Динаміка світового експорту зернових, % (запропоновано авторами на основі даних [91-99])

При цьому за даними USAD [91] у 2022–2023 маркетинговому році очікується зростання обсягу експорту зерна в РФ на 20 % (переважно за рахунок зерна з тимчасово окупованих територій України). В той же час, важливим аспектом, не врахованим у існуючих прогнозах провідних світових організацій та експертів є той факт, що на РФ як на країну-агресора накладено санкції і санкційний тиск буде зростати і далі. Біль того, важливим аспектом формування нової архітектури світової безпеки є зменшення економічної залежності країн від РФ, яка використовує світову торгівлю (зокрема, енергоресурсами, сільськогосподарськими продуктами тощо) як інструмент гібридної війни, в т.ч. економічної війни.

Другий аспект пов'язаний з тим, що РФ та Білорусь, яка є сателітом РФ, є одними з основних постачальників добрив на світовий ринок (рис. 4.3). У 2020 році Росія була основним світовим експортером сільськогосподарських

добрив із вартістю експорту приблизно в 7,6 мільярдів доларів США (або 12,1 % світової торгівлі добривами), за нею йшли Китай, Канада, Марокко, США та Білорусь із приблизно 6,99 мільярдами доларів США. (або 11,2 % світової торгівлі добривами), 5,49 мільярдів доларів США (або 8,77 % світової торгівлі добривами), 3,71 (або 3,39 від світової торгівлі добривами), 3,68 (або 3,56 від світової торгівлі добривами) і 2,96 (або 4,73 % світової торгівлі добривами) відповідно [101–103]. Провідні країни-імпортери добрив у всьому світі у 2020 році, виходячи з вартості, показано на рисунку 4.3. У 2020 році найбільшими імпортерами добрив були Бразилія (7,82 млрд доларів США або 12,5 % світової торгівлі добривами), Індія (6,5 мільярда доларів США або 10,4 %). % світової торгівлі добривами), США (5,34 млрд дол. США або 8,53 % світової торгівлі добривами), Китай (2,62 млрд дол. США або 4,18 % світової торгівлі добривами), Франція (1,83 млрд дол. США або 2,92 % світової торгівлі добривами) і Канадою (1,39 мільярда доларів США або 2,23 % світової торгівлі добривами) [101–103].

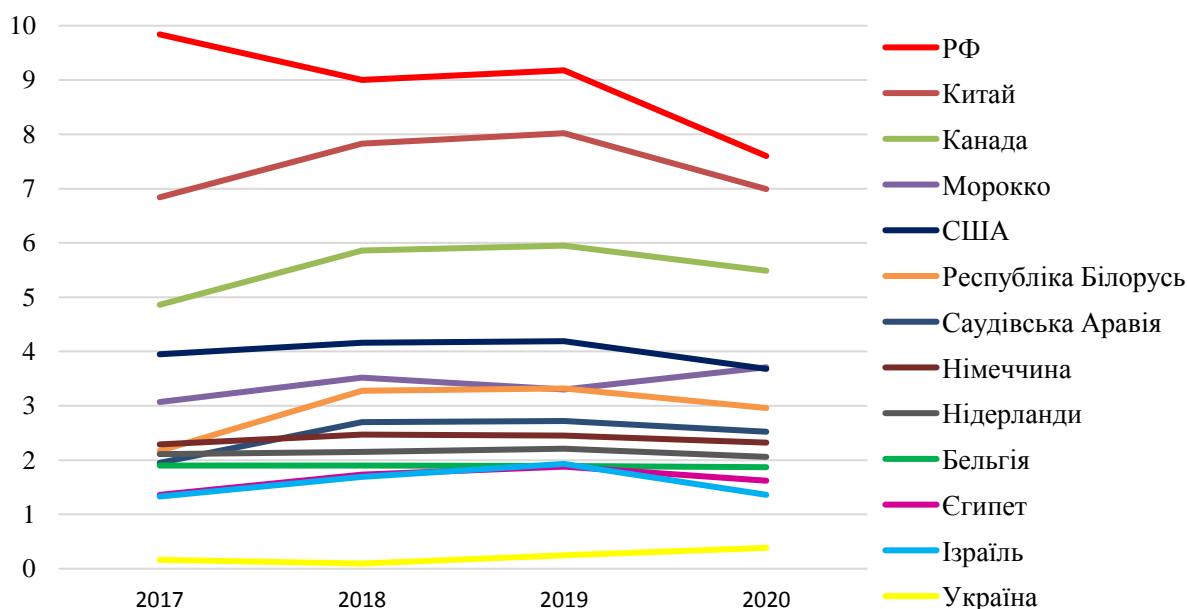


Рисунок 4.3 – Експорт добрив, в млрд доларів США (отримано на основі даних [102, 103])

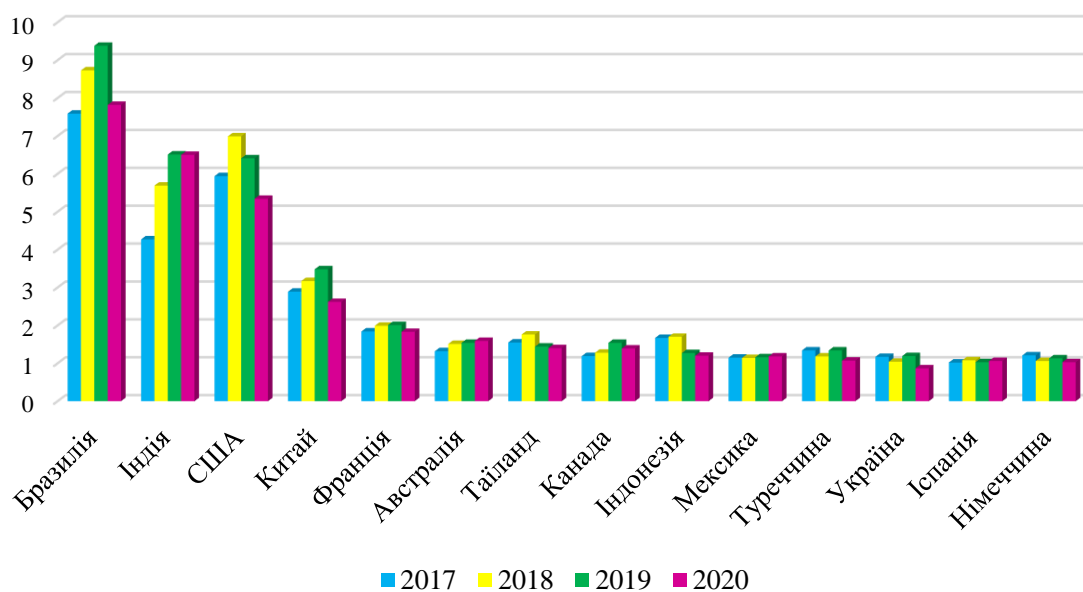


Рисунок 4.4 – Імпорт добрив, млрд доларів США (отримано на основі даних [102, 103])

У загальній структурі зовнішньої торгівлі України (без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях) за період 2017 - I квартал 2022 рр. добрива складають в середньому 0,5 % експортних операцій та 2 % імпорتنих операцій (за даними Державної служби статистики України [104]) (рис. 4.4). При цьому слід зазначити, що останні роки спостерігалася тенденція до зростання обсягів експортних операцій та певні коливання щодо обсягу імпорتنих операцій, що свідчить про недостатній рівень задоволення потреб вітчизняних споживачів даним видом товару. В той же час важливо зазначити, що існуючих потужностей для виробництва добрив в Україні для задоволення внутрішніх потреб та забезпечення потреб зростаючих зовнішніх ринків мінеральних добрив є достатньо. Але з початком відкритого воєнного нападу Росії за підтримки Білорусі на Україну 24.02.2022 р., що є частиною російсько-української війни, розв'язаної Росією 2014 р., виробництво добрив в Україні було призупинено. Це обумовлено наступними факторами:

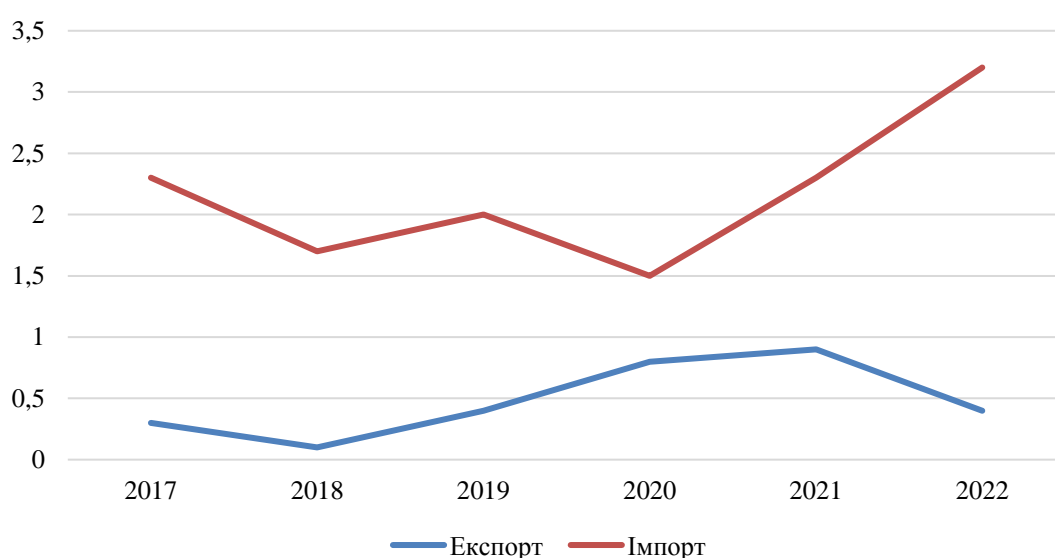
1) ризик обстрілу через близькість їх розміщення до зони бойових дій (ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання «Азот», ПАТ «Сумихімпром»,



АТ «Одеський припортовий завод») та ризик ракетного ураження виробничих потужностей (ПрАТ «Рівнеазот» OSTCHEM, ПрАТ «Азот», м. Черкаси), що становить загрозу для цивільного населення, оскільки такі заводи працюють із вибухонебезпечними та отруйними матеріалами;

2) зміна логістичних каналів поставки сировини та труднощі з сировиною для виготовлення продукції,

3) зростання собівартості виробництва продукції (в т.ч. обумовлені валютними ризиками).



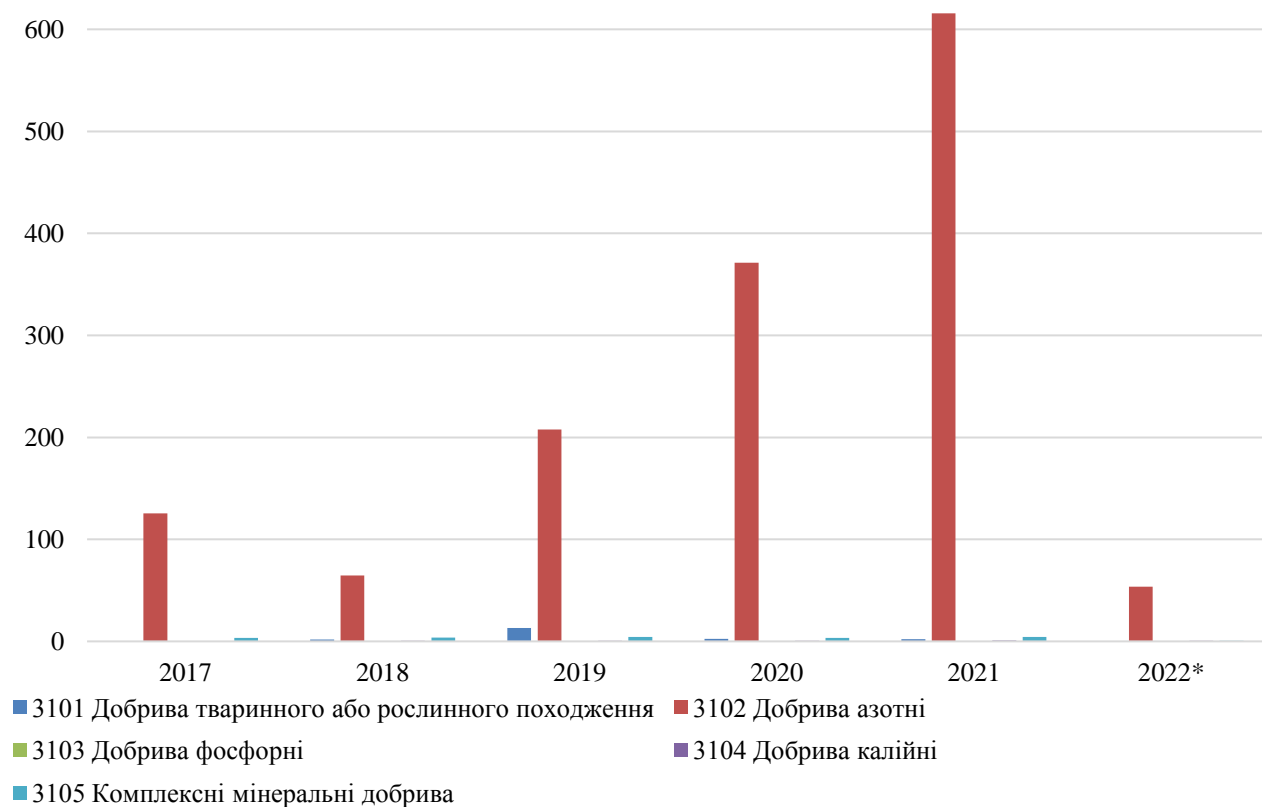
\* Січень-березень 2022

Рисунок 4.5 – Частка добрив<sup>1</sup> у товарній структурі зовнішньої торгівлі України, % від загального обсягу (розроблено авторами за базою даних Держстату України [104])

Для збереження внутрішнього ринкового балансу під час війни з 12 березня 2022 р. Україна запровадила заборону на експорт добрив. До цього майже 45 % українського експорту азотних добрив у 2021 році припадало на країни ЄС.

<sup>1</sup> На рисунку 4 наведено дані за всіма видами добрив (органічних та мінералиних добрив), що відповідають коду 31 за кодом товару та найменуванням за КТЗЕД

У загальній структурі експортно-імпортних операцій частки різних видів добрив значно коливаються (рис. 4.5). Так, у структурі експортних операцій України домінуючу роль відіграють азотні добрива, обсяг реалізації яких у вартісному вираженні мав стійку тенденцію до зростання (виключення 2018 р.), при збереженні (у випадку органічних добрив) та незначному нарощуванні обсягу продажів інших видів добрив. У 2018 р. спостерігалось скорочення обсягів експорту азотних добрив на 48,6 % порівняно з 2017 роком. Також виключення становив 2019 р., коли спостерігалось значне зростання обсягу реалізації органічних добрив – майже у 6,5 разів (з 2 до 13 млн дол.) (рис. 4.6).

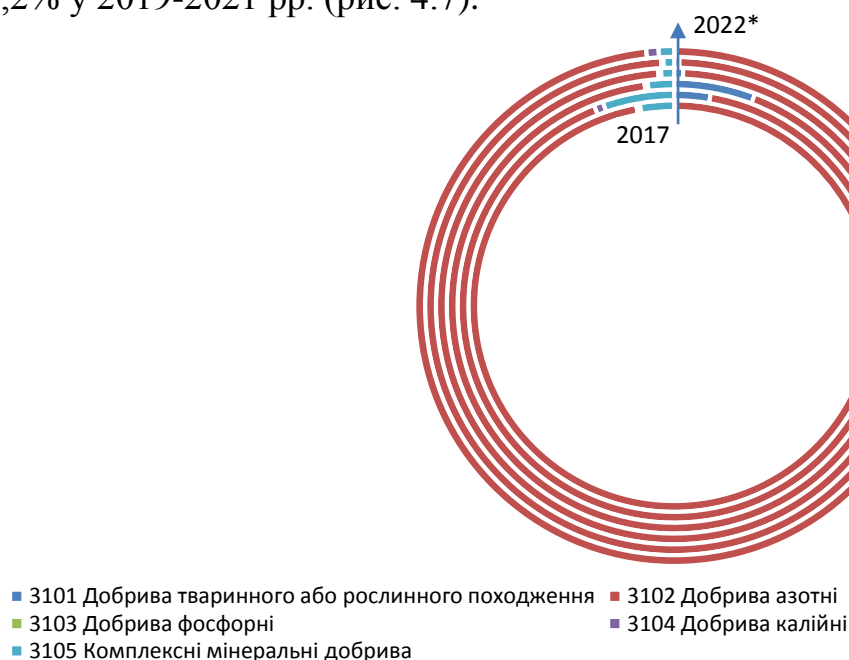


\*Станом на 28.02.2022

Рисунок 4.6 – Експорт мінеральних (хімічних) добрив (у млрд дол США)  
(розроблено за базою даних Держмитслужби України [105])

Протягом 2019–2022 рр. азотні добрива становили 98 % експорту добрив, в той час як органічні добрива 0,61 % у 2019 р. 2020 р. та 0,34 % у 2021 р. У 2019 р. частка органічних добрив в структурі експорту становила 5,8 %. Частка

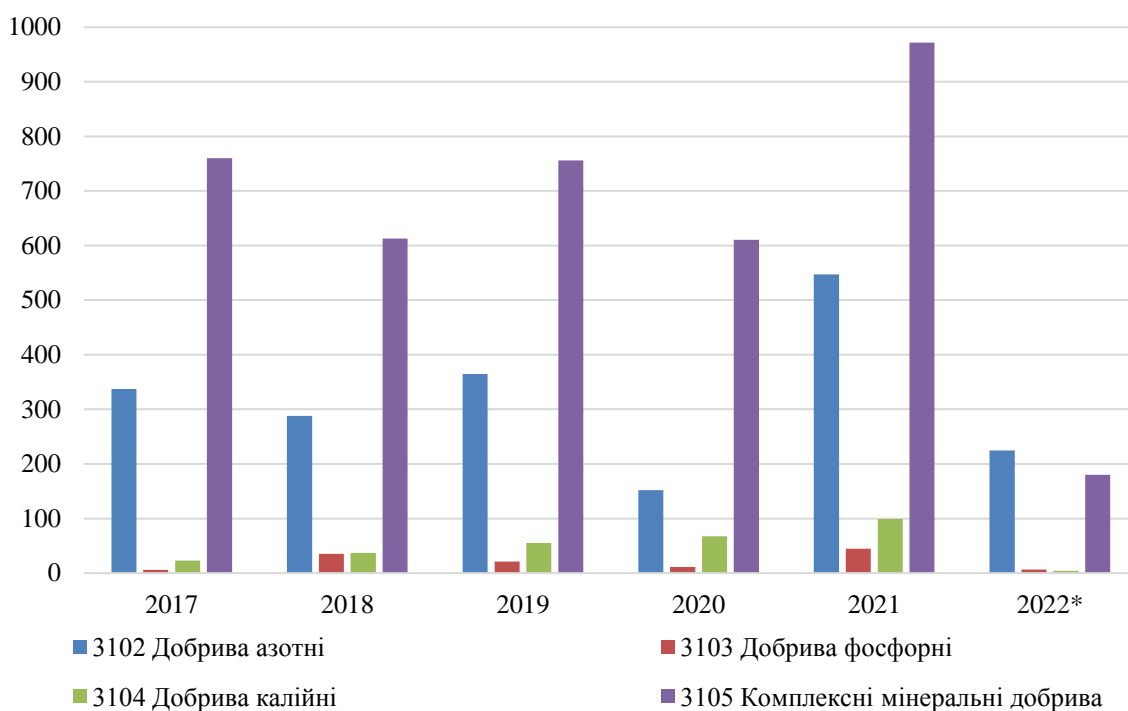
калійних добрив становила майже 0,3 % у 2017 р., 0,67 % 2018 р. та у близько 0,2% у 2019-2021 рр. (рис. 4.7).



\*Станом на 28.02.2022

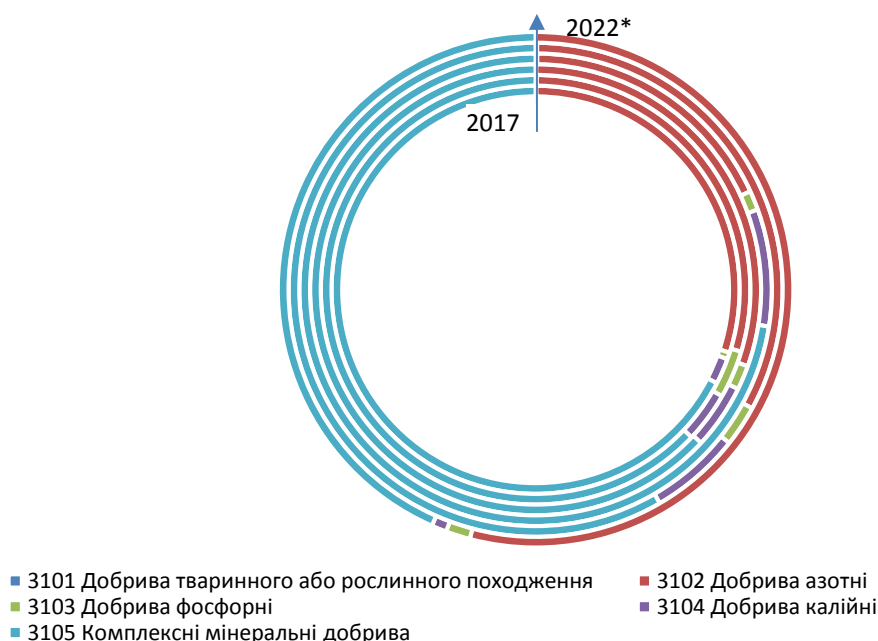
Рисунок 4.7 – Експорт добрив в Україні в 2017–2022 (у %) (розроблено за базою даних Держмитслужби України [105])

У структурі імпорتنих операцій України домінуючу позицію займали комплексні добрива (рис. 4.8), частка яких становила 67 % у 2017 р., 62 % у 2018 р., 63 % у 2019 р., 72,5% у 2020 р. та 58 % у 2021 р., а також азотні добрива, частка яких у 2021 р. становила 32,9% (рис. 4.9). Значне скорочення обсягів імпорту азотних добрив спостерігалось у 2018 р. – з майже 30 % у 2017-2019 рр. до 18 % у 2020 р. Постійні коливання обсягів імпорту є притаманними для фосфатних та калійних добрив (від 3,6 % у 2018 р. до 0,5 % у 2017 р. та від 8 % у 2020 р. до 2 % у 2017 р. відповідно).



\*Станом на 28.02.2022

Рисунок 4.8 – Імпорт мінеральних або хімічних добрив в Україну (млн. дол. США) (розроблено авторами за базою даних Державної митної служби України [105])



\*Станом на 28.02.2022

Рисунок 4.9 – Імпорт добрив в Україні в Fertilizers export pattern of Ukraine in 2017–2022 (у %) (розроблено за базою даних Держмитслужби України [105])

При цьому слід зазначити, що на всі види добрив є високий попит, що свідчить про високу місткість українського ринку добрив та значні ринкові можливості для виробників добрив. Про це свідчать показники зростання обсягу внесення мінеральних добрив на одиницю площі сільськогосподарських угідь на 42,3 % у 2021 р. порівняно з 2017 р. та зростання частки витрат на мінеральні добрива у структурі виробничої собівартості продукції (робіт, послуг) сільського господарства у підприємствах (Інформацію сформовано по підприємствах з основним видом діяльності: "Вирощування однорічних і дворічних культур", "Вирощування багаторічних культур", "Відтворення рослин", "Тваринництво", "Змішане сільське господарство", "Допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність" та "Виробництво м'яса свійської птиці" (коди 01.1 – 01.6 та 10.12 за КВЕД ДК 009:2010)) з 12,3 % (у 2017 р.) до 15 % (у 2019 р.). У 2020 р. вона становила 13,7 %. При цьому слід зазначити, що саме ця стаття витрат є найбільшою у структурі виробничої собівартості сільськогосподарської продукції [106].

У той же час, слід врахувати наступні стримуючими факторами розвитку виробництва мінеральних добрив. Природний газ – основна сировина для виробництва азотних добрив, у собівартості яких він займає майже 80 %. Різке підвищення ціни на газ вдарило не лише по українських виробниках, а й по європейських. В багатьох країнах скоротили, а в окремих і повністю зупинили виробництво мінеральних добрив. Внаслідок цього сформувався дефіцит добрив як на європейському, так і на світовому ринках.

Підсумовуючи все вище сказане, слід зазначити, що для уникнення харчової кризи у світі має відбутися нарощування виробництва зернових в Україні та в інших країнах світу за рахунок впровадження інноваційних технологій стійкого стільського господарства, спрямованих на підвищення родючості земель та врожайності культур при одночасному зменшенні обсягів викиду CO<sub>2</sub> та антропогенного навантаження на довкілля. Крім того, проведений аналіз свідчить, про високий попит на інноваційні види добрив, враховуючи кліматичні зміни та зростаючий дефіцит продуктів харчування. В

той же час, високий рівень конкуренції на ринку мінеральних добрив, а також враховуючи слабку сторону нових видів добрив – високу собіартість виробництва, слід особливу увагу приділити вибору маркетинговим стратегіям просування нового виду добрив на зовнішньому та внутрішньому ринках.

Загалом виділяють такі види маркетинговим стратегіям просування товару:

Стратерія 1 – інтенсивного маркетингу;

Стратерія 2 – вибіркового проникнення товару на ринок;

Стратерія 3 – широкого проникнення товару на ринок;

Стратерія 4 – пасивного маркетингу.

Вибір маркетингової стратегії просування нових видів добрив пропонується здійснювати за такими критеріями: конкурентне середовище, тип товару, бюджет просування товару, характеристики цільових груп споживачів.

Оцінку конкурентного середовища слід здійснювати за такими показниками: коефіцієнт ринкової концентрації ( $k$ ), індекс ринкової концентрації ( $I$ ) та потенціалу підприємства ( $C$ ) за формулами [107]:

$$k = \frac{V_{subst}}{V_{subst}^b} \quad (4.14)$$

де  $V_{subst}$  – обсяг реалізації товарів-субститутів, що задовольняють однакові потреби порівняно з досліджуваною інновацією;

$V_{subst}^b$  – обсяг реалізації товарів-субститутів найбільшими підприємствами-конкурентами;

$$I = \sum_{i=1}^n q_i^2$$

де  $q_i$  – часта ринку кожної  $i$ -го конкурента;

$$C = \frac{1}{2}(b + d) \cdot (a + c),$$

де  $a$  – маркетингова складова потенціалу;  $b$  – збутова складова потенціалу;  $c$  – виробнича складова потенціалу;  $d$  – фінансова складова потенціалу.

Рекомендований вибір стратегій за критерієм конкурентного середовища наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Рекомендації щодо вибору стратегій за критерієм конкурентного середовища (удосконалено автором на основі [107])

Показник	Рівень концентрації ринку	$300 \leq C < 700$	$C \geq 700$
$k \geq 70 \cup I > 2000$	Високий	3, 4	2, 3, 4
$45 \leq k < 70 \cup 1000 \leq I < 2000$	Помірний	2, 3, 4	1, 2, 3
$k < 45 \cup I < 1000$	Низький	1, 2, 3	

Критерій визнаення типу товару передбачає ґрунтується на показниках попиту відповідно до споживчих перевах, згідно з якими товари поділяються на товари повсякденного й попереднього попиту, особливого та пасивного попиту. Для товарів перших двох типів рекомендованими є стратегії 3 та 4, для інших двох типів – 1 та 2 стратегії. Зважаючи на специфіку досліджуваної інновації, її слід віднести до категорії товарів попереднього попиту, для яких рекомендованими є стратегії 3 та 4.

Розрахунки за критерієм бюджету просування товару слід здійснювати на основі показників витрат на просування на ринок одиниці досліджуваної інновації ( $ATC_i$ ) та витрат на просування одиниці товарів-субститутів в середньому по галузі ( $ATC_a$ ).

За критерієм бюджету просування товару для вибору маркетингових стратегій слід застосовувати наступну таблиці 4.6.

За характеристиками цільових груп споживачів вибір маркетингової стратегії слід здійснювати за співвідношенням кількості споживачів, що є новаторами ( $Q_{in}$ ) та послідовниками ( $Q_f$ ) (табл. 4.7).

Таблиця 4.6 – Рекомендації щодо вибору стратегій за критерієм бюджету просування товару

Показник	Стратегії
$ATC_i < ATC_a$	2, 4
$ATC_i \geq ATC_a$	1, 3

Таблиця 4.7 – Рекомендації щодо вибору стратегій за характеристиками цільових груп

Показник	Стратегії
$Q_{in} < Q_f$	1, 2
$Q_{in} \geq Q_f$	3, 4

Для ухвалення рішення за визначеними вище критеріями пропонується сформулювати матрицю рішень (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Матриця рішень (удосконалено авторами на основі [107])

Критерії оцінки	Стратегії			
	1	2	3	4
Конкурентне середовище		*	*	*
Тип товару			*	*
Бюджет просування товару <sup>1</sup>	*	*		
Характеристики цільових груп споживачів <sup>2</sup>	*	*		
Разом <sup>3</sup>	2	3	2	2

Відповідно до проведеного аналізу рекомендованою стратегією просування нових видів добрив на ринок є стратегія вибіркового проникнення товару на ринок.



## ВИСНОВКИ

1. Вирішення глобальної проблеми харчової безпеки у середньостроковій перспективі вбачається шляхом підвищення родючості земель та врожайності сільськогосподарських культур за рахунок впровадження інноваційних технологій стійкого сільського господарства, в т.ч. з урахуванням впливу кліматичних факторів та скорочення площі агроземель в Україні (окуповані території, територорії, де ведуться бойові дії, та визволені території, але засмічені залишками нездетонованої зброї).
2. Дослідження органічних модифікаторів для модифікування фосфатовмісного покриття касульованих органо-мінеральних добрив показали, що такі добавки як біочар і діатоміт мають відповідну нанопористу структуру і можуть бути застосовані як компоненти оболонки.
3. Мікроскопічні дослідження фосфоровмісного покриття капсульованого добрива показали, що воно має гомогенну структуру з рівномірним розподілом модифікатора по шару оболонки та нанопори для прологації дії азотного ядра гранули.
4. Застосування елементів парової грануляції при агломерації компонентів фосфоровмісного покриття дозволяє знизити вологість гранули майже на 50 % і, отже, забезпечити зниження енерговитрат при виробництві нового виду добрив.
5. За результатами агрохімічних досліджень ефективності перспективних гранульованих добрив на основі карбаміду та їх компонентів на проростках ярого ячменю визначено, що найбільш ефективним у збільшенні сухої ваги рослин виявився гранульований карбамід із фосфоритом і біочаром, з пластифікатором на основі 50 % карбаміду в кількості 186,75 мг/кг ґрунту.
6. В умовах біологічного досліду на ріст у розвиток ярого ячменю в ювенільній фазі виявлено ефективність фосфору і біочару гранульованих добрив. Роль біочару проявлялася в оптимізації накопичення фосфору в проростках ярого ячменю шляхом підвищення рухомості аніонів

ортофосфорної кислоти, а саме через його здатність до адсорбції та тимчасової нейтралізації катіонів  $\text{Ca}^{+2}$  в ризосфері коренів рослин.

7. Проведені розрахунки впровадження способу парової грануляції при одержанні капсульованих органо-мінеральних добрив показують, що зниження потреби в природному газі дозволяє зменшити концентрації парникових газів у викидах технологічних ліній виробництва добрив на 88 %.
8. Проведені розрахунки показників оцінки відповідності нового виду добрива інтересам споживачів ( $O_1$ ), виробників ( $O_2$ ) та суспільних і державних інститутів ( $O_3$ ), які склали:  $O_1=3,84$ ;  $O_2=3,9$ ;  $O_3=3,91$ ; ступеню достовірності оцінок відповідності нового виду добрива інтересам суб'єктів ринку – виробнику ( $\delta_1$ ), споживачу ( $\delta_2$ ), державі та суспільству ( $\delta_3$ ), розрахованому за формулою стандартного відхилення, що становить відповідно  $\delta_1=0,072$ ;  $\delta_2=0,17$ ;  $\delta_3=0,103$ , з урахуванням показників ступеня достовірності оцінок; інтегральної оцінки відповідності нового екологічного добрива інтересам усіх суб'єктів ринку, яка склала  $3,88 \pm 0,115$ , що відповідає високому рівню задоволення інтересам усіх суб'єктів ринку, свідчать про прийнятність виробництва та виведення на ринок нового виду добрива.
9. Запровадження нового виду добрива у сферу виробництва та споживання сприятиме зростанню безпеки не лише виробника та споживача, а й сприятиме підвищенню рівня національної безпеки, глобальної конкурентоспроможності країни, інклюзивному та «зеленому» зростанню економіки, прискоренню досягнення Цілей сталого розвитку та кліматичної нейтральності.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Kotenko O., Domashenko M., Shkola V. (2019) Production costs decreasing by introduction of energy-efficient technologies within the enterprise's counter-crisis management strategy. *The International Journal of Ecological Economics and Statistics* 40 (3): 88–97.  
<http://www.ceser.in/ceserp/index.php/ijeec/article/view/6232>
2. Kovtunenکو K., Kovtunenکو Y., Shatskova L., Yatsenko M. (2019a) Management mechanism as an independent element of the food industry enterprise innovative activity expenditures management system. *Journal of Hygienic Engineering and Design* 28: 73–80.
3. Kovtunenکو K., Filippova S., Poberezhets O., Kovtunenکو Yu., Stepanchenko A. (2019b) Adaptation of the logistics system of food industry enterprises in conditions diversification of activities. *Journal of Hygienic Engineering and Design* 27: 108–113.
4. Kurbatova T., Sidortsov R. (2022) Trash to Hryvnia: The economics of electricity generation from landfill gas in Ukraine. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 33: 53–64. <http://doi.org/10.5278/ijsepm.6707>.
5. Prokopenko O., Omelyanenko V., Klisinski J. (2018) Innovation Policy Development Conceptual Framework for National Resource Security Providing. *Journal of Environmental Management and Tourism* 9 (5): 1099–1107.  
[https://doi.org/10.14505/jemt.v9.5\(29\).23](https://doi.org/10.14505/jemt.v9.5(29).23).
6. Prokopenko O., Chechel A., Sotnyk I., Omelyanenko V., Kurbatova T., Nych T. (2021) Improving state support schemes for the sustainable development of renewable energy in Ukraine. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* 24 (1): 85–100.
7. Trypolska G., Kurbatova T., Prokopenko O., Howaniec H., Klapkiv Yu. (2022) Wind and Solar Power Plant End-of-Life Equipment: Prospects for Management in Ukraine. *Energies* 15 (5): 1662. <https://doi.org/10.3390/en15051662>.

8. European Commission (2019, 11 December). The European Green Deal. <https://eur-lex.europa.eu>. Accessed 20 November 2021.
9. Brown A., Hinsley S. (2019). Compatible sustainable development goals. *Lancet planetary health*. Vol. 3. Issue 8: E340–E340.
10. Crisp L. N. (2016). *One World Health: An Overview of Global Health* (1st ed.). CRC Press.
11. Friedrich M. J. (2016) Sustainable Development Goals Launched. *JAMA*. 315(7): 647. doi:10.1001/jama.2016.0608.
12. Reinert K. (2020) From Sustainable Development Goals to Basic Development Goals. *Ethics & International Affairs*, 34(2): 125–137. doi:10.1017/S0892679420000180.
13. Sachs J. D. (2012) From Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals. *LANCET*. Vol. 379. Issue 9832: 2206–2211. doi:10.1016/S0140-6736(12)60685-0.
14. Prokopenko O., Toktosunova C., Sharsheeva N., Zablotska R., Mazurenko V., Halaz L. (2021) Prospects for the Reorientation of Investment Flows for Sustainable Development under the Influence of the COVID-19 Pandemic [Perspektywy reorientacji przepływów inwestycyjnych na rzecz zrównoważonego rozwoju w warunkach pandemii covid-19]. *Problemy Ekorozwoju*, 16(2): 7–17.
15. Grieco B., Palou-Rivera I. (2020) Advanced Manufacturing Progress: Achieving Sustainable Development Goals. *Chemical engineering progress*. Vol. 116. Issue 4: 40.
16. Miryuk O. (2019) Porous formation process of granules from man-triggered raw materials. *E3S Web of Conferences*, 97: 02025.
17. Viktorov S.D., Frantov A.E., Lapikov I.N., Andreev V.V., Starshinov A.V. (2016) Effect of the microstructure of ammonium nitrate granules on the detonability of composite propellants based on it. *Combustion, Explosion, and Shock Waves* 52(6): 727–731.

18. Buczkowski D., Zygmunt B. (2011) Detonation properties of mixtures of ammonium nitrate-based fertilizers and fuels. *Central European Journal of Energetic Materials* 8(2): 99–106.
19. Cole J.C., Smith M.W., Penn C.J., Cheary B.S., Conaghan K.J. (2016) Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. *Scientia Horticulturae* 211: 420-430. doi: 10.1016/j.scienta.2016.09.028.
20. Jasinskas A., Pekarskas J., Kucinskas V., Aboltins, A. (2016) Investigation of natural magnesium mineral fertilizer granulation and determination of granule qualitative indicators. In *Engineering for Rural Development 2016, Proceedings of the 15th International Scientific Conference Proceedings, Jelgava, Latvia, 25–27 May 2016*; ASU Publishing Center: Akaemija, Lithuania: 647–652.
21. Qiao M.J., Huang T.H., Jiang J.Y., Fu Y.L. (2016) Release characteristics and effects on eucalyptus tree growth of fertilizer from wood residue slow-release fertilizer shell. *Wood and Fiber Science* 48(4): 217–227. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2570/2325>. Accessed 02 April 2022.
22. Xiaoyu N., Yuejin W., Zhengyan W., Lin W., Guannan Q., Lixiang Y. (2013) A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. *Biosyst. Eng.* 115: 274–282. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.04.001.
23. Zinkevičienė R., Jotautienė E., Juostas A., Comparetti A., Vaiciukevičius E. (2021) Simulation of Granular Organic Fertilizer Application by Centrifugal Spreader. *Agronomy* 11(2): 247. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020247>.
24. Gil-Ortiz R., Naranjo M.Á., Ruiz-Navarro A., Atares S., García C., Zotarelli L., San Bautista A., Vicente O. (2020) Enhanced Agronomic Efficiency Using a New Controlled-Released, Polymeric-Coated Nitrogen Fertilizer in Rice. *Plants* 9: 1183. doi: 10.3390/plants9091183.

25. Savci S. (2012) Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. APCBEE Procedia 1: 287–292. doi: 10.1016/j.apcbee.2012.03.047.
26. Tomaszewska M, Jarosiewicz A (2002). Use of polysulfone in controlled-release NPK fertilizer formulations. J Agric Food Chem 50(16): 4634-9. doi: 10.1021/jf0116808. PMID: 12137488.
27. Irfan SA, Razali R, KuShaari K, Mansor N, Azeem B, Ford Versypt AN (2018) A review of mathematical modeling and simulation of controlled-release fertilizers. J Control Release. 2018 Feb 10;271: 45–54. doi: 10.1016/j.jconrel.2017.12.017. Epub 2017 Dec 22. PMID: 29274697
28. Lawrencia D., Wong S. K., Low D. Y. S., Goh B.H., Goh J.K., Ruktanonchai U.R., Soottitantawat A., Lee L. H., Tang S. Y. (2021) Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release. Plants (Basel) 10(2): 238. doi: 10.3390/plants10020238
29. Wang Y., Liu M., Ni B., Xie L. (2012).  $\kappa$ -Carrageenan–sodium alginate beads and superabsorbent coated nitrogen fertilizer with slow-release, water-retention, and anticompression properties. Industrial & Engineering Chemistry Research. 51: 1413–1422. doi: 10.1021/ie2020526.
30. Патент України на корисну модель 82883, МПК C05F 11/02. Бюл. № 16 від 27.08.2013.
31. Процес формування нових екологічно безпечних добрив пролонгованої дії на основі сировини фосфоритових родовищ. Розробка та створення дослідного устаткування вузла капсулювання, проведення випробувань (2020): звіт про НДР (проміжний) / кер. Г. О. Яновська. Суми : СумДУ. 78 с.
32. Процес формування нових екологічно безпечних добрив пролонгованої дії на основі сировини фосфоритових родовищ. Визначення кількісного складу фосфатовмісного покриття і пластифікатора. Розробка основ технології капсулювання азотних мінеральних добрив на грануляторах окатування з одержанням складних добрив, проведення випробувань (2021): звіт про НДР (проміжний) / кер. Г. О. Яновська. Суми : СумДУ. 128 с. № 0120U102003.

33. Чжэнчжоу. Jieheng Machinery Equipment Co., Ltd. Интернет-ресурс: <http://china-ukraine.info/>.
34. Marrero, T. (2020) Influence of particle size on Biochar porosity. Wakefieldbiochar.com.
35. Косоруков П. А. (2011) Исследование минерального состава и основных характеристик сапонита Варваровского месторождения/ Энерготехнологии и ресурсосбережение №3., С.138-142.
36. Співак В. В., Астрелін І. М., Толстопалова Н. М., Атаманюк І. В. Регулювання фізико-хімічних та адсорбційних властивостей українських сапонінів/Доповіді Національної академії наук України, 2012, № 10 с.142-147.
37. Yanovska, A., Artyukhov, A., Vakal, S. et al. (2022) Encapsulated organic–mineral fertilizers with nanoporous structure. Appl Nanosci 12, 1275–1283. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01893-6>.
38. Vakal, S., Vakal, V., Artyukhov, A. et al. (2022) Granulated organo-mineral fertilizers: the process of formation and investigation of porous phosphate-diatomite shell. Appl Nanosci. <https://doi.org/10.1007/s13204-022-02718-w>.
39. Encyclopedia of Soil Science / Ed. Rattan Lal, 2006, <https://infoindustria.com.ua/udobreniya-bez-pyili/>.
40. Мальчевський І. А., Беспалова С. А. (2017) Перспективні науково-технічні розробки. Випуск «Інформаційно-сенсорні системи та прилади. Київ: Академперіодика. 61 с.
41. Calculator TRL AFRL Version 2.2 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://p0.storage.canalblog.com/06/32/447324/60486844.xls>.
42. Криворученко В. С., Дмитренко І. П. (2015) Калькулятор готовності технологій (TR). Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. №7-4. С. 33–44.
43. Artyukhov A.Y., Omelyanenko V.A., Artyukhova N.O. (2016) Strategic framework and methodical bases of technological package development management. Marketing and Management of Innovations. Vol. 3. P. 170–179.

44. Artyukhov A.E., Omelyanenko V.A., Sklabinsky V.I. (2015) Integrated marketing application in development and technologies transfer in university (case of chemical industry). Modern trends in the intensive development of public relations and actual methods of their effective regulation: Peer reviewed materials digest published following the results of CVII International Research and Practice Conference (London, August 26-31, 2015). London : IASHE P. 18–21.
45. Artyukhov A.E., Omelyanenko V.A. (2017) Technology transfer and its internationalization within the university development strategy / International economic relations and sustainable development. Ruda Śląska : Drukarnia i Studio Graficzne Omnidium. P. 244–252.]
46. <https://portal.nyserda.ny.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=00Pt000000ASeCMEA1>
47. Wang C. (2015). Explaining Connotation of Regional Green Transition. Proceedings of the 2015 International conference on industrial technology and management science (ITMS 2015), 34, pp. 1203-1205. DOI:10.2991/itms-15.2015.295.
48. Sutherland L.A., Darnhofer I, Wilson G.A., Zagata L. (2015). Transition Pathways towards Sustainability in Agriculture: Case Studies from Europe. CABI Publishing. DOI: 10.1079/9781780642192.0000.
49. Jianbo Shen, Qichao ZHU, Xiaoqiang JIAO, Hao YING, Hongliang WANG, Xin WEN, Wen XU, Tingyu LI, Wenfeng CONG, Xuejun LIU, Yong HOU, Zhenling CUI, Oene OENEMA, William J. DAVIES, Fusuo ZHANG. Agriculture Green Development: a model for China and the world[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2020, 7(1): 5-13. [10.15302/J-FASE-2019300](https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019300).
50. European Commission. (2021). (2019, 11 December) The European Green Deal. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>.
51. European Commission. (2021, 14 July). Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions 'Fit for 55': delivering the EU's 2030



- Climate Target on the way to climate neutrality. COM/2021/550 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>
52. World Economic Forum. (2021). The Global Risks Report 2021. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2021>
53. European Environment Agency (2021, 13 Apr.). EEA greenhouse gases - data viewer. Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
54. UNFCCC (2021). National Inventory Submissions 2021. URL: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>
55. UNFCCC (2021, 15 Apr.). Ukraine. 2021 Common Reporting Format (CRF) Table. <https://unfccc.int/documents/273456>.
56. Державна служба статистики України (2021). Внесення мінеральних та органічних добрив (1919-2020). <http://www.ukrstat.gov.ua>
57. Наказ КМУ "Затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року" від 03.03.2021 №179. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-п#Text>
58. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів (2021, 21 січня). Проект Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. URL: [https://mepr.gov.ua/files/images/news\\_2020/02032020/Концепція%20зеленого%20енергетичного%20переходу.pdf](https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020/02032020/Концепція%20зеленого%20енергетичного%20переходу.pdf).
59. Artyukhov A., Vakal S., Shkola V., Vakal V., Yanovska A. (2021) Obtaining of the Novel Organo-Mineral Fertilizers in Pan Granulators: Technological Fundamentals. In: Ivanov V., Pavlenko I., Liaposhchenko O., Machado J., Edl M. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp. 207–217 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1_21) URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77823-1\\_21](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77823-1_21).

60. Shkola, V., Prokopenko, O., Stoyka, A., Nersesov, V., Sapiński, A. (2021). Green project assessment within the advanced innovative development concept. *Estudios de Economía Aplicada*, 39(5). <http://dx.doi.org/10.25115/eea.v39i5.5135>.
61. Vakal S, Yanovska A, Vakal V, Artyukhov A, Shkola V, Yarova T, Dmitrikov V, Krmela J, Malovanyy M (2021) Minimization of Soil Pollution as a Result of the Use of Encapsulated Mineral Fertilizers *Journal of Ecological Engineering* 22(1): 221-230. <https://doi.org/10.12911/22998993/128965>.
62. Kurbatova T., Skibina T. (2019). Renewable energy policy in Ukraine's household sector: measures, outcomes, and challenges. *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems*, Kremenchuk, September 23 – 25, pp. 234-237. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896399>.
63. Kurbatova T., Sotnyk I., Kubatko O., Baranchenko Ye., Arakpogun E., Roubik H. (2020) State support policy for renewable energy development in emerging economies: the case of Ukraine. *International Journal of Global Environmental Issues*, № 19 (1-3), 26–52 <https://doi.org/10.1504/IJGENVI.2020.114864>.
64. Trypolska G., Kruvda O., Kurbatova T., Andrushchenko O., Suleymanov C., Brydun Ye. (2021). Impact of new renewable energy capacities on employment in Ukraine in 2021-2030. *International Journal of Energy Economics and Policy*, № 11(6), 98-105. <https://doi.org/10.32479/ijeep.1163>.
65. Земельний довідник України: 2020 інфографічний довідник. 16.06.2021. URL: [https://agropolit.com/storage/2020/Zemelnyy\\_dovidnyk\\_2020.pdf?utm\\_source=mailchimp&utm\\_campaign=0300ccc2e1f0&utm\\_medium=page](https://agropolit.com/storage/2020/Zemelnyy_dovidnyk_2020.pdf?utm_source=mailchimp&utm_campaign=0300ccc2e1f0&utm_medium=page).
66. Сільське господарство України: Статистичний збірник за 2019 р. / Відп. За випуск О.Прокопенко. К.: Державна служба статистики України, 2020.
67. Shkola, V.Y., Domashenko, M.D., Kuchmiyov A.V., Novak K.S. (2016) Fundamentals of the Ukrainian land fund management. *Marketing and Management of Innovations*, 2: 235-345.
68. The World Bank (2018a). Agricultural land (sq. km).

69. The World Bank (2018b). Agricultural land (% of land area).  
[https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS?end=2018&name\\_desc=true&start=2013](https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS?end=2018&name_desc=true&start=2013)
70. The World Bank (2018c). Land area (sq. km).
71. Мальований А. Україна почала жити в борг у природи. *Ukrinform.ua*. 2021.
72. Domashenko M., Shkola V.Y., Kuchmiyov A., Kotenko O. (2017). Innovative marketing strategies to provide ecological safety at regional and global levels. *Marketing and Management of Innovations*. 4. P. 367-373.
73. The State of Food Insecurity in the World. 2013 [Electronic Resource] / FAO. – Access mode: <http://www.fao.org>.
74. Прокопенко О.В. Екологізація інноваційної діяльності: мотиваційний підхід. Суми: Університетська книга, 2008. 392 с.
75. Кучмійов А. В. Управління екологічною безпекою економічних систем на засадах маркетингу: дисерт. ... канд. економ. наук: 08.00.06. Сумський державний університет. Суми, 2014. 255 с.
76. Prokopenko, O. V., Shkola, V. Yu. Controlling of the ecological and economic enterprise security on the bases of ecomarketing. *Marketing and Management of Innovations*. 2012. Issue 4. Page 337-346  
<http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/en/journals/2012/4/337-346>.
77. Vakal S, Vakal V, Artyukhov A, Shkola V, Yanovska A (2022) New method for obtaining “green” encapsulated fertilizers with nanoporous structure within the concept of sustainable development. *Clean Technologies and Environmental Policy*.
78. Ілляшенко С.М. Маркетингова товарна політика. Суми: ВТД „Університетська книга”, 2005. 234 с.
79. Гаркавенко С. С. (2006) Маркетинг. Підручник. 4-те вид. доп. Київ: Лібра,. 720 с.
80. Кардаш В.Я. Маркетингова товарна політика. К.: КНЕУ, 2001. 240 с.
81. Крикавський Є, Чухрай Н. Промисловий маркетинг і логістика. Львів: ДУ „Львівська політехніка”, 1998. 307 с.

82. Левицька А. О. Методи оцінки конкурентоспроможності підприємства: вітчизняні та закордонні підходи. *Механізм регулювання економіки*. 2013. №4. С. 155–162. 52.
83. Николайчук В.Е., Белявцев М. М. Промышленный маркетинг. Донецк: ООО ПКФ «БАО», 2004. 384 с.
84. Пилипчук В.П., Оснач О. Ф., Коваленко Л. П. Промисловий маркетинг. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 298 с.
85. Святненко В.Ю. Промисловий маркетинг. К.: МАУП, 2001. 264с.
86. Фасхиев Х.А. Оценка конкурентоспособности новой техники. *Маркетинг*. 1998. №6. С. 25-35.
87. Шканова О.М. Маркетингова товарна політика. К.: МАУП, 2003. 160с.
88. Баранчеев В., Стрижов С. [Анализ](#) и оценка маркетингового потенциала предприятия. *Маркетинг*. 1996. №5. С.42-50
89. Патрушева Е. [Методика](#) оценки состояния маркетинга на предприятиях. *Маркетинг*. 2002 . №1. С.80-85.
90. FSIN (05.04.2022). Global Report on Food Crisis 2022. <https://reliefweb.int/report/world/global-report-food-crises-2022>
91. USDA (May 2022). Grain: World Markets and Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>
92. USDA (12.05.2022). World Oats Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
93. USDA (12.05.2022). World Barley Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
94. USDA (12.05.2022). World Corn Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
95. USDA (12.05.2022). World Rice Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
96. USDA (12.05.2022). World Wheat, Flour, and Products Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>

97. USDA (12.05.2022). World Rye Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
98. USDA (12.05.2022). World Coarse Grain Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
99. USDA (12.05.2022). World Sorghum Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
100. Ланда В. (24 травня 2022). Площа окупованої України, втрати російської техніки та 17 діб столичних тривог. Вісім фактів про три місяці війни від Forbes. Інфографіка. Forbes. <https://forbes.ua/inside/ploshcha-okupovanoi-ukraini-vtrati-rosiyskoi-tekhniki-ta-17-dib-stolichnikh-trivog-10-faktiv-pro-tri-misyatsi-viyeni-vid-forbes-infografika-24052022-6167>.
101. Fernández Lucía (Nov 25, 2021). Agricultural chemical industry - statistics & facts. [https://www.statista.com/topics/3062/agricultural-chemical-industry/#topicHeader\\_wrapper](https://www.statista.com/topics/3062/agricultural-chemical-industry/#topicHeader_wrapper)
102. Simoes AJG, Hidalgo CA (2011) The Economic Complexity Observatory: An Analytical Tool for Understanding the Dynamics of Economic Development. Workshops at the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence.
103. OEC (2022). Fertilizers 31 (harmonized system 1992 for 2-Digit). <https://oec.world/en/profile/hs/fertilizers?yearSelector1=tradeYear1>
104. State statistics service of Ukraine. Commodity pattern of foreign trade of Ukraine. <http://www.ukrstat.gov.ua> (05.20.2022)
105. State Customs Service of Ukraine (Last updated 02.28.2022) Foreign trade indicators of Ukraine. <https://bi.customs.gov.ua/en/trade/value-of-goods-hs-code>
106. Verner I. (Ed.) (2021). Statistical Yearbook of Ukraine for 2020. Kyiv, State Statistics Service of Ukraine. [http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2021/zb/11/Yearbook\\_2020\\_e.pdf](http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/11/Yearbook_2020_e.pdf).
107. Карпіщенко М.Ю. Управління стратегіями просування інновацій на ринок. Маркетинг інновацій і інновації в маркетингу: [монографія]; за ред. д.е.н., проф. С.М. Ілляшенка. – Суми : ВТД „Університетська книга”, 2008. – С. 259–272.