

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

## **П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

### **Обґрунтування параметрів та режимів роботи шнекового дозатора при внесенні компостів на ягідниках**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІз-1-23  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Бейгул Всеволод Олегович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Пугач Андрій Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ \_\_\_\_\_.

(назва кафедри)

доцент \_\_\_\_\_.

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бейгулу Всеволоду Олеговичу \_\_\_\_\_.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування параметрів та режимів роботи шнекового дозатора при внесенні компотів на ягідниках

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«11» листопада 2024 року № 3769

2. **Строк подання студентом роботи** 13.12.2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень 2. Теоретичні дослідження 3. Програма і методика досліджень 3. Результати досліджень 4. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях 5. Економічна ефективність. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. **Перелік демонстраційного матеріалу**

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 19.04.2024 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 21.06.2024 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 13.09.2024 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 08.11.2024 р.	Виконав
5	Економічний	до 15.11.2024 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 13.12.2024 р.	Виконав

Студент

\_\_\_\_\_.  
( підпис )

\_\_\_\_\_.  
( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_.  
( підпис )

\_\_\_\_\_.  
( прізвище та ініціали )

<i>фрм</i>	<i>зона</i>	<i>Поз.</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
A4		1	52.ДР.005.000000.ПЗ	Пояснювальна записка		
				Графічні матеріали		
		2	52.ДР.005.000002	Мета і задачі дослідж.		
		3	52.ДР.005.000003	Існуючі конструкції		
		4	52.ДР.005.000004	Теоретичні дослідження		
		5	52.ДР.005.000005	Програма досліджень		
		6	52.ДР.005.000006	Результати досліджень		
		7	52.ДР.005.000007	Економічні показники		
		8	52.ДР.005.000008	Висновки		

					52.ДР.005.000000.ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розроб.</i>		Бейгул В.О.			<i>Відомість дипломної роботи</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Пугач А.М.						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		Теслюк Г.В.						
<i>Затверд.</i>		Теслюк Г.В.						
						ДДАЕУ		4

## РЕФЕРАТ

Бейгул В.О. Обґрунтуванням параметрів та режимів роботи шнекового дозатора при внесенні компостів на ягідниках / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

**У першому розділі** представлено аналіз сучасних технологічних процесів.

**У другому розділі** проведено теоретичні дослідження.

**У третьому розділі** представлено програму, методику експериментальних досліджень та результати досліджень

**У четвертому розділі** приведено результати експериментальних досліджень

**У п'ятому розділі** приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

**У шостому розділі** приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

**Ключові слова:** дозатор шнековий, внесення компосту, ягідник, органічні добрива, дозування компонентів.

Beihul V. Analisis of the design of dispensers for dry materials / V. Beihul // The 5<sup>th</sup> International scientific and practical conference «Scientific achievements of contemporary society» (5-7,2024), London, United kingdom

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Технологія вирощування лохини.....	10
1.2 Загальна характеристика та властивості торфу .....	12
1.3 Аналіз конструкцій дозаторів сипких матеріалів.....	13
1.4 Огляд досліджень з внесення компостів.....	14
Висновки.....	17
2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАШИНИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ КОМПОСТІВ ПІД ПОСАДКУ ЛОХИНИ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ.....	19
2.1 Технологія локального внесення компостів під посадку лохини.....	19
2.2 Дослідження потужності, яка затрачається на привід шнекового дозатора.....	21
2.3 Дослідження продуктивності шнекового дозатора.....	24
Висновки.....	30
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ...31	
3.1 Програма і загальна методика експериментальних досліджень.....	31
3.2 Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення досліджень.....	31
3.3 Методика визначення вологості компостів на основі торфу .....	34
3.4 Методика визначення коефіцієнта зовнішнього тертя компостів на основі торфу.....	34
3.5 Методика визначення насипної компостів на основі торфу.....	35
3.6 Результати дослідження насипної щільності компостів.....	36
3.7 Коефіцієнт зовнішнього тертя.....	36
Висновки.....	37
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ТА	

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБКИ.....	39
4.1 Методика проведення багатofакторного експерименту.....	39
4.2 Результати дослідження з використанням математичного методу планування експерименту.....	43
Висновки .....	45
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	46
Висновки.....	51
6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА.....	52
Висновки.....	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ .....	59

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Вибір агротехніки вирощування лохини гарантує нормальний ріст, і стабільне її плодоношення. У Америці лохина вважається однією із найперспективніших культур для промислового вирощування на непридатних для сільського господарства ділянках, а у Канаді вона за популярністю змагається навіть із кращими сортами смородини.

Компости які вносяться під посадку лохини повинні мати кислу реакцію, у Торф для виготовлення компостів під посадку лохини необхідно брати верховий із кислотністю рН не вище 4,0.

**Мета роботи** – дослідження процесу внесення компостів під посадку лохини та обґрунтування параметрів шнекового дозатора.

**Завдання роботи.** Проаналізувати технології посадки лохини та конструкції машин для внесення твердих добрив; дослідити процес внесення компостів шнековим дозатором у канави попередньо утворені які попередньо утворенні канавокопачем; визначити фізико-механічні властивості компостів на основі верхового торфу; розробити функціональну схему машини для локального компостів під посадку лохини та конструкцію шнекового дозатора; провести дослідження процесу дозування компостів на основі верхового торфу на дослідній установці.

**Об'єкт досліджень** - робочий процес дозування компостів на основі верхового торфу.

**Предмет дослідження** - залежність показників якості дозування компостів на основі верхового торфу від конструктивно-технологічних параметрів дозатора та фізико-механічних властивостей компостів на основі верхового торфу.

**Методи досліджень.** Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів механіки суцільного середовища, класичної механіки, числового розв'язку задач з використанням програми Mathcad 15. Лабораторні дослідження проводились за галузевими та розробленими методиками. Багатофакторний експеримент проводили із використанням симетричного не композиційного



плану Бокса-Бенкена.

**Науково-технічна новизна.** Вперше досліджено ряд фізико-механічних властивостей компостів на основі верхового торфу та показано вплив цих властивостей на процес дозування; досліджено процес дозування компостів на основі верхового торфу та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри шнекового дозатора. Розроблена функціональна схема машину для локального внесення компостів на основі верхового торфу та складальне креслення шнекового дозатора.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблена конструкцію шнекового дозатора для дозування компостів на основі верхового торфу та визначено раціональні його параметри. За результатами багатофакторного експерименту виведені регресійні залежності, які дають змогу оцінити вплив висоти компостів у бункері частоти обертання вала шнека, та вологості компостів на точність дозування.

# 1. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Технологія вирощування лохини

Лохина являється багаторічним чагарником, що має добре розвинену кореневу систему, яка знаходиться у шарі 30-40 см. Коренева система пристосована до росту у перезволоженому субстраті з високим вмістом органічної речовини. Лохина мають 15-18 паростків, які відходять від кореневої шийки.

Коренева система лохини мичкувата (рис. 1.1), та розташовується у верхньому шарі ґрунту та не має корневих волосків. Рослина живиться за допомогою ендотрофної мікоризи - гриба, із яким співмешкають коріння. Коріння розпочинають рости навесні, коли температура ґрунту прогріється до 5°C.



Рисунок 1.1- Загальний вигляд кореневої системи лохини

Цвіте лохина (рисунок 1.2.) в травні. Гроноподібні суцвіття розташовані на кінцях пагонів. Квітка дзвоникоподібна, з 4-5 відігнутими зубцями, біла або злегка рожева.



Рисунок 1.2 - Цвітіння лохини

Плід - ягода з великою кількістю насіння, для розвитку якої потрібно від 2 до 3 місяців. Розміри ягоди лохини залежить від сорту та розташування у гроні. Забарвлення плодів блакитне із сизим нальотом. За формою ягоди округлі, сплюснуті.



Рисунок 1.3- Плоди лохини

Кращими сортами для України являються: “Блюкроп” (Bluecrop), “Блюголд” (Blue Gold), “Блюджей” (Bluejay), “Чандлер” (Chandler), “Еліот” (Eliot), “Патріот” (Patriot), “Спартан” (Spartan), “Дюк” (Duke), “Торо” (Toro).

Ґрунт для лохини має бути добре дренований і мати кислу реакцію, у зв'язку з чим посадкові ями рекомендується заповнювати компостами на основі верхового торфу. Вносити добрива в посадкову яму не обов'язково - для успішного приживання саджанців поживність ґрунту відіграє значно меншу роль, ніж її кислотність. На комерційних плантаціях відстань між рядками має бути не менше 3 метрів. Це дозволяє забезпечити механічну обробку і збирання врожаю. Рослини висаджують у ряду через 0,9 -1,2 м.

## **1.2 Загальна характеристика та властивості торфу**

Основна частина видобутого торфу використовується у сільському господарстві для виробництва:

- родючих ґрунтів;
- добрив;
- стимуляторів росту;
- виготовлення торф'яних горщиків і таблеток для розсади;

За походженням торф буває таких видів: низинний, верховий перехідний.

Для виготовлення компостів слід використовувати кислий верховий торф.

Верховий торф утворюється з трав'янистих рослин у верхньому шарі, куди вільно проникає кисень. Цей вид торфу є легкий та пухкий. Кислотність верхового торфу становить рН 2,5 – 3,1.

Перехідний торф складається частково із низинного, та частково із верхового торфу.

За різними джерелами, у залежності від типу торфу, може містити: азоту - 0,8-3,3%; фосфору - 0,06-0,5%; калію - 0,1- 0,15%. Агрохімічна цінність торфу визначається його неорганічною частиною, складом та вмістом зольних елементів.

Для компостування ґноєм придатні всі види торфу, але кращий із них - провітрений із вологістю 65-70%.

Існує два способи компостування гною та торфу - пошарове та локальне. При пошаровому компостуванні на підготовлений майданчик укладають торф шаром 50 см, щоб гноївка не просочується у ґрунт, а пізніше - шар гною. Шар торфу та гною чергують, поки висота штабеля не досягне висоти 1-1,5 м. За співвідношення гною та торфу 1: 1 товщина шарів у штабелі становить 25-30 см.

### **1.3 Аналіз конструкцій дозаторів сипких матеріалів**

Об'ємні дозатори мають просту будову та забезпечують поточність процесу дозування, а показники якості дозволяють застосовувати їх для локального внесення компостів під посадку лохини. Розрізняють наступні об'ємні дозатори: камерно-поршневі, мірна ємність, секторні, ланцюгово-скребкові, шнекові, барабанні, роторно-лопатеві.

Мірні ємності, камерно-поршневі та секторні дозатори можуть дозувати компости лише у індивідуальні ями які підготовлені під посадку лохини.. Роторно-лопатеві дозатори можуть видавати лише сухі розсипні компости. Тому найбільш перспективними являються барабанні та шнекові дозатори Вони можуть видавати різні за складом компости.

У барабанного дозатора є можливість оперативного зміни подачі при внесенні компостів. Даний дозатор високою точністю дозування за рахунок застосування внутрішнього та зовнішнього 3 копіїв, між якими утворюється паз (рисунок 1.4 а). По ньому ковзають ролики 4, жорстко прикріплені з внутрішньої сторони до лопат 5. Формування дози в осередках здійснюється за рахунок дії на ролики кулачка 2 має форму фігурного паза.

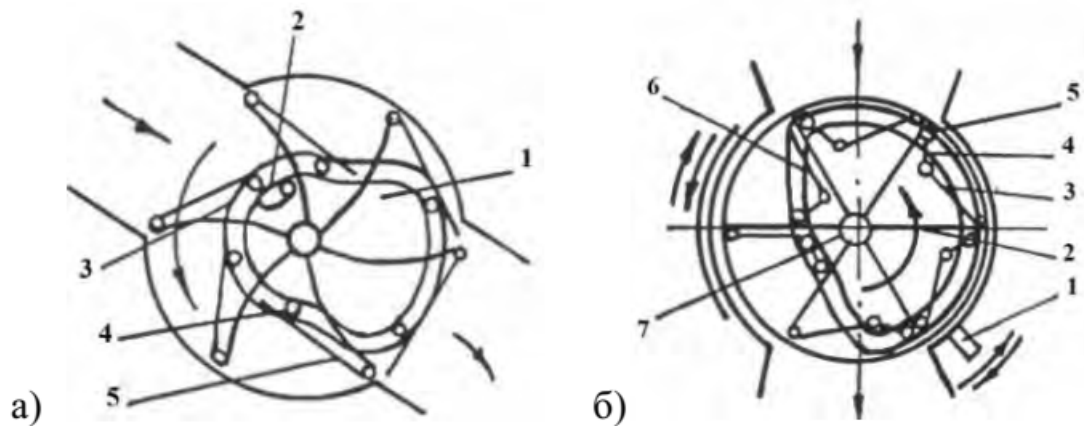


Рисунок 1.4 – схеми барабаних змішувачів

Барабанный дозатор з примусовим вивантаженням дозованого матеріалу (рисунок 1.4, б) забезпечує дозування у дискретному та неперервному режимах.

Основні види шнекових дозаторів, які знайшли застосування у сільськогосподарському виробництві наведені на рисунку 1.5.

#### 1.4 Огляд досліджень з внесення компостів

Моральне старіння техніки та поява нових видів компостів та органічних добрив потребують досліджень у розробленні та вдосконаленні робочих органів машин для внесення компостів та органічних добрив.

Кількість твердих компостів та органічних добрив, яку переміщує в кузові машини ланцюгово-планчастий транспортер, становить:

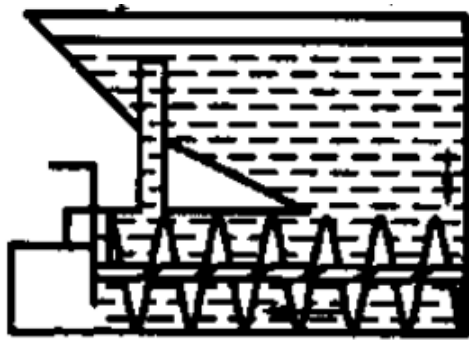
$$Q_{орг.} = \rho_{орг.} \cdot V_{тр.} \cdot v_{тр.} \cdot H_{орг.} \quad (1.1)$$

де  $v_{тр.}$  – швидкість руху транспортера, м/с;

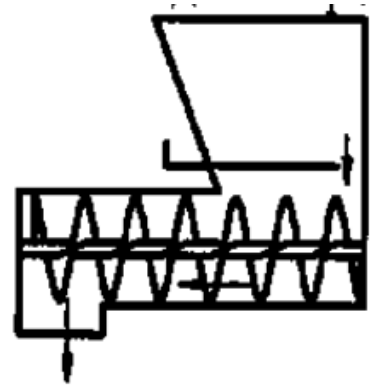
$v_{тр.}$  – ширина транспортера, м;

$H_{орг.}$  – висота органічних добрив, які знаходяться у кузові машини;

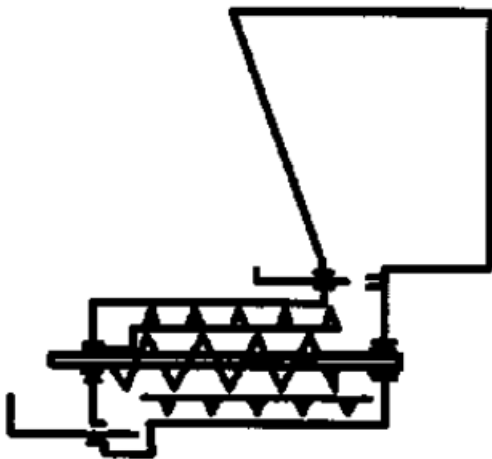
$\rho_{орг.}$  – щільність органічних добрив, кг/м<sup>3</sup>.



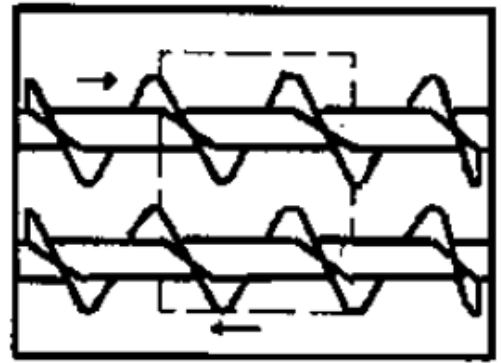
а)



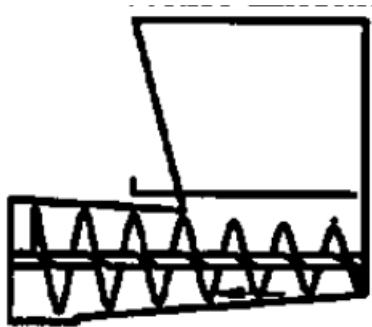
б)



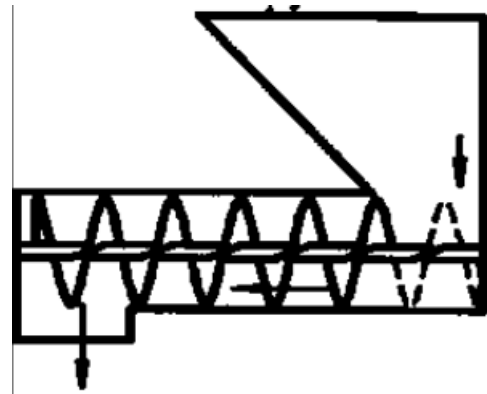
в)



г)



д)



е)

Рисунок 1.5 - Схеми шнекових дозаторів:

а – з каналом зворотнього ходу; б – шнек із постійним кроком та діаметром;  
в – шнек в шнеці; г – два шнека, які обертаються у різні напрями; д – конічні шнеки; е – шнек з одним витком у вигляді пружини.

Норма внесення компостів або органічних добрив визначається із врахуванням швидкості руху машино-тракторного агрегату:

$$Q_{орг.} = 10^{-4} \cdot Q_n \cdot B \cdot V_m \quad (1.2)$$

де:  $Q_n$  – норма внесення добрив, згідно агротехнічних вимог, кг/га;

$V_m$  – швидкість руху агрегата, м/с;

$B$  – середня ширина розкидання органічних добрив на поверхні поля, м;

Фактичне значення висоти шару компостів, які подаються до розкидного пристрою, становить [9]:

$$H_\phi = H_n - C / \rho_n g [4 \sin 2\beta (1 - \text{ctg} \beta \text{tg} \phi) + 1 / m_n (f_2 - f_1)] \quad (1.3)$$

де:  $H_n$  – початкова висота шару добрив у кузові, м;

$C$  – питома сила зчеплення у шарах добрив, Н/м<sup>2</sup>;

$\rho_n$  – початкова щільність, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\beta$  – кут природного скосу, град.;

$\phi$  – кут тертя, град.;

$f_1, f_2$  – коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя;

$m_n$  – коефіцієнт рухомості.

Компости у кузові рухаються під дією сил тиску та тертя планок транспортера. Вираз для визначення висоти шару добрив, які подаються без струшування, має вигляд:

$$H_g = \frac{\sigma_i \cdot h \cdot n - \sigma_o H_n}{\rho_n \cdot g L_k [f_2 (1 + m_n) - a / t (f_3 - f_2)]} \quad (1.4)$$



де:  $\sigma_i, \sigma_b$  – опір втискання планки в добрива та лобовий опір розкидаючого пристрою, Па;

$h, n$  – висота, м та кількість планок, які взаємодіють з добривами одночасно;

$H_l$  – висота шару, який сприймає лобовий опір, м;

$a, t$  – ширина планки та крок розміщення планок, м;

$f_3$  – коефіцієнт тертя планок в днище кузова.

Суттєвим параметром, що впливає на якість роботи ланцюгово-планчатого транспортера являється крок розміщення планок. Оптимальне значення кроку розраховують із залежністю:

$$t = [\sigma_i hn - \sigma_b \cdot H_l] / [\rho_n g H_d \cdot n f_2 (1 + m_n)] + [Q(f_2 - f_3) / [f_2(1 + m_n)]] \quad (1.5)$$

Для оцінки роботи розкидаючих пристроїв існують лише загальні формули, які зв'язують як режимні, так і конструктивні параметри роторних (бітерних, барабанних) розкидачів органічних добрив. Серед них визначення кутової швидкості барабана:

$$\omega = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2l_x g}{\sin 2L}} \quad (1.6)$$

де:  $r$  – радіус робочого органу, м;

$l_x$  – відстань польоту часток добрив, м;

$L$  – кут відриву частинки від поверхні, град.

## Висновки

Розумний підхід до вирощування лохини гарантує нормальний ріст та стабільне плодоношення. Спонтанна посадка лохини - без попереднього вивчення особливостей її та підготовки гранту - в більшості випадків призводить до

загибелі рослини.

Ґрунт для лохини має мати кислу реакцію, тому посадкові ями слід заповнювати компостом на основі верхового торфу.

Мета роботи – дослідження процесу внесення компостів під посадку лохини та обґрунтування параметрів шнекового дозатора.

Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання досліджень:

- проаналізувати технології посадки лохини та конструкції машин для внесення твердих добрив;
- дослідити процес внесення компостів шнековим дозатором у канави попередньо утворені які попередньо утворенні канавокопачем;
- визначити фізико-механічні властивості компостів на основі верхового торфу;
- розробити функціональну схему машини для локального компостів під посадку лохини та конструкцію шнекового дозатора;
- провести дослідження процесу дозування компостів на основі верхового торфу на дослідній установці.

## **2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАШИНИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ КОМПОСТІВ ПІД ПОСАДКУ ЛОХИНИ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ**

### **2.1 Технологія локального внесення компостів під посадку лохини**

Однією із найбільш прибуткових сільськогосподарських культур, яка успішно культивується на даних ґрунтах являється лохина. Тому останнім часом все більше і більше площ відводиться під дану культуру. Залогою успіху у вирощуванні лохини є приготування та внесення компостів під посадку саджанців лохини. Компости для лохини мають мати кислу реакцію. Тому посадкові ями, глибиною до 50 см, слід заповнювати компостами на основі верхового торфу з додаванням хвойного опаду. Для приготування компостів для лохину слід вибирати верховий торф, кислотність якого (рН не вище 4,0). Для успішного вирощування лохини поживність ґрунту відіграє меншу роль, а ніж її кислотність.

Відстань між рядами при посадці високорослої лохини становить не менше ніж 3 м, а відстань між кущами в ряду 0,9-1,2 м. Ширина міжрядь у 3 м обумовлена мінімальною відстанню для механізованого обробітком міжрядь.

Науковцями Поліської дослідної станції національного наукового центру «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» досліджено, що для західного Полісся найкращий ріст лохини забезпечується при посадки її саджанців у компости наступного складу: торф -80%, перліт - 10%; сапрпель – 10%.

Технологічний процес внесення компостів під посадку лохини здійснюється наступним чином. На початку роторним або плужним канавокопачем утворюється канава глибиною 40-50 см та шириною 50см. Міжряддя канав 3 м. Заповнення утворених канав здійснюється за допомогою модернізованого розкидача органічних добрив (рисунок 2.1). На машині додатково змонтований шнекові живильники.

Приготовленні компости завантажується у кузов машини за допомогою фронтального навантажувача. Компости за допомогою транспортера подаються до бітерів. Розрихлені торфові компости подають на дозатор. Дозовані компости вносяться у канави, які попередньо утворенні канавокопачем.

Машина для локального внесення верхового торфу під посадку лохини, являє собою складну конструкцію та спроектована на базі розкидача органічних добрив. Усі робочі механізми машини мають привід від валу відбору потужності трактора, з яким агрегується машина. Крутний момент від валу відбору потужності до машини для локального внесення торфу передається за допомогою телескопічного карданного вала.

Подрібнювальні бітери змонтовані в коробці і прикріплені до рами. Вони – це вали з шліцьовими втулками, з звареними по торцях підвалами для кріплення на них підшипників і опори для обертання, тобто ланцюгів. Бітери приводяться в рух від кінцевого редуктора, який, в свою чергу, працює від карданної передачі від ВВП трактора. На вихідному кінці (збоку) бітерів на кінці розміщена циліндрична шестерня, яка входить в зчеплення з шестернею, що змонтована на тихохідному валу кінцевого редуктора. Подрібнений та розрихлений торф подається на шнековий дозатор.

Шнековий дозатор представляє собою двох секційний шнековий живильник який змонтований на одному валу. Кожна секція проводить живлення компосту під рядок посадки лохини. Секції розділенні між собою за допомогою перегородок . У жолобі шнека із кроком який відповідає ширині посадки лохини змонтовані вивантажувальні вікна. Ширина забірної частини для живильників однокова і становить половину ширини кузова машини.

Норма внесення компостів регулюється швидкістю руху живильного транспортера. Для точного руху машино тракторного агрегату по полі по відношенню до утворених канав на агрегатах встановлена Навігаційна система EZ-Pilot® Pro.

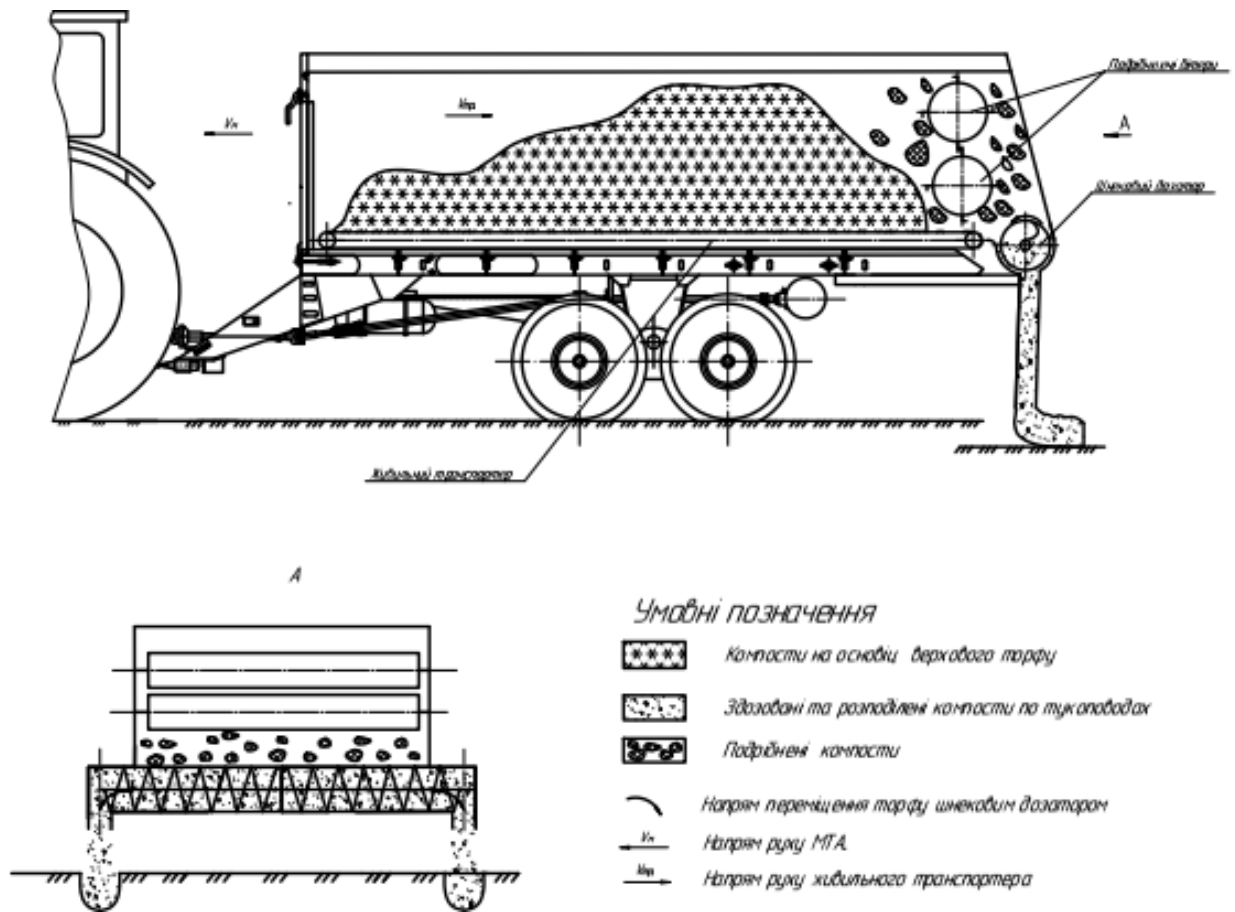


Рисунок 2.1 - Функціональна схема машини для внесення компостів під посадку лохини

## 2.2 Дослідження потужності, яка затрачається на привід шнекового дозатора

Потужність яка затрачається на привід шнекового дозатора визначається із виразу:

$$N = N_{tr} + N_{загр} \quad (2.1)$$

де  $N$  – потужність, що затрачається на привід шнекового дозатора;

$N_{tr}$  – потужність, що затрачається на транспортування компостів;

$N_{загр}$  – потужність, що затрачається в зоні завантаження шнека.

Потужність, що затрачається на транспортування компостів шнековим живильником становить:

$$N_{mp} = Q_{\partial} \cdot L_i \cdot k_1 \quad (2.2)$$

де  $L_i$  – довжина транспортування продукту, м;

$k_1$  – коефіцієнт, що враховує кут нахилу осі живильника до горизонту.

Довжина транспортування компостів шнековим живильником становить:

$$L_i = L + (A_{\max} - A_i) \quad (2.3)$$

Потужність яка затрачається в зоні завантаження становить:

$$N_{загр} = \sum_{i=1}^{n'} N'_i \quad (2.4)$$

де  $N_i$  – потужність, яка затрачається  $i$ -им витком шнека, кВт

$n$  - кількість витків у зоні завантаження, шт

Втрати потужності, що припадають на один виток шнека становлять:

$$N' = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (2.4)$$

де  $N_1$  - втрати потужності на подолання сил тертя компостів по витку шнека дозатора, кВт;

$N_2$  - втрати потужності на подолання сил тертя компостів по кожуху шнека дозатора, кВт;

$N_3$  - втрати потужності на підйом живильного матеріалу дозатора, кВт;

$N_4$  - втрати потужності на тертя компосту у зоні завантаження матеріалу, кВт.

$$N_1 = P_0 \cdot V_{в.н.} \quad (2.5)$$

де  $P_0$  – колова сила, що діє на матеріал від гвинтової поверхні, Н

$V_{в.н.}$  - колова швидкість руху матеріалу, м/с;

Визначення колової сили та колової швидкості розглянуто у праці. Тоді залежність (2.10) з врахуванням досліджень становитиме:

$$N_1 = \frac{3\pi^2 \left( (D + 2\delta)^2 - d^2 \right)}{8} \cdot \frac{S_i + f \cdot 2\pi \cdot R_u}{2\pi \cdot R_u - f \cdot S_i} S_i \rho \cdot g \cdot \sin \beta \cdot n \cdot R_u \quad (2.6)$$

Потужність, яка затрачується на тертя матеріалу об кожух шнека, становить:

$$N_2 = P_{ci} \cdot V_{с.сп.і} \quad (2.7)$$

де  $P_{ci}$  – реакція кожуха шнека, Н;

$V_{с.сп.і}$  – середня осьова швидкість руху корму, м/с.

Після перетворень вираз (2.7) матиме вигляд:

$$N_2 = \frac{g \cdot \pi \cdot \left( (D + 2\delta)^2 - d^2 \right)}{4} \cdot S_i^2 \cdot n \cdot \rho \times$$

$$\times \cos \beta + \frac{n \cdot S_i \cdot \left( 1 - \frac{f_1 \cdot S_i^2}{2\pi^2 \cdot (R^2 - r^2)} + \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot R \cdot S_i}{(R + r) \cdot (S_i^2 + 4\pi^2 \cdot R \cdot r)} \right)}{0.75 g R} \times$$

$$\times \left( 1 - \frac{f_1 \cdot S_i^2}{2\pi^2 \cdot (R^2 - r^2)} + \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot R \cdot S_i}{(R + r) \cdot (S_i^2 + 4\pi^2 \cdot R \cdot r)} \right) \quad (2.8)$$

де  $m$  – коефіцієнт рухливості дозованого матеріалу;

$f_1$  - коефіцієнт тертя дозованого матеріалу об кожух шнека.

Потужність, яка затрачається на підйом дозованого матеріалу

$$N_3 = g \cdot G \cdot V_{o.cp.i} \cdot \sin \beta \quad (2.9)$$

У випадку коли кут підйому  $\beta = 0$ , то  $N_3 = 0$

Потужність, яка затрачається на тертя матеріалу в зоні завантажувального вікна на одному витку, становить:

$$N_4 = 2 \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot R \cdot S_i \cdot f_2 \quad (2.10)$$

де  $f_2$  - коефіцієнт внутрішнього тертя дозованого матеріалу.

$$N_{y\partial} = \frac{N}{Q_\partial} \quad (2.11)$$

### 2.3 Дослідження продуктивності шнекового дозатора

Для обґрунтування оптимальних параметрів шнекового дозатора компостів та визначення ефективності використання машини для локального внесення компостів під посадку лохини слід представити технологічний процес дозування компостів у вигляді теоретичних залежностей.

Одним із основних показників, яким характеризується робота дозатора є його продуктивність.

Визначимо продуктивність шнекового дозатора.

Розглянемо розрахункову схему шнекового дозатора (рисунок 2.2).

Об'ємна продуктивність дозатора шнекового типу становить:



$$Q = \frac{\pi}{4} (D - d)(D + d) \frac{B}{\cos \alpha} n K_u \quad (2.12)$$

На основі аналізу формулу (2.12) введемо такі позначення:

Середній радіус  $D_{cp}$ :

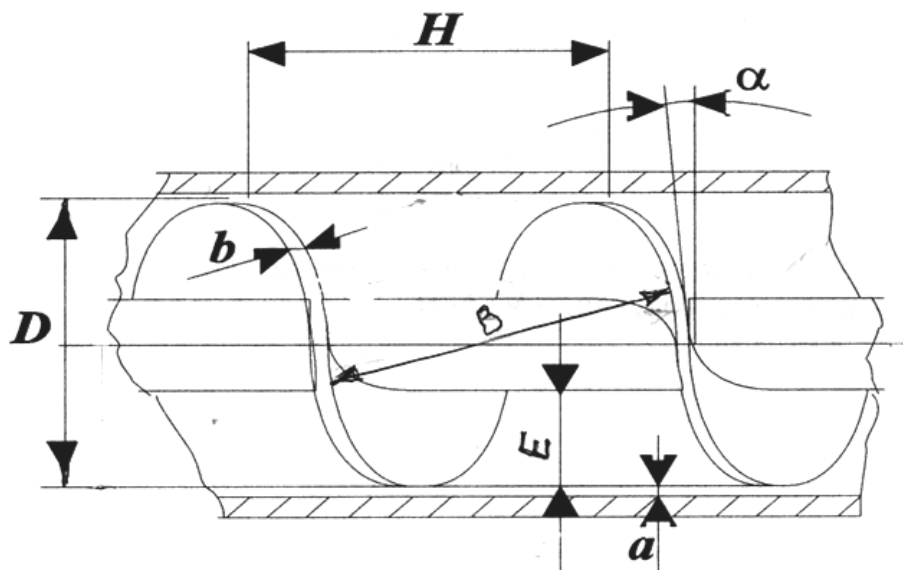
$$D_{cp} = \frac{D + d}{2} = R + r \quad (2.13)$$

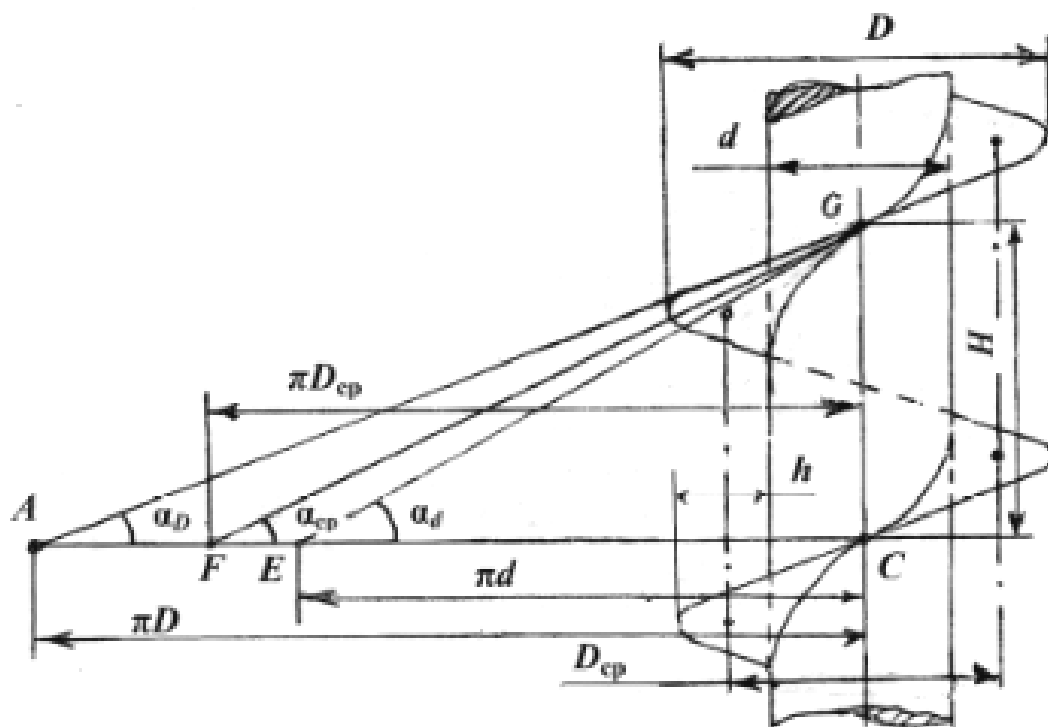
Висота шару компостів у між гвинтовому просторі:

$$h = \frac{D - d}{2} \quad (2.14)$$

Кут підйому витка шнека:

$$\cos \alpha = \frac{\pi D_{cp}}{\sqrt{(\pi D_{cp})^2 + H^2}} \quad (2.15)$$





б)

Рисунок. 2.2 – Розрахункова схема шнекового дозатора

а – геометричні характеристики шнека:  $d$  – внутрішній діаметр;  $D$  – зовнішній діаметр;  $E$  – глибина між гвинтового простору;  $H$  – крок гвинта;  $B$  – між гвинтова відстань;  $b$  – товщина гвинта шнека;  $a$  – зазор між корпусом і зовнішнім діаметром гвинта;  $\alpha$  – кут підйому витка; б – схема розгортки гвинта:  $EC$  – довжина лінії розгортки по внутрішньому діаметру  $d$ ;  $AG$  – довжина лінії розгортки похилого гвинта по зовнішньому діаметру;  $AC$  – довжина лінії розгортки по зовнішньому діаметру  $D$ , рівна  $\pi D$ ;  $h$  – товщина шару матеріалу в між гвинтовому просторі;  $EG$  – довжина лінії розгортки похилого гвинта по внутрішньому діаметру;  $FC$  – довжина лінії розгортки по діаметру серединної окружності;  $D_{cp}$  – діаметр серединної окружності, проведеної в шарі матеріалу;  $\alpha_D$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_{cp}$  – кути підйому гвинта за діаметрами  $D$ ,  $d$  і  $D_{cp}$ ;  $FG$  – довжина розгортки витка по діаметру серединної окружності;

Залежність (2.12) із врахуванням (2.13)-(2.15) набуде вигляду:

$$Q = \pi D_{cp} h \left( \frac{B}{\cos \alpha} \right) n K_u \quad (2.16)$$

Введемо в формулу (2.16) безрозмірні коефіцієнти, що характеризують співвідношення між геометричними параметрами і зовнішнім діаметром шнека дозатора:

$$k_d = \frac{d}{D}, k_h = \frac{H}{D}, k_b = \frac{B}{H} = \frac{H \cos \alpha - b}{H} = \cos \alpha - \frac{b}{H} \quad (2.17)$$

Виразимо коефіцієнти  $D_{cp}, h, B$  через наведені залежності (2.17):

$$D_{cp} = \frac{D(1+k_d)}{2} \quad (2.18)$$

$$h = \frac{D-d}{2} = D \frac{(1-k_d)}{2} \quad (2.19)$$

$$B = k_b H = k_b k_h D \quad (2.20)$$

Формула для визначення продуктивності дозатора (2.15 із врахуванням залежностей (2.18)-(2.20) матиме вигляд:

$$Q = \pi D_{cp} h B \left( \frac{(\pi D_{cp})^2 + (k h_d)^2}{\pi D_{cp}} \right) n K_u \quad (2.21)$$

Виразимо  $D_{cp}$  у формулі (2.51) через значення  $D$ :

$$Q = D^3 n \frac{(1-k_d)}{4} k_b k_h K_u \sqrt{\pi^2 (1+k_d)^2 + 4k_h^2} \quad (2.22)$$

Виразимо з залежності (2.22) діаметр шнека через задану продуктивність отримаємо:

$$D = \left( \frac{4Q}{n} \right)^{0.33} \left( \frac{1}{k_b k_h K_{uu} (1 - k_d) \sqrt{\pi^2 (1 + k_d)^2 + 4k_h^2}} \right)^{0.33} \quad (2.23)$$

Використовуючи математичну залежність (2.23) визначаємо діаметра шнека залежно від продуктивності шнекового дозатора та його геометричних і кінематичних параметрів.

За отриманою формулою (2.23) побудована графічна залежність (рисунок 2.3) змінити продуктивності шнекового дозатора діаметра шнека від його геометричних параметрів.

Знайдемо продуктивність шнека виходячи з продуктивності машини для локального внесення компостів під посадку лохини. Об'ємна продуктивність компостів шнековим дозатором машини для локального внесення рівна:

$$Q_m = V_m \cdot S_{\sigma} \quad (2.24)$$

де  $S_{\sigma}$  - площа поперечного січення утвореної борозни яка заповнюється компостами.

$V_m$  - швидкість руху машини, м/хв.;

Згідно агровимог під посадку лохини посадочні ями необхідно робити глибиною до 0,5 шириною 0,4...0,5 м.

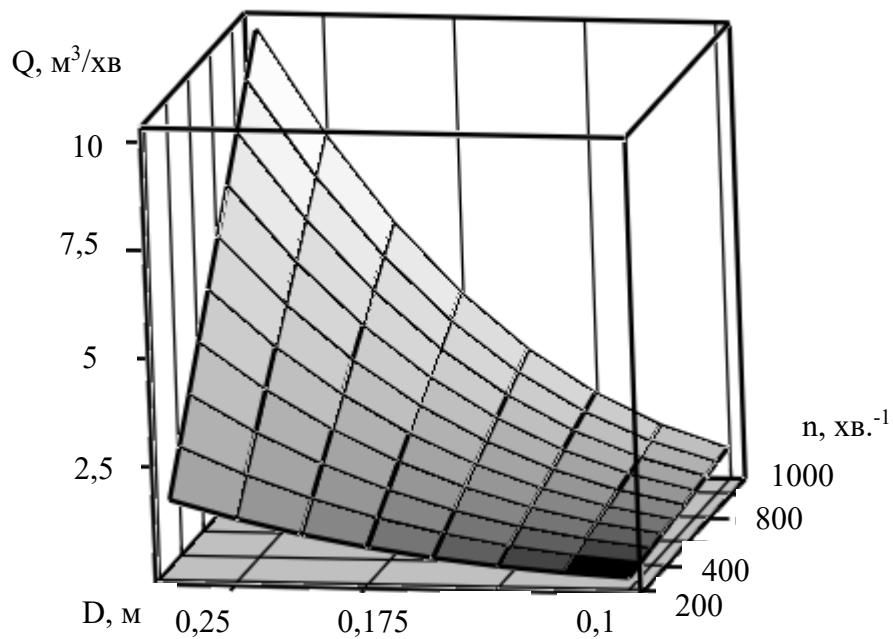


Рисунок 2.3 – Графічна залежність продуктивності шнекового дозатора від діаметра шнека  $D$  та частоти обертання вала

Площа поперечного січення утвореної борозни рівна:

$$S_{\sigma} = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ м}^2$$

Об'ємна продуктивність машини становить:

$$Q_m = 22,2 \cdot 0,25 = 5,55 \text{ м}^3$$

Використовуючи графічну залежність рисунок 2,3 вибираємо геометричні та кінематичні параметри шнека виходячи із його продуктивності.

## Висновки

Досліджено потужність, яка затрачається на привід шнекового дозатора. Загальна потужність на привід дозаторів складається із двох складових:  $N_{mp}$  – потужності, яка затрачається на транспортування компостів та  $N_{загр}$  – потужності, яка затрачається в зоні завантаження шнека.

Отримана залежність (2.13) дозволить визначити

Діаметр шнека визначається виходячи із продуктивності дозатора та його геометричних і кінематичних параметрів. Продуктивність проектного шнекового дозатора збільшується прямо пропорційно зростання частоти обертання  $n$  і діаметру  $D$ . Продуктивність шнека становить  $Q = 2 \dots 10 \frac{m^3}{хв}$  за діаметра шнека  $D = 0,1 \dots 0,25 \text{ м}$ , та частоти його обертання  $n = 200 \dots 1000 \text{ хв}^{-1}$ .

## **3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Програма і загальна методика експериментальних досліджень**

Дослідження процесу дозування компостів на основі верхового торфу під посадку лохини та удосконалення шнекового дозатора потребує відомостей про фізико-механічних властивостей компостів.

При дослідженні впливу складу компостів, які вносяться під посадку лохини, встановлено, що в умовах західного Полісся найкращий ріст лохини спостерігається при посадки її саджанців у ТСПС у співвідношенні торф -80%, сапрпель – 10%, перліт - 10%.

У програму експериментальних досліджень входили такі питання:

- 1) Визначення таких фізико-механічних властивостей компостів:
  - а) вологість;
  - в) насипна щільність;
  - д) коефіцієнт зовнішнього тертя;
- 2) Обґрунтування раціональних параметрів роботи шнекового дозатора з застосуванням математичного методу планування експерименту.

### **3.2 Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення досліджень**

Для визначення фізико-механічних властивостей компостів під посадку лохини, а також для дослідження роботи шнекового дозатора використовувалось таке обладнання:- сушильна шафа СНОЛ 3,5. 3,5. 3,5 із У42;

- електронні ваги ТВЛ-0,5;
- електронний термометр;
- мірний стакан

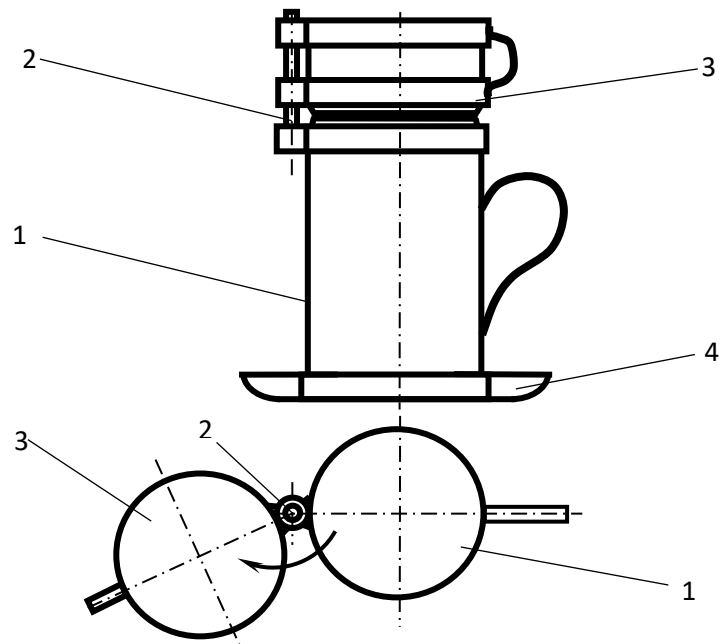


Рисунок 3.1 – Схема приладу для визначення насипної щільності матеріалу

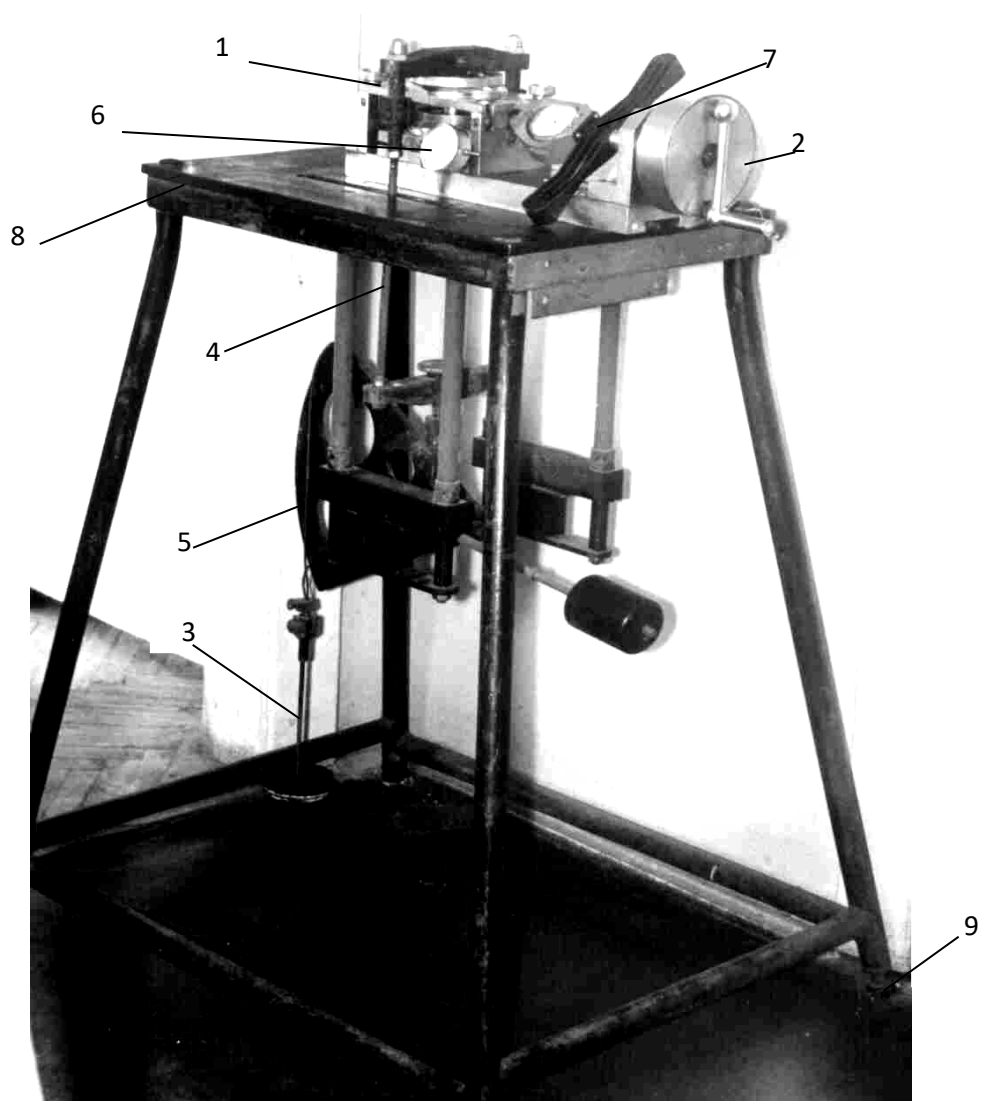


Рисунок 3.2 – Приладу ВСВ



Експериментальні дослідження процесу дозування компостів проводили на лабораторній установці.

Щільність компостів визначали за допомогою мірного стакана об'ємом  $V=0,505 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ . У верхній частині стакана, закріплена штирем 2, рухома царга 3. Стакан встановлений у піддоні 4.

Коефіцієнт зовнішнього тертя, визначали використовуючи прилад ВСВ. Прилад складається із робочого пристрою 1, гвинтового механізму 2, завантажувальної підвіски 3, серги 4 та двохступінчастого шківів 5. Фіксування переміщення нижньої частини робочої коробки та визначення зсувного зусилля здійснювали індикатором часового типу 6 та динамометром 7.

Лабораторна установка містить опорну раму 1, на якій закріплено нерухомий кожух 2, завантажувальну горловину 3, та підшипникові опори 4. Шнековий вал 5 встановлений на підшипникових опорах. Привід дозатора здійснюється від електродвигуна трьохфазного струму 6, через клинопасову передачу 7 Натяг пасової передачі здійснюється натяжним механізмом 8. На установці змінюється кутова швидкість обертання шнекового вала і висоту матеріалу в бункері.



Рисунок 3.3 – Лабораторна установка для дослідження процесу дозування компостів на основі торфу

### 3.3 Методика визначення вологості компостів на основі торфу

Зразки матеріалу масою 5 – 6 г засипали у бюкси та важили на вагах. Після зважування бюкси з відкритими кришками поміщали в нагріту до  $100 \pm 5$  °С сушильну шафу. Сушіння матеріалу здійснювали до постійної ваги.

Вологість матеріалу визначали із залежності:

$$W = \frac{m_6 - m_c}{m_6} \cdot 100, \quad (11.1)$$

де  $W$  - вологість матеріалу, %;

$m_6$  - маса наважки вологого матеріалу, г;

$m_c$  - маса тієї ж наважки після висушування, г.

### 3.4 Методика визначення коефіцієнта зовнішнього тертя компостів на основі торфу

Для дослідження коефіцієнта зовнішнього тертя використовували прилад ВСВ, конструкція якого наведена в п. 3.2.

У нижню частину робочої коробки приладу вставляли пластину, виготовлену із матеріалу, відносно якого визначали коефіцієнт тертя. У верхню частину робочої коробки засипали досліджуваний матеріал (компости на основі торфу).

Регульовальними гайками утворювали зазор 1...2 мм між пластиною і верхньою частиною робочою коробки. Зсунуте зусилля прикладали через динамометр.

Коефіцієнт тертя визначали за наступною залежністю:

$$f = \frac{F_{mp}}{Gn}, \quad (11.2)$$

де  $f$  - коефіцієнт зовнішнього тертя;

$F_{тр}$  - сила тертя, яка фіксується динамометром;

$G$  - вага вантажу, яка встановлена на завантажувальній підвісі;

$n$  - передатне відношення.

### 3.5 Методика визначення насипної компостів на основі торфу

Досліджуваний матеріал (компости на основі верхового торфу) завантажували в стакан до верхнього рівня царги, після чого повертали її навколо штиря. Після зняття царги з штиря стакан зважували.

Насипна щільність матеріалу визначалась із виразу:

$$\gamma_0 = \frac{m - m_0}{V}, \quad (11.3)$$

де  $\gamma_0$  – насипна щільність матеріалу;

$m$  – маса стакана із матеріалом;

$m_0$  – маса пустого стакана;

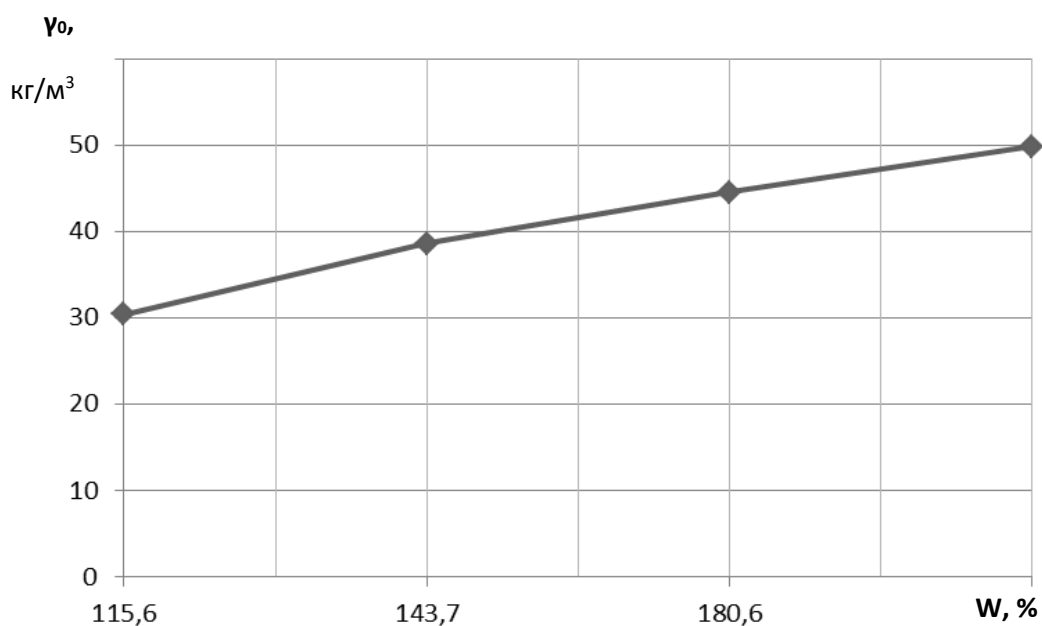
$V$  – внутрішній об'єм стакана.

### 3.6 Результати дослідження насипної щільності компостів

Важливим параметром для дозаторів є насипна щільність. Насипну щільність визначали користуючись мірним стаканом. Результати досліджень наведено у таблицю 3.1. за якими побудовано графічна залежність (рисунок 3.6). Насипна щільність компостів під посадку лохини на основі верхового торфу змінюється в межах 115...252 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 3.1 – Насипна верхового торфу  $\gamma_0$ , кг/м<sup>3</sup>

Вологість верхового торфу $W$ , %			
30,4	38,6	44,5	49,8
115,6	143,7	180,6	251,7

Рисунок 3.4 – Залежність насипної щільності  $\gamma_0$  компостів на основі торфу від зміни вологості  $W$ 

### 3.7 Коефіцієнт зовнішнього тертя

Результати дослідження коефіцієнта тертя компостів під посадку лохини на основі верхового торфу наведені у таблиці 3.2. Згідно отриманих результатів досліджень побудовано графічні залежності зміни коефіцієнта тертя компостів від вологості (рисунок 3.7). Із збільшенням вологості компостів від 30 % до 45...50 % – коефіцієнт тертя зростає. При вологості  $W=45...50$  %, значення коефіцієнта тертя максимальні.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження коефіцієнта тертя компостів на основі верхового торфу

Матеріал	Вологість компостів $W$ , %			
	30,4	38,6	44,5	49,8
сталь	0,47	0,48	0,51	0,50
алюміній	0,42	0,43	0,44	0,47
пластмаса	0,42	0,45	0,47	0,49

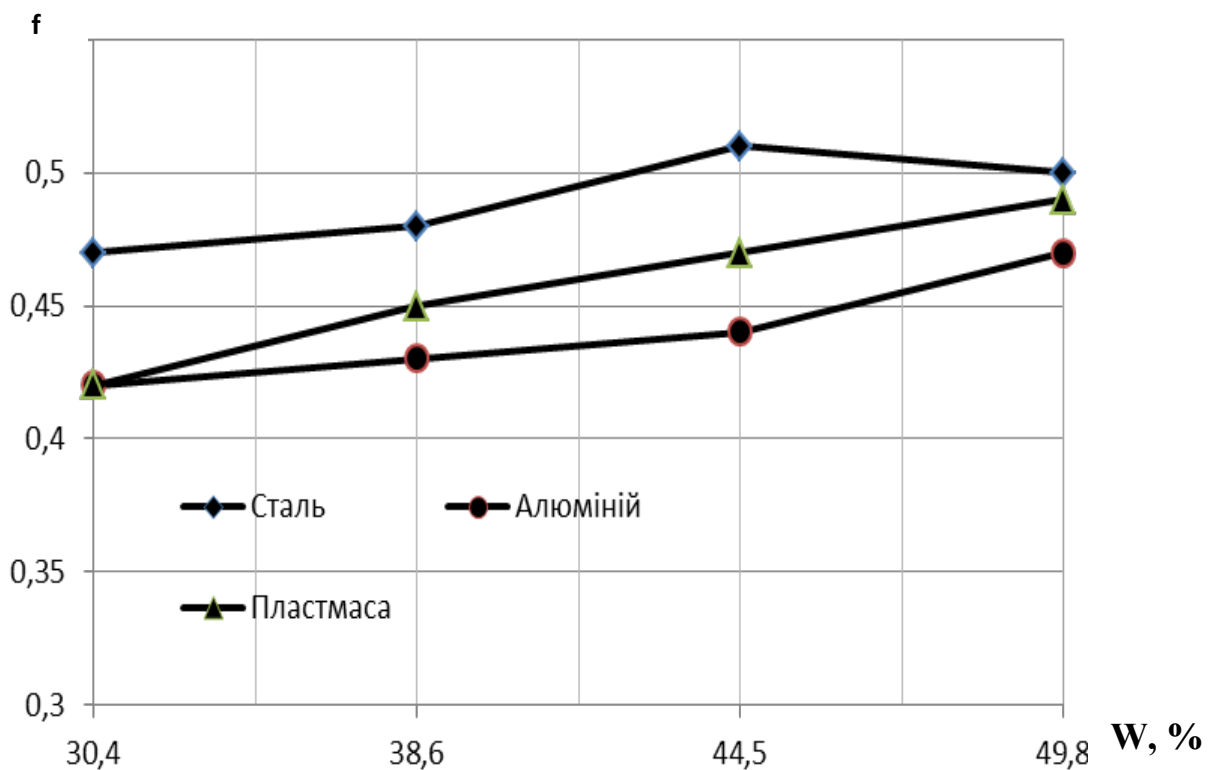


Рисунок 3.5 - Залежність коефіцієнта тертя  $f$  компостів на основі верхового торфу від вологості  $W$

## Висновки

На величину насипної щільності верхового компостів на основі верхового торфу впливає вологість. Насипної щільності компостів на основі верхового

торфу змінюється в діапазоні  $\gamma_0 = 115...252$  кг/м<sup>3</sup>.

Найвищі значення коефіцієнта тертя компостів спостерігаються для сталі а найменші - для алюмінію. Підвищення вологості компостів на основі верхового торфу, характеризується збільшення коефіцієнта тертя.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ТА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБКИ

### 4.1 Методика проведення багатофакторного експерименту

З метою зменшення кількості дослідів при проведенні досліджень використовували не композиційний план Бокса-Бенкена.

Для дослідження процесу формування гранул сапропелевих добрив та зменшення числа дослідів нами було проведено трьох факторний експеримент.

План Бокса-Бенкіна розрахований на використання трьох рівнів для кожного фактора: верхнього (+1), нульового (0) і нижнього (-1). Фактори та рівні варіювання наведені у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Фактори та рівні варіювання

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верхній	Нижній	Нульовий	Верхній	Нижній	Нульовий
Вологість компостів W, %	X1	x1	5	50	40	45	+1	-1	0
Висота шару компостів у бункері h,	X2	x2	0,25	0,65	0,15	0,4	+1	-1	0
Кут нахилу осі шнека, $\beta^0$	X3	x3	-15	0	+1	-1	0	15	15

Зв'язок між кодovаними та натуральними значеннями факторів встановлювався залежностями:

$$x_1 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_1}; x_2 = \frac{h - h_0}{\varepsilon_2}; x_3 = \frac{\beta - \beta_0}{\varepsilon_3}; \quad (4.1)$$

де  $x_1, x_2, x_3$ , – кодові значення факторів, відповідно, вологості компостів, висоти торфу у бункері та кута нахилу осі шнека;

$W, h, \beta$  – натуральні значення факторів, відповідно, вологості компостів, висоти торфу у бункері та кута нахилу осі шнека;

$W_0, h_0, \beta_0$  – натуральні значення факторів на нульовому рівні;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – інтервали варіювання факторів.

Матриця планування експерименту наведена у таблиці 4.2

Рівняння регресії матиме вигляд :

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (4.2)$$

Коефіцієнти регресії становлять:

$$b_0 = 0,33333 \sum_{j=1}^n y_j - 0,16667 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j; \quad (4.3)$$

$$b_i = 0,08333 \sum_{j=1}^n x_{ij} y_j; \quad (4.4)$$

$$b_{ii} = 0,125 \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j + 0,0625 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j - 0,16667 \sum_{j=1}^n y_j; \quad (4.5)$$

$$b_{ir} = 0,25 \sum_{j=1}^n x_{ij} x_{rj} y_j, \quad (4.6)$$

де  $j$  – номер дослідів в матриці планування;

$n$  – кількість дослідів в матриці планування;

$y_j$  – значення функції відгуку в  $j$ -му досліді;

$k$  – кількість факторів;



$x_{ij}$ ,  $x_{rj}$  – кодовані значення  $i$ -го чи  $r$ -го фактору в  $j$ -му досліді;

$i$ ,  $r$  – номери факторів.

Таблиця 4.2 - Матриця планування експерименту

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$
1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0
2	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0
3	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0
4	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0
5	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1
6	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1
7	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1
8	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1
9	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
10	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1
11	0	+1	-1	0	-1	0	+1	0	+1
12	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Дисперсії коефіцієнтів регресії і їх коваріації становлять:

$$S_{b_0}^2 = 0,33333S_y^2; \quad (4.7)$$

$$S_{b_i}^2 = 0,08333S_y^2; \quad (4.8)$$

$$S_{b_{ii}}^2 = 0,1875S_y^2; \quad (4.9)$$

$$S_{b_{ir}}^2 = 0,25S_y^2; \quad (4.10)$$

$$cov_{b_0b_{ii}} = -0,16667S_y^2; \quad (4.11)$$

$$cov_{b_{ii}b_{rr}} = 0,0625S_y^2. \quad (4.12)$$

Перевірка значимості коефіцієнтів регресії здійснювалась методом порівнювання абсолютної величини цих коефіцієнтів із їх довірчими інтервалами.

Довірчі інтервали становлять:

$$\Delta b_0 = t_{0,05;f_1} S_{b_0}; \quad (4.13)$$

$$\Delta b_i = t_{0,05;f_1} S_{b_i}; \quad (4.14)$$

$$\Delta b_{ir} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ir}}; \quad (4.15)$$

$$\Delta b_{ii} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ii}}, \quad (4.16)$$

де  $t_{0,05;f_1}$  – табличне значення критерію Ст'юдента при 5%-му рівні значущості та  $f_1 = n_0 - 1$  – числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності ( $n_0$  – кількість дослідів у центрі плану).

Коефіцієнт регресії статистично значущі, коли його абсолютна величина більша довірчого інтервалу або рівна йому. Незначущі коефіцієнти видаляли з моделі.

Перевірка адекватності рівняння регресії здійснювалась за допомогою критерію Фішера. Модель адекватна коли розрахункове значення критерію  $F_{f_2:f_1}^{розр.}$  менше табличного:

$$F_{f_2:f_1}^{розр.} \leq F_{0,05:f_2:f_1}^{табл.}, \quad (4.17)$$

Розрахункове значення критерію Фішера становить:

$$F_{f_2:f_1}^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}, \quad (4.18)$$

де  $S_{неад.}^2$  – дисперсія неадекватності, яка визначена з  $f_2$ - числом ступенів вільності;

$S_y^2$  – дисперсія відтворюваності експерименту, яка визначена з  $f_1$ - числом ступенів вільності.

## **4.2 Результати дослідження з використанням математичного методу планування експерименту**

Методика проведення досліджень із використанням математичного методу планування експерименту наведено у п.п. 4.1. Мета досліджень – встановлення коефіцієнту варіації маси дози компостів, яка видана за одиницю часу при змінні вологості компостів, кут нахилу осі шнека до горизонту та висота компостів у бункері.

За результатами проведення багатofакторного експерименту отримали рівняння регресії, яке описує коефіцієнт варіації маси дози матеріалу, яка подається дозатором за одиницю часу залежно від вологості верхового компостів, висота компостів у бункері, та кута нахилу осі дозатора до горизонту.

Перевірку відтворюваності дослідів проводили за Критерієм Кохрена:

$$G = 0,237 \leq G_{\text{табл.}}(0,05; n; f_u) = 0,335 \quad (4.19)$$

Значущість коефіцієнтів регресії проводили за допомогою критерію Стьюдента.

Критерій Стьюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності  $f_l = 2$  складає  $t(0,05; 2) = 4,3$ .

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії рівні:

$$\Delta b_0 = 0,142, \Delta b_j = 0,699, \Delta b_{j_r} = 0,989, \Delta b_{j_j} = 1,029$$

Рівняння регресії матиме вигляд:

$$y = 14,12 - 0,789 \cdot x_3 + 1,047 \cdot x_1^2 + 1,181 \cdot x_2^2 - 1,286 x_2^3 \quad (4.20)$$

де  $x_1$  – кодоване значення кутової вологості компосту;

$x_2$  – кодоване значення висоти компосту у бункері;

$x_3$  – кодоване значення кута встановлення вісі шнека до горизонту;

Перевірка адекватності рівняння регресії (4.20) здійснювалась із використання критерію Фішера  $F_p$ .

Розрахункове значення  $F_p$  – критерію Фішера становило:  $F_p = 2,094$ .

Табличне значення критерію Фішера при прийнятому 5%-му рівні значущості, згідно з, складало:

Рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді:

$$y(W, h, \beta) = 101,9 - 3.769 W - 15.15h - 0.05\beta + 0,042 W^2 + 18.89h^2 - 0.006 \beta^2 \quad (4.21)$$

За рівнянням регресії (4.21) побудовано поверхні відгуку (рисунок 4.1).

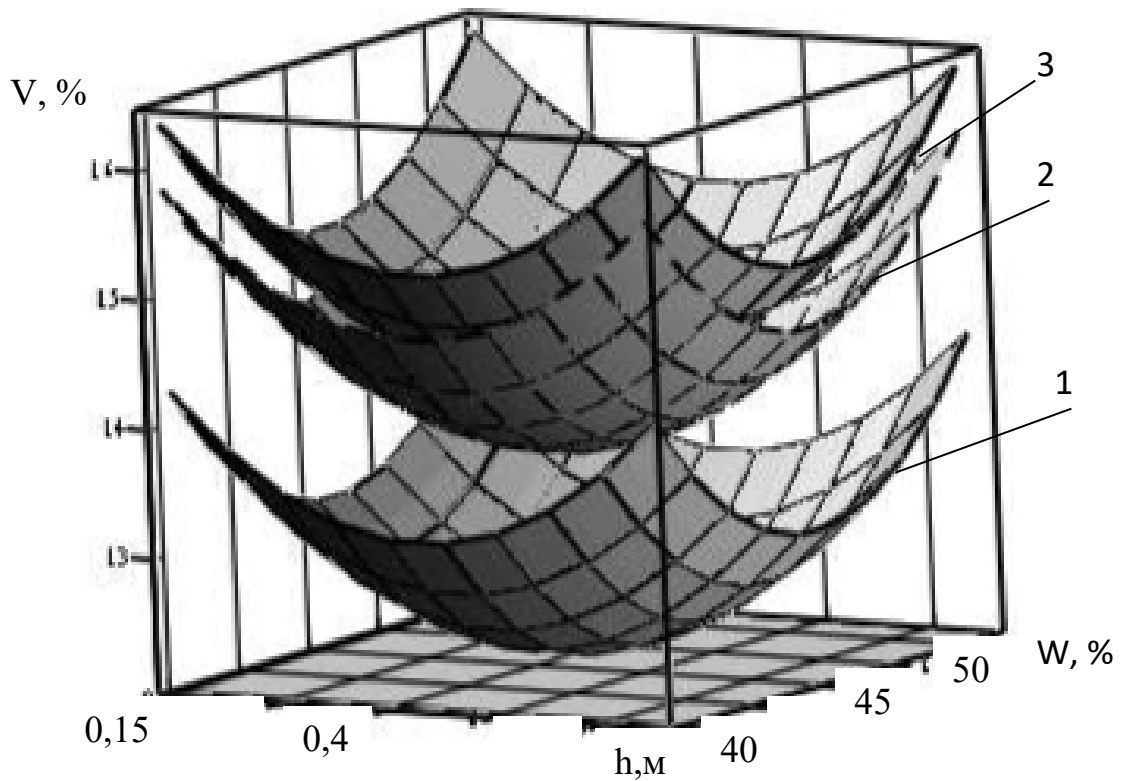


Рисунок 4.1 – Поверхні відгуку рівняння регресії, які характеризує залежність коефіцієнту варіації маси дози компості, що подана за одиницю часу за зміни факторів: вологість компостів, висота компостів у бункері при кут нахилу осі шнека до горизонту: 1 –  $\beta=0^{\circ}$ ; 2 –  $\beta=15^{\circ}$ ; 3 –  $\beta=-15^{\circ}$

## Висновки

На основі результатів випробування лабораторної установки шнекового дозатора можна зробити висновок, що вологості компостів, висота торфу у бункері та кута нахилу осі шнека мають вплив на точність дозування. Найвища точність дозування компостів забезпечується при куті нахилу осі шнека до горизонту  $\beta = 0^{\circ}$ .

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Ось основні вимоги з охорони праці та техніки безпеки при внесенні компостів, які мають на меті забезпечити безпеку працівників і мінімізувати ризики для здоров'я та навколишнього середовища:

### 1. Підготовка до роботи

**Перевірка техніки:** Перед початком внесення компостів необхідно перевірити технічний стан машин та механізмів (тракторів, розкидачів компосту), а також працездатність усіх їхніх складових (гальмівної системи, керування, сигналізації).

**Одяг і засоби індивідуального захисту:** Працівники повинні бути одягнені в спеціальний одяг, зокрема рукавички, захисні окуляри, респіратори, гумові чоботи та шапки для захисту від пилу, хімічних речовин і механічних пошкоджень.

**Інструктажі:** Перед початком роботи обов'язковий інструктаж щодо техніки безпеки, ознайомлення з потенційними небезпеками та правильними діями в екстремальних ситуаціях.

### 2. Охорона здоров'я

**Ризики для дихальних шляхів:** Компости можуть містити пил, що містить спори грибків та інші шкідливі мікроорганізми, тому необхідно використовувати респіратори або маски для захисту дихальних шляхів.

**Захист від шкідливих біологічних факторів:** Необхідно обережно поводитися з компостом, щоб уникнути контакту з потенційно шкідливими мікроорганізмами (бактерії, віруси, грибки).

**Захист від хімічних речовин:** Компости можуть містити хімічні добавки, які можуть бути токсичними або подразнювати шкіру та дихальні шляхи. Працівники повинні використовувати спеціальні засоби для захисту шкіри (наприклад, рукавички) та уникати контакту з хімічними добавками.

### 3. Безпека при роботі з технікою

Безпека на полях: Під час роботи з технікою потрібно дотримуватись правил безпеки на відкритих територіях (особливо при роботі з великою технікою) для уникнення травм через необережне поводження з транспортом.

Небезпека під час заповнення та розподілу компосту: Оператор техніки повинен стежити за рівнем компосту в агрегатах, уникаючи перевантаження і забезпечуючи правильну роботу розкидачів. Важливо контролювати швидкість руху техніки для уникнення перевитрати компосту або пошкодження рослин.

Застосування мобільних засобів: Оператори повинні бути навчені правильно використовувати техніку, включаючи регулювання глибини внесення компосту, а також повинні бути ознайомлені з процедурою зупинки механізмів при необхідності.

#### 4. Взаємодія з іншими працівниками

Взаємодія з іншими працівниками: Потрібно забезпечити, щоб між працівниками було чітке розуміння їхніх обов'язків і дій під час внесення компосту, уникати зайвого контакту з рухомою технікою.

Сигнали безпеки: У разі необхідності працівники повинні використовувати радіозв'язок або сигналізувати про небезпечні ситуації за допомогою жестів або спеціальних сигналів.

#### 5. Дії в разі аварійних ситуацій

Несправність техніки: У разі поломки чи аварії техніки необхідно припинити роботу, попередити інших працівників та викликати майстра для ремонту.

Пожежна безпека: Оскільки компости можуть містити органічні матеріали, які є потенційно пожежонебезпечними, необхідно забезпечити наявність вогнегасників у кожного працівника і на техніці.

Негайне припинення роботи: При виявленні пошкоджень в системах подачі компосту або інших критичних несправностей, роботу слід негайно припинити.

#### 6. Охорона навколишнього середовища

Контроль за викидами: Важливо здійснювати контроль за викидами в атмосферу пилу та неприємних запахів, що можуть поширюватися в результаті внесення компостів, та вживати заходів для мінімізації таких викидів.

Утилізація відходів: Усі відходи, що утворюються під час роботи з компостами (упаковка, залишки матеріалів), повинні утилізуватися відповідно до екологічних норм.

#### 7. Заключні заходи

Гігієна після роботи: По завершенню роботи важливо, щоб працівники ретельно вимили руки і обличчя, змінили одяг, особливо після контакту з компостами та технічними засобами.

Моніторинг стану здоров'я: Працівники повинні проходити регулярні медичні огляди для виявлення можливих захворювань, що можуть бути спричинені контактами з компостами або технічними речовинами.

Ці вимоги спрямовані на забезпечення здоров'я працівників, мінімізацію екологічних ризиків та забезпечення ефективності робіт з внесення компостів.

Продовжуючи розгляд основних вимог з охорони праці і техніки безпеки при внесенні компостів, можна виділити додаткові аспекти, що стосуються організації безпечної роботи, інструментів та технічних засобів для забезпечення здоров'я працівників і збереження навколишнього середовища.

#### 8. Освітлення та організація робочих місць

Освітлення: При роботі в умовах недостатнього освітлення (в ранкові або вечірні години) необхідно забезпечити належне освітлення робочих місць. Це особливо важливо для техніки, щоб уникнути аварій, а також для виконання операцій вручну.

Організація робочих місць: Внесення компостів зазвичай вимагає від працівників перебування на відкритому повітрі, тому робочі місця повинні бути облаштовані так, щоб забезпечити зручний доступ до техніки, мінімізувати шкідливий вплив погодних умов (дощ, вітер), а також гарантувати, щоб місця роботи не були перенавантажені.

#### 9. Навчання і підвищення кваліфікації



Навчання персоналу: Працівники повинні бути навчені техніці безпеки, зокрема знати, як правильно поводитися з компостами, які можуть містити хімічні добавки, а також як правильно керувати технікою. Регулярні курси підвищення кваліфікації і навчання також повинні включати теоретичні і практичні заняття.

Контроль за виконанням інструкцій: Необхідно організувати контроль за виконанням вимог охорони праці та техніки безпеки під час роботи, щоб уникнути порушень. Зокрема, треба регулярно перевіряти наявність і справність засобів індивідуального захисту, а також правильність експлуатації техніки.

#### 10. Контроль за впливом компостів на довкілля

Моніторинг впливу на ґрунти: Компости можуть мати позитивний вплив на родючість ґрунту, однак їх надмірне використання або неправильне внесення може призвести до забруднення ґрунтів і водних ресурсів. Тому важливо дотримуватися встановлених норм щодо кількості компостів, що вносяться, а також уникати внесення компосту в періоди інтенсивних дощів.

Забезпечення відповідності екологічним стандартам: З метою охорони навколишнього середовища необхідно суворо дотримуватись екологічних норм і стандартів щодо внесення компостів, контролювати викиди в атмосферу (пил) і водні ресурси.

#### 11. Надання першої допомоги

Наявність аптечок першої допомоги: На місці роботи повинні бути аптечки першої допомоги, оснащені засобами для надання допомоги при можливих травмах, порізах, а також при отруєннях або контакті з токсичними речовинами.

Дії при отруєнні: У разі контакту з токсичними або шкідливими речовинами, що можуть бути присутні в компостах, працівники повинні негайно звертатися за медичною допомогою, а також вживати заходів до нейтралізації ефекту (наприклад, промивання шкіри, застосування спеціальних антисептиків або антидотів).

#### 12. Захист від механічних травм

Остаточний контроль техніки: Після кожного циклу роботи важливо перевіряти механічні частини техніки, зокрема робочі органи розкидачів

компосту, а також забезпечити їх чистоту від залишків компосту. Це допомагає уникнути можливих поломок або аварійних ситуацій через перегрів або забруднення технічних частин.

Запобігання травмам через рухомі частини: При використанні розкидачів компостів особлива увага повинна бути приділена безпеці працівників у районі рухомих частин техніки. Всі машини повинні бути оснащені захисними екранами, бар'єрами, а також мати добре видимі сигнали аварійних ситуацій, щоб попередити про наближення рухомих частин.

### 13. Планування та координація робіт

Розподіл завдань серед працівників: Внесення компосту повинно проводитися за чітким планом, щоб уникнути випадкових контактів між різними робочими групами, а також забезпечити оптимальну роботу техніки. Робочі зони повинні бути чітко визначені, щоб уникнути заплутування робочих потоків і надмірного навантаження на персонал.

Встановлення графіка роботи: Розклад внесення компосту має бути добре організований, щоб мінімізувати фізичні навантаження на працівників та запобігти їх втомленості. Важливо дотримуватись встановлених перерв для відпочинку та вживання їжі, а також забезпечити працівникам доступ до води для збереження їхнього здоров'я при роботі в жарку погоду.

### 14. Відповідальність і контроль

Визначення відповідальних осіб: Для контролю за дотриманням техніки безпеки і охорони праці на всіх етапах внесення компостів повинна бути призначена відповідальна особа, яка контролюватиме всі аспекти безпеки і здоров'я працівників.

Оцінка ризиків: Регулярно проводиться оцінка ризиків, пов'язаних з використанням компостів, з урахуванням факторів навколишнього середовища та стану здоров'я працівників. Виявлені ризики повинні бути своєчасно усунуті за допомогою відповідних заходів.

## **Висновки**

Безпека працівників при внесенні компостів вимагає комплексного підходу, що включає належне планування робіт, використання засобів індивідуального захисту, правильну експлуатацію техніки та дотримання норм охорони навколишнього середовища. Техніка безпеки має включати як організаційні заходи, так і чітко визначені процедури для мінімізації ризиків для здоров'я працівників і довкілля.

## 6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА

Для розрахунку економічної ефективності роботи шнекового дозатора при внесенні компостів на ягідниках потрібно враховувати кілька основних показників.

### Визначення параметрів роботи шнекового дозатора

- Продуктивність шнекового дозатора (Q): це кількість компосту, яку він може внести за одиницю часу. Наприклад, якщо дозатор може вносити 2 т/год.
- Вартість роботи дозатора (C<sub>d</sub>): вартість операції, пов'язана з використанням шнекового дозатора. Може включати витрати на енергію, обслуговування, зарплату оператора тощо.
- Вартість компосту (C<sub>c</sub>): ціна за одиницю компосту (наприклад, за тонну).

### Визначення витрат на внесення компосту

Для цього потрібно розрахувати, скільки компосту буде внесено на 1 гектар ягідників за певний період часу, наприклад, за сезон.

- Норма внесення компосту (N): визначається в тоннах на гектар. Наприклад, для ягідників в межах 10 т/га.
- Час на внесення (T): час, необхідний для внесення компосту на 1 гектар. Для цього ділимо площу на продуктивність дозатора. Якщо дозатор працює з продуктивністю 2 т/год, на внесення 10 т потрібно 5 годин.

### Розрахунок економічної ефективності

1. Витрати на внесення компосту за сезон (V<sub>s</sub>):

$$V_s = (C_d \cdot T) + (C_c \cdot N) \quad (6.1)$$

де:

C<sub>d</sub> - вартість роботи дозатора за годину,

T - час роботи дозатора на 1 га,

C<sub>c</sub> - вартість компосту за тонну,

N - норма внесення компосту на гектар.

2. Підвищення врожайності ягідників ( $\Delta Y$ ): Збільшення врожайності від внесення компосту можна оцінити за допомогою досліджень або з урахуванням середнього підвищення врожайності, яке дає компост. Наприклад, компост може підвищити врожайність на 20% ( $\Delta Y = 0.2$ ).

3. Доходи від додаткового врожаю ( $D_v$ ): Для оцінки доходів необхідно знати ціну ягід (100 грн/кг).

$$D_v = Y \cdot P \cdot \Delta Y \quad (6.2)$$

де:

$Y$  - початкова врожайність ягід на 1 га до внесення компосту (5 т/га),

$P$  - ціна за одиницю врожаю (100 грн/кг).

4. Економічна ефективність ( $E$ ): Визначається як співвідношення додаткових доходів і витрат на внесення компосту:

$$E = D_v / V_s \quad (6.3)$$

Якщо отримане значення більше за 1, то проект є економічно вигідним.

Вхідні дані:

- Продуктивність шнекового дозатора: 2 т/год.
- Вартість роботи дозатора: 200 грн/год.
- Вартість компосту: 300 грн/т.
- Норма внесення компосту: 10 т/га.
- Час роботи дозатора на 1 гектар:  $10\text{т}/2\text{т/год} = 5$  годин.
- Початкова врожайність: 5 т/га.
- Ціна ягід: 100 грн/кг.
- Підвищення врожайності: 20%.

1. Витрати на внесення компосту за сезон:

$$V_s = (200 \text{ грн/год} \cdot 5 \text{ год}) + (300 \text{ грн/т} \cdot 10 \text{ т}) = 1000 \text{ грн} + 3000 \text{ грн} = 4000 \text{ грн.}$$

2. Доходи від додаткового врожаю:

$$Dv=5 \text{ т/га} \cdot 100000 \text{ грн/т} \cdot 0.2=100000 \text{ грн.}$$

3. Економічна ефективність:

$$E=100000 \text{ грн} / 4000 \text{ грн}=25$$

### **Висновки**

Згідно з розрахунками, економічна ефективність роботи шнекового дозатора при внесенні компосту на ягідниках дуже висока і термін окупності становить період в межах року. Це означає, що витрати на внесення компосту є виправданими і навіть надзвичайно вигідними з економічної точки зору, оскільки додатковий урожай значно перевищує витрати на виконання цієї операції.

Застосування шнекового дозатора для внесення компосту в сільському господарстві є економічно вигідним інвестиційним рішенням.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведено аналіз існуючих конструкцій машин для внесення компостів та утворення каналів, розроблено схему машини для локального внесення компостів на основі верхового торфу.

1. Продуктивність шнека змінюється в діапазоні  $Q = 2 \dots 10 \text{ м}^3 / \text{хв}$  при зміні діаметра шнека  $D = 0,1 \dots 0,25 \text{ м}$ , частоті обертання  $n = 200 \dots 1000 \text{ хв}^{-1}$ . Дозування компостів при високих обертах шнека забезпечить додаткове змішування та подрібнення компосту на основі верхового торфу під час дозування.

2. Насипна щільність компостів на основі верхового торфу залежить від вологості і становить  $\gamma_0 = 115 \dots 252 \text{ кг/м}^3$ .

3. Запропонований шнековий дозатор компостів для внесення у утворені канали є робото здатний. Точність дозування компостів зростає із збільшені вологості матеріалу в межах  $W = 40 \dots 45\%$ . Найвища точність дозування забезпечується при куті нахилу осі шнека до горизонту  $\beta = 0^\circ$ .

4. Безпека працівників при внесенні компостів вимагає комплексного підходу, що включає належне планування робіт, використання засобів індивідуального захисту, правильну експлуатацію техніки та дотримання норм охорони навколишнього середовища. Техніка безпеки має включати як організаційні заходи, так і чітко визначені процедури для мінімізації ризиків для здоров'я працівників і довкілля.

5. Згідно з розрахунками, економічна ефективність роботи шнекового дозатора при внесенні компосту на ягідниках дуже висока і термін окупності становить період в межах року. Це означає, що витрати на внесення компосту є виправданими і навіть надзвичайно вигідними з економічної точки зору, оскільки додатковий урожай значно перевищує витрати на виконання цієї операції. Застосування шнекового дозатора для внесення компосту в сільському господарстві є економічно вигідним інвестиційним рішенням.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Зеленова, Л. М., Швидка, О. В. «Технології вирощування та використання органічних добрив у сільському господарстві». — К.: Аграрна наука, 2020. — 256 с.
2. Іванов, М. І. «Технологія органічних добрив і компостів». — Харків: Вища школа, 2018. — 184 с.
3. Тимошенко, І. Л. «Використання органічних добрив для підвищення родючості ґрунтів». — Одеса: Одеський аграрний університет, 2017. — 350 с.
4. Никоненко, О. А., Трофімова, Н. Ю. «Загальні основи агрохімії та використання органічних добрив». — Львів: Наукова думка, 2019. — 210 с.
5. Громадська організація "Екологія та розвиток". «Компостування: технології, переваги та вплив на навколишнє середовище». — Київ, 2021. — 145 с.
6. Burt, C. J., and Davis, E. W. «Composting in Agriculture: A Guide to Managing Organic Wastes in Crops and Gardens». — Oxford: Oxford University Press, 2022.
7. Amlinger, F., et al. «Composting of Organic Waste: Technology and Environmental Benefits». — Berlin: Springer-Verlag, 2020.
8. Артамонов, О. В. «Основи екології та агроекології». — К.: Урожай, 2017. — 370 с.
9. Мальцева, О. І., та ін. «Інноваційні технології органічного землеробства». — Київ: Наукова думка, 2021. — 230 с.
10. Gartner, T., and King, J. «Organic Fertilizers and Their Role in Sustainable Agriculture». — Chicago: University Press, 2019.
11. Зубр, І. С., Попова, Л. В. «Основи екологічного землеробства». — Х.: Харківська державна академія технологій, 2022. — 220 с.
12. Коваленко, В. О. «Системи удобрення та їх вплив на родючість ґрунтів». — К.: Вища школа, 2019. — 274 с.



13. Tisdell, C. A. «Sustainable Agricultural Practices and the Role of Organic Fertilizers». — New York: Routledge, 2021.
14. Barton, L., et al. «Soil Fertility and Organic Farming». — Cambridge: Cambridge University Press, 2020.
15. Шевчук, М. О., Карпенко, М. Г. «Технології органічного землеробства в Україні». — К.: Видавництво УААН, 2021. — 200 с.
16. Gomiero, T., et al. «The Role of Compost in Sustainable Agriculture». — London: Springer Nature, 2018.
17. Brown, M., and Shepherd, M. «Composting and Soil Health: Organic Fertilizers in Modern Agriculture». — New York: Springer, 2022.
18. Москаленко, В. В. «Охорона навколишнього середовища та сталий розвиток сільського господарства». — К.: Наукова думка, 2021. — 340 с.
19. Perry, L., and Smith, J. «The Benefits of Composting and Its Role in Waste Management». — Oxford: Oxford University Press, 2019.
20. Murphy, J., et al. «Soil Management and Composting: A Practical Guide for Farmers». — London: Elsevier, 2020.
21. Оверченко, В. І. «Сільськогосподарське машинобудування та технології обробітку ґрунту». — К.: Агроосвіта, 2018. — 255 с.
22. Бондаренко, М. П., Сидоренко, О. І. «Основи агрономії та агрохімії». — Харків: ХНУ, 2020. — 312 с.
23. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). «Composting: An Overview of Best Practices for Organic Waste Management». — Washington, D.C.: EPA Publications, 2021.
24. Sanchez, P. A., and Logan, T. J. «Soil Fertility and Fertilizers in Agriculture». — London: Springer, 2020.
25. Ушаков, О. В., та ін. «Системи органічного землеробства в умовах України». — К.: Видавництво НАУ, 2019. — 289 с.
26. Zhu, J., and Li, Y. «Composting and Soil Improvement: Current Status and Future Directions». — London: Elsevier, 2021.

27. Демиденко, О. В., та ін. «Технології органічного землеробства: Теорія та практика». — Львів: ЛНУ, 2020. — 235 с.
28. Haug, R. T. «Composting: A Guide to the Art and Science of Composting». — Boca Raton: CRC Press, 2019.
29. Кулик, М. В., та ін. «Екологічні аспекти сільськогосподарських технологій». — К.: Наукова думка, 2018. — 312 с.
30. Şahin, M., and Ozturk, S. «Organic Waste Recycling: Composting, Beneficial Effects and Agricultural Applications». — New York: Springer, 2022.

## ДОДАТКИ