

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**  
Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА КОМПОСТУ**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-1-21

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Шинкаренко Олександр Петрович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Дудін Володимир Юрійович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Шинкаренко Олександр Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів мобільного змішувача компосту.

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«18» жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи «Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування компосту, зокрема змішувач компонентів компосту. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичні дослідження процесу змішування компонентів компосту. 3. Експериментальні дослідження процесу змішування компонентів компосту. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність застосування мобільного змішувача компосту. Загальні висновки. Список використаної літератури

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Дудін В.Ю., доцент		
2	Дудін В.Ю., доцент		
3	Дудін В.Ю., доцент		
4	Деркач О.Д., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Мельянцов П.Т., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.10.2022 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2022 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2022 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2022 р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2022 р.	
5	Економічний	до 26.11.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2022 р.	

**Студент** \_\_\_\_\_ **Шинкаренко О. П.** \_\_\_\_\_  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_ **Дудін В. Ю.** \_\_\_\_\_  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )



## АНОТАЦІЯ

Шинкаренко О. П. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів мобільного змішувача компосту / Дипломна робота представлена на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

Дипломна робота складається з п'яти основних розділів та змісту, вступу, висновків, списку використаної літератури. В першому розділі проведений огляд подрібнювачів стеблових кормів, розроблена їх класифікація, основні напрямки теорії процесу. У другому розділі висвітлено питання теоретичного обґрунтування параметрів і режимів роботи мобільного змішувача компосту. Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням мобільного змішувача компонентів компосту. В частині з охорони праці досліджено мобільний змішувач компонентів компосту з точки зору охорони праці. Розділ п'ять – економічна ефективність застосування мобільного змішувача компосту.

**Ключові слова:** компост, змішування, мобільність, потужність, енергоємність.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОЯКІСНИХ КОМПОСТІВ	9
1.1 Технології виробництва компостів	5
1.2 Аналіз технологій приготування компостів	10
1.3 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми мобільного змішувача компонентів компосту	16
1.4 Огляд досліджень процесу змішування компонентів компосту	17
1.5 Висновки	21
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ КОМПОСТА МОБІЛЬНИМ ЗМІШУВАЧЕМ	22
2.1 Модель змішування компосту	22
2.2 Визначення режимних та конструктивних параметрів мобільного змішувача	25
2.3 Висновки	43
3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	44
3.1 Методика визначення нерівномірності змішування компонентів компосту	48
3.2 Методика обробки результатів експериментів	50
3.3 Визначення об'ємної продуктивності мобільного змішувача компонентів компосту	52
3.4 Результати визначення нерівномірності змішування компонентів компосту	57
3.5 Висновки	60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
4.1 Загальні визначення та поняття	62

	7
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	63
4.3 Заходи по забезпеченню захисту робітника, який працює зі змішувачем від дії шкідливих та небезпечних факторів	63
4.4 Правила безпеки при виконанні робіт зі змішування компостів	65
4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	67
4.6 Висновки	69
5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОГО МОБІЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76

## ВСТУП

Урожайність сільськогосподарських культур перебуває у прямій залежності від ґрунтової родючості, що характеризується вмістом у ґрунті органічної речовини його основної складової – гумусу.

Предмет дослідження – закономірності процесу виробництва високоякісних компостів у мобільному змішувачі.

Метою цієї роботи є обґрунтування параметрів процесу змішування компонентів компосту в мобільному змішувачі, що забезпечують отримання високоякісних компостів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Теоретично обґрунтувати конструктивні та режимні параметри мобільного змішувача компонентів компосту.
2. Дослідити вплив різних факторів на продуктивність, якісні та енергетичні показники роботи мобільного змішувача компонентів компосту
3. Розробити методику інженерного розрахунку мобільного змішувача компонентів компосту.
4. Провести оцінку економічної ефективності виробництва компостів мобільним змішувачем у польових умовах.



# 1.АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОЯКІСНИХ КОМПОСТІВ

## 1.1 Технології виробництва компостів

Низька ефективність використання органічних добрив обумовлена їхньою поганою якістю, відсутністю ефективних технологій підготовки до застосування добрив, слабкою забезпеченістю гноєсховищами, спеціалізованою технікою.

Низька ефективність використання органічних добрив обумовлена їхньою поганою якістю, відсутністю ефективних технологій підготовки до застосування добрив, слабкою забезпеченістю гноєсховищами, спеціалізованою технікою.

Іншою стороною проблеми є наявність у господарствах величезної кількості рідкого та напіврідкого гною, який не може використовуватися як органічне добриво без відповідних обробок. Відходи тваринництва роками зберігаються та становлять пряму загрозу забруднення компонентів природного середовища, зокрема поверхневих та підземних вод.

Через поверхневий, дренажний та внутрішньогрунтовий стік із земель сільськогосподарського призначення, забруднюються гідрографічна мережа та підземні води територій. При цьому найбільшу небезпеку для водних джерел становлять саме тваринницькі ферми, комплекси та птахофабрики.

Найважливішим недоліком сучасного тваринництва є занижений обсяг гноєсховищ для зберігання гною протягом поза вегетаційного періоду. У більшості господарств обсяги гною, що накопичується за стійловий період, перевищують обсяги гноєсховищ у 1,5–2 рази. В результаті відбувається розмивання гною дощами, переповнення сховищ та витікання з них рідкої

фракції. Крім того, існуючі гноєсховища, як правило, не відповідають природоохоронним вимогам.

Не можна не згадати про практикований цілорічний вивіз рідкого і напіврідкого гною на поля, використання як гноєсховищ низовинних складок місцевості або земляних польових майданчиків, а також про відсутність захисних споруд для затримання та збору стічних і зливових вод, що містять гною.

Для збереження поживних речовин, придушення схожості насіння бур'янів, знезараження, зневоднення та утилізації гною як добрива застосовуються різні способи переробки гною (рисунок 1.1) [1, 66, 109, 168].

## **1.2 Аналіз технологій приготування компостів**

Компостування – це екзотермічний процес (з тепла) біологічного окислення, в якому органічна речовина піддається аеробної деструкції змішаною популяцією мікроорганізмів в умовах певної температури та вологості. Отримуваний продукт (компост) представляє цінність як органічне добриво та засіб, що покращує структуру ґрунту.

В даний час існує багато прийомів підготовки гною до використання: анаеробне зброджування, з отриманням біогазу; аеробна біотермічна ферментація: у стаціонарних ферментаторах; у буртах. Практично всі методи підготовки вимагають високих капітальних витрат, крім того, що застосовується обладнання має високу металоємність та енергоспоживання, що ставить під питання економічну доцільність процесу. У зв'язку з цим метод аеробного компостування у буртах є практично єдино здійсненим у реальних умовах. Цей спосіб дозволяє отримувати чисте добриво, що не містить здатних до проростання насіння бур'янів, личинок гельмінтів і не потребує внесення пестицидів. Найважливіші фактори, що впливають на температурний режим у буртах та інтенсивність біотермічного процесу при

компостування підстилкового гною - гомогенність вихідної маси і ступінь її аерації.

З урахуванням багатокладності сільського господарства та економічної доцільності першому плані виходить польова технологія виробництва компостів. Основними елементами технології є: доставка вихідних компонентів (гною, соломи, мінеральних добрив), їх дозована видача, змішування та формування бурта заданих розмірів.

Існує кілька способів компостування гною.

**Пошаровий спосіб компостування.** На підготовлений майданчик для компостування транспортним засобом доставляють вологоємний матеріал (солому або торф) і завантажують у купи. На майданчику розрівнюють солому і формують із неї солом'яну подушку. Потім на солому грейферним навантажувачем укладають шар гною. Пошарово укладаючи шари соломи та гною, формують багатошаровий штабель. Завершують штабель шаром соломи. Готовий штабель має ширину біля основи 3,5...4 метри, висоту 1,5...2 метри та довільну довжину. Після двомісячної витримки компосту готується суміш і вантажиться в транспортний або розкидальний засіб та вивозиться на поле.

Перевага даного способу укладання полягає в тому, що можна використовувати серійну техніку для приготування компостів. Пошаровий спосіб можна використовувати будь-якої пори року.

Недоліками цього способу є: нерівномірність розподілу компонентів за обсягом штабеля, використання ручної праці при формуванні солом'яної подушки та складність витримування заданого співвідношення компонентів.

**Осередковий метод.** На відміну від пошарового способу приготування компостів, гній укладають на подушку з вологоємного матеріалу (торфу або соломи). окремими купами на відстані 1 метра один від одного, а проміжки

між ними заповнюють соломною чи торфом. Гній закривається шаром вологоємного матеріалу, всередину якого осередками укладаються нові порції і так далі, поки висота бурта компосту, що готується, не досягне 2,5 м. Осередковий спосіб компостування гною забезпечує краще розігрівання компостів у зимове час.

Основним недоліком цього є велика нерівномірність перемішування компонентів, труднощі витримування заданого їх співвідношення.

Для приготування компосту траншейним способом необхідно будівництво бетонованої траншеї для перемішування компонентів та майданчика. для компостування, що примикає до карантинного гноєсховища.

Вологомісткий матеріал рівномірно розподіляють по майданчику траншеї. Потім у неї подають гній у необхідній для перемішування кількості. Гній ретельно перемішують із компостованим матеріалом бульдозером. Під час процесу стежать за вологістю суміші та при необхідності додають до неї необхідний інгредієнт. Вологість суміші має перевищувати 70...75%. При більшому значенні вологості не забезпечуватиметься достатнє біотермічне знезараження компосту. Приготовлену суміш укладають на майданчику в штабель заввишки 2,0...2,5 м і шириною біля основи 3,5...4,0 м. Після двомісячного витримування в штабелі компост можна використовувати як органічне добриво.

Перевагою даної технології є збільшення виходу органічних добрив, недоліками – великі матеріальні витрати на будівництво карантинних сховищ та порушення біотермічного процесу через попадання вологи у траншею.

**Майданчиковий спосіб** застосовується при приготуванні органо-мінеральних сумішей із заданими фізико-хімічними показниками.

Ця технологія включає наступні операції. На майданчик певного розміру завозять вологоємний матеріал і формують з нього подушку завтовшки

0,25...0,30 м. Потім розкидачами мінеральних добрив вносять калійні чи вапняні матеріали. Зверху укладають і розрівнюють шар гною, додають при необхідності фосфоритне борошно і все перемішують важкою дисковою бороною. Отриману суміш бульдозером згрібають у штабелі шириною 4...6 м і висотою 3,0...3,5 м.

Перевагою даного способу є отримання органо-мінеральної суміші із заданими фізико-хімічними показниками та доступність його виконання господарських умов. Недоліки полягають у нерівномірності розподілу всіх компонентів через відсутність технічних засобів, які забезпечують якість процесу.

Найбільш доступним з перерахованих вище способів компостування є майданчиковий метод, оскільки вимагає великих капіталовкладень.

Доцільність застосування тієї чи іншої схеми виготовлення компостів диктується місцевими умовами: способом утримання худоби; віддаленістю полів, що удобрюються; кількістю вологоємного матеріалу, що використовується в даній місцевості; наявністю у господарстві вантажно-транспортних засобів, розкидачів тощо.

Таким чином, для тваринницьких ферм, де виробляється рідкий та напіврідкий гній, доцільна розробка перспективних технологій переробки їх у високоякісне органічне добриво з розробкою технічних засобів реалізації.

Ефективним прийомом є виробництво компостів (органомінеральних сумішей) на основі напіврідкого гною, соломи з додаванням мінеральних добрив (рисунок 1.2).

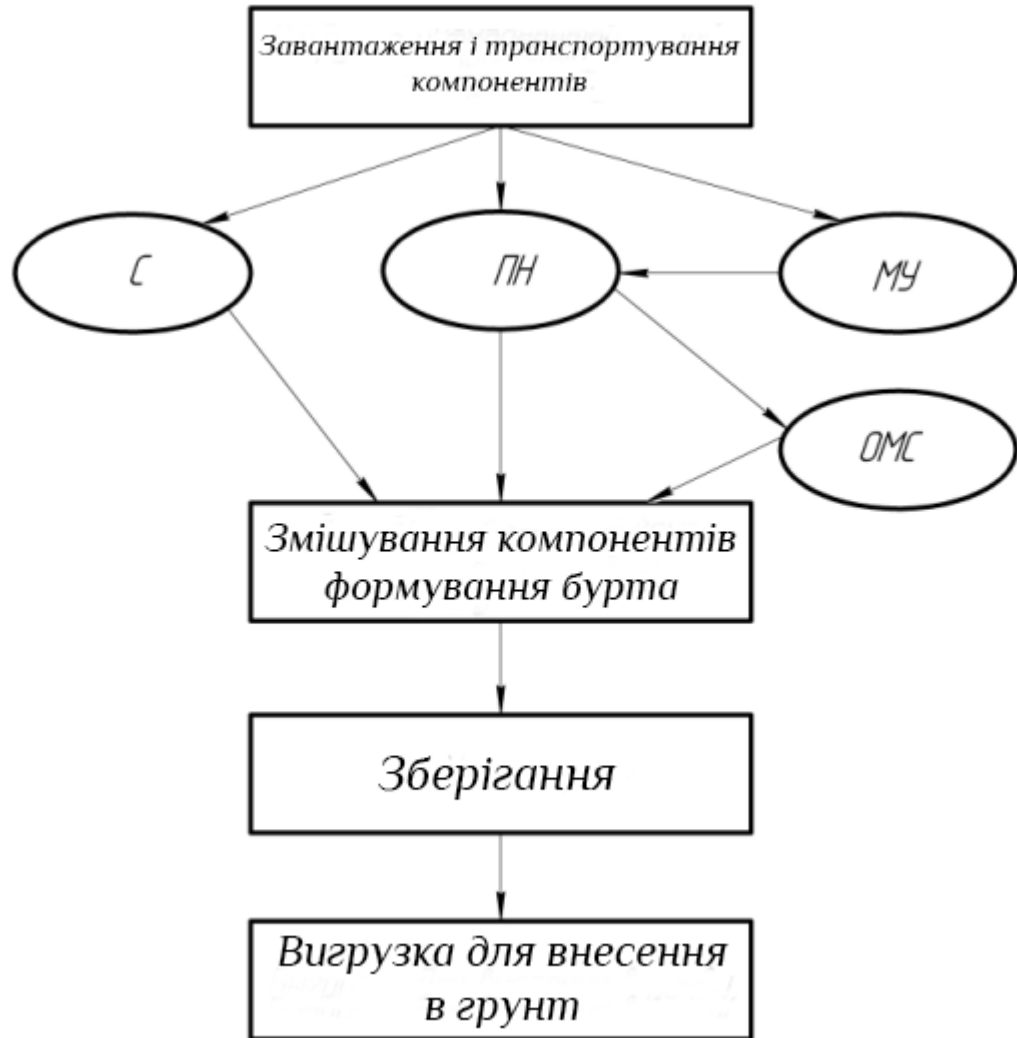


Рисунок 1.2 – Технологічна схема процесу виробництва компостів

С – солома; ПН - напіврідкий гній; МУ – мінеральні добрива;

ЗМС – органо-мінеральна суміш

В результаті проведеного аналізу технологій виробництва компостів та технічних засобів для їх реалізації, встановлено, що існуючі технології виробництва компостів не дозволяють вирішити основне завдання з мобілізації органічної сировини для збільшення обсягів виробництва високоякісних органічних добрив з мінімалізацією витрат на їх виробництво.

Для вирішення поставленого завдання пропонується польова технологія з розробкою мобільного змішувача компонентів компосту.

Технологічний процес у своїй протікає так. Напіврідкий гній із гноєсховища завантажується в транспортно технологічну машину (ТТМ), в ємність якої додають, за потреби, 100–150 кг мінеральних добрив. У процесі транспортування агрегату до майданчика компостування відбувається перемішування напіврідкого гною з мінеральними добривами, утворюючи органо-мінеральну суміш (ОМС). Одночасно на майданчику встановлюють мобільний змішувач компонентів компосту. Обидва агрегати встановлюються на майданчику паралельно до напрямку руху та з'єднуються за допомогою гофрованого шлангу. У процесі роботи солома та ЗМС від ТТМ подаються дозовано в змішувальну камеру, де компоненти перемішуються і лопатями через дефлектор викидаються на майданчик, одночасно формуючи бурт компосту.

Таким чином:

- Найбільш перспективною є технологія виробництва компостів з дозованою подачею вихідних компонентів у змішувальну камеру;
- процес змішування компонентів компосту має бути безперервним, із заданою якістю змішування;
- З позиції економічної доцільності змішувач компонентів компост повинен поєднувати основні технологічні операції: змішування і одночасне формування бурта на майданчику біля скирта соломи.

Отримані результати аналізу технологій та технічних засобів виробництва компостів у польових умовах дозволяють сформулювати **наукову гіпотезу**: підвищення якості змішування компонентів компосту в мобільному змішувачі можливо шляхом рівномірної подачі соломи і напіврідкого гною ширині змішувальної камери у науково обґрунтованій зоні змішування.

Висунуто і **робочу гіпотезу**: отримання високоякісних компостів у мобільному змішувачі можливо шляхом дозованої подачі соломи донним

транспортером і напіврідкого гною через порожнистий вал і лопаті в зону змішування з одночасним формуванням бурта компосту в процесі його вивантаження з камери змішування.

Основною перевагою запропонованої технології переробки напіврідкого гною є можливість точного дозування компонентів, його якісного перемішування та отримання компосту із заданими фізикохімічними властивостями, а також скорочення ряду технологічних операцій, пов'язаних з перемішуванням компонентів та формуванням бурта. Отже, базовою машиною при виробництві високоякісних органічних добрив на основі напіврідкого гною є мобільний змішувач компонентів компосту, що вимагає обґрунтування конструктивних та технологічних параметрів його робочих органів, що передбачено цим дослідженням.

### **1.3 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми мобільного змішувача компонентів компосту**

У зв'язку з вищевикладеним для реалізації польової технології виробництва компостів із заданими фізико-хімічними властивостями запропоновано мобільний змішувач компонентів компосту.

Мобільний змішувач компонентів компосту виконаний на базі розкидачу добрив типу ПРТ (рисунок 1.8). Робочі органи мобільного змішувача є обладнання, встановлене в задній частині кузова ПРТ 10.

На кузові 1 встановлена змішувальна камера 7 з лопатевим валом 6, транспортером 4, що зчісує. У передній частині рами встановлений фекальний насос 2 із приводом від ВОМ трактора. Нагнітальний патрубок насоса 8 з'єднаний з нагнітальною трубою 11 змішувальної камери через засувку 9, а патрубок, що всмоктує, - через засувку 10 з ємністю для напіврідкого гною. Змішувальна камера 7 виконана у вигляді порожнистого валу 6 з лопатками 5. Зчісуючий транспортер 4 можна встановлювати за допомогою гідроциліндрів



під різним кутом до горизонту, регулюючи цим товщину соломи, що подається в змішувальну камеру.

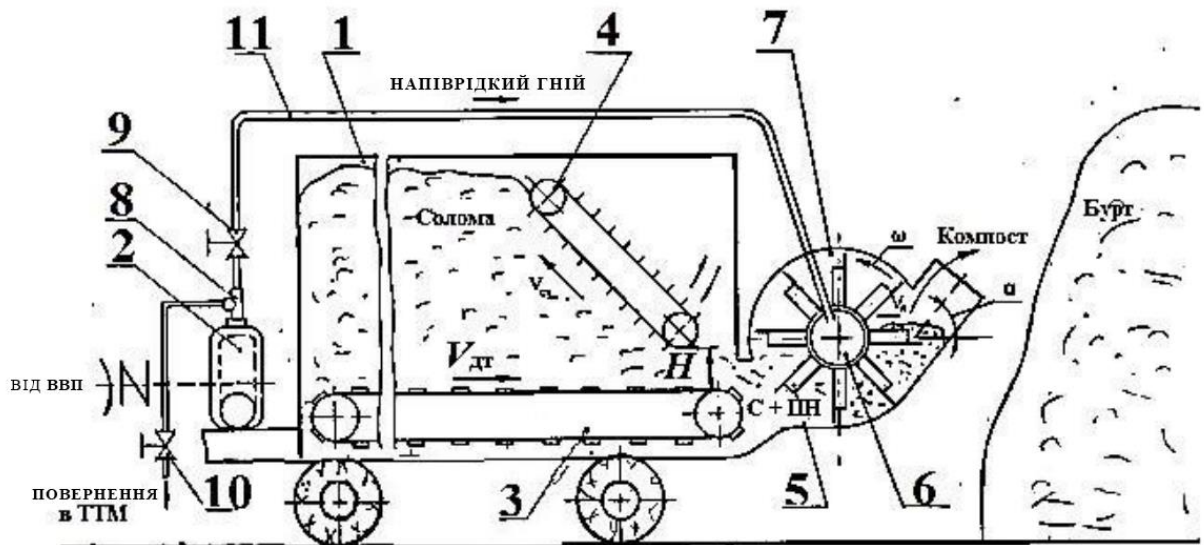


Рисунок 1.8 – Схема роботи мобільного змішувача: 1 – кузов ПРТ, 2 – насос, 3 – донний транспортер, 4 – зчісуючий транспортер, 5 – порожниста лопатка, 6 – порожнистий вал, 7 – змішувальна камера, 8 – нагнітальний патрубок, 9,10 – засувки, 11 – нагнітальний трубопровід

Принцип роботи машини полягає у змішуванні дозованого шару соломи, що подається донним транспортером 3, з дозованою сумішшю напіврідкого гною та мінеральних добрив, що подаються насосом 2, с укладанням отриманої суміші в бурт лопатевим барабаном через дефлектор.

#### 1.4 Огляд досліджень процесу змішування компонентів компосту

Існує велика кількість різних конструкцій змішувачів. Їх можна згрупувати за наступним ознакам:

- по виду змішуваних матеріалів - рідин, сипких і в'язких матеріалів;
- залежно від здійснення процесу – періодичного та безперервної дії;
- за способом встановлення – стаціонарні та пересувні (мобільні);

- за способом змішування матеріалу – механічні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані;
- за способом розвантаження – з ручним розвантаженням, саморозвантажувальні, з механічним розвантаженням;
- за способом впливу на матеріали, що змішуються – чисто перемішування, перемішування з ущільненням, перемішування у зваженому стані;
- залежно від розташування поздовжньої осі робочого органу – вертикальні, горизонтальні та під кутом до горизонту;
- За характером процесу змішування частинок - з поршнеvim рухом матеріалу без поздовжнього переміщення частинок, з частковим поздовжнім переміщенням частинок та з рознесенням введеного матеріалу по всьому внутрішньому обсягом;
- за швидкісним режимом роботи – швидкісні (більше 30 оборотів у хвилину) та тихохідні;
- за способом впливу на суміш – відцентрові, гравітаційні, вібраційні, шнекові, лопатеві, барабанні та комбіновані.

Найбільшого поширення набули змішувачі з нерухомим корпусом та рухомими робочими органами, що забезпечують перемішування (примусове перемішування). До них відносяться: шнековий, лопатевий; планетарний з лопатями, що обертаються навколо вертикальної осі та разом з ній – навколо осі вертикального корпусу змішувача; спіральний протиточний, має в якості робочих органів гвинтоподібні сталеві смуги, одна з яких при обертанні подає матеріал у праву, інші – в ліву сторону; вертикальний змішувач із змішуючим шнеком, що складається з вертикальної циліндричної ємності з конічною основою, що перемішує елементом якого є шнек, розташований у центрі вертикально; відцентровий змішувач, що складається з корпусу, всередині

якого обертається порожнистий конус, звернений великою основою вгору та ін.

До переваг змішувачів цієї групи можна віднести:

- Висока якість перемішування;
- Легкість завантаження та розвантаження, завдяки чому ці апарати легко можна

використовувати в установках безперервної дії;

- Можливість змішування вологих і навіть пастоподібних матеріалів.

Основними недоліками цих машин є:

- Проблема очищення, особливо при змішуванні вологих матеріалів;
- Великий питома витрата потужності;
- висока вартість.

Всі ці апарати дорожчі за змішувачі з корпусом, що обертається.

До групи змішувачів, в яких матеріал перемішується під час руху корпуси (вільне перемішування), відносяться: барабанний – обертовий барабан із центральною віссю обертання; кубічний - з віссю, розташованою по двом діаметрально протилежним вершинам; двоконусний – два зварені разом конуса, що обертаються навколо осі, перпендикулярної до осі конусів; V-подібний та W-подібний.

У таких змішувачах перемішування відбувається при багаторазовому перекидання завантаженого матеріалу.

Швидкість процесу в них дуже мала, тому що при підвищенні числа оборотів (більше 50 за хвилину) матеріал притискається до стін під дією відцентрових сил, і процес зупиняється.

Змішувачі цього можуть бути лише періодичної дії, корисна ємність їх становить лише 50% від обсягу резервуара, а інакше не відбувається перекидання матеріалу і через це погіршується якість змішування. Також у таких змішувачах неможливе змішування липких та гігроскопічних матеріалів через їхнє прилипання до стінок.

Перевагами цих змішувачів можна вважати: простоту конструкції, незначне споживання потужності, можливість швидкого та повного очищення.

Так як гній має специфічні властивості, що ускладнюють процес сумішоутворення з іншими компонентами, ефективно змішування може відбуватися тільки за певного поєднання елементів конструкції змішувача.

Таким чином, з усіх перерахованих конструкцій найбільш підходящою для приготування компосту з напіврідкого гною є лопатевим змішувач.

При змішуванні в змішувачі відбувається переміщення та перерозподіл частинок компонентів. У результаті має утворитися таке стан суміші, в якому ймовірність знаходження частки будь-якого складового компонента дорівнюватиме всіх точок суміші. Однак такий ідеальної суміші у процесі змішування отримати неможливо.

Ідеальну суміш можна отримати спеціальними методами (наприклад, ручне впорядковане розкладання суміші, що складається з різних кульок). Однак така суміш не є рівноважною, а дає при подальшому перемішуванні випадковий розподіл.

Достовірність оцінки якості змішування при отриманні суміші напіврідкого гною, мінеральних добрив та солом'яного різання багато в чому залежить від правильного вибору показника оцінки однорідності суміші, маси та кількості проб, методу визначення концентрації контрольованого компонента у пробах. Усі ці умови мають бути пов'язані з характеристикою

одержуваної суміші менш трудомісткі і не залежати від характеру перемішування.

В даний час існує велика кількість робіт з дослідження сумішоутворення та визначення якості одержуваної суміші, але немає загальноприйнятого критерію та показника оцінки якості придатних для будь-яких умов процесу змішування.

Для визначення якості змішування в даний час відомо більше 30 різних показників.

Ця обставина пояснюється, з одного боку, недостатньою вивченістю процесу сумішоутворення, з іншого – складністю, впливом багатьох чинників процес змішування.

### **1.5 Висновки.**

Продуктивність змішувачів залежить від частоти обертання валу, коефіцієнта заповнення камери (фактичної (корисної) ємності змішувача), від конструкції лопатей та їх розташування на валу, і навіть фізико-механічних властивостей продукту.

Таким чином, одним із ефективних рішень проблеми утилізації напіврідкого гною на тваринницьких фермах є технологія виробництва компостів мобільним змішувачем у польових умовах.

Мобільний змішувач компонентів компосту забезпечує дозовану подачу компонентів у змішувальну камеру та вивантаження суміші з одночасним формуванням бурту заданих розмірів.

Найбільш універсальними є лопатеві змішувачі, які придатні для змішування рідких та волого-поглинальних матеріалів, до яких відносяться напіврідкий гній та солома.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ КОМПОСТА МОБІЛЬНИМ ЗМІШУВАЧЕМ

### 2.1 Модель змішування компосту

Основним параметром, що характеризує якість отриманого компосту, є необхідна рівномірність розподілу компонентів у заданому обсязі, яка може бути досягнута шляхом точного дозування компонентів компосту, їх подальшого рівномірного перемішування та вивантаження з одночасним формуванням бурта. Аналіз методів моделювання різних систем показав, що з вирішення поставлених завдань найбільш прийнятним є функціональне моделювання. Суть функціонального моделювання полягає у розбиття об'єкта, що досліджується, на окремі функціональні блоки, кожен з яких виконує те чи інше перетворення обраного критерію оптимізації та розрахунку форми сигналу та основних параметрів у кожній функціональній точці схеми (рисунок 2.1).

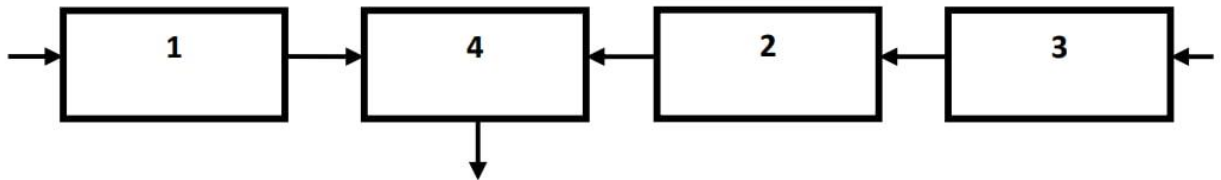


Рисунок 2.1 – Функціональна схема мобільного змішувача компонентів компосту

1 – ємність-дозатор соломи; 2 - ємність-дозатор напіврідкого гною;

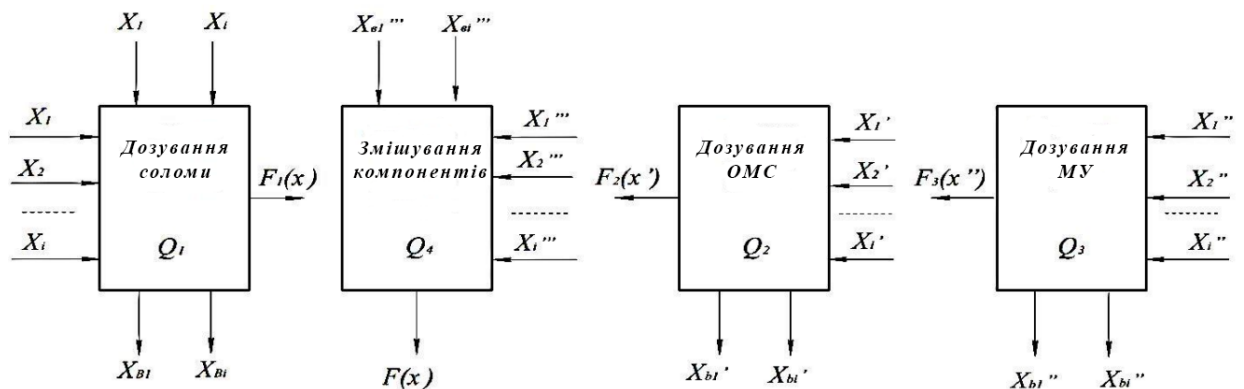
3 – ємність – дозатор мінеральних добрив; 4 – змішувальна камера

Основними припущеннями при функціональному моделюванні є наступні:

– незалежність характеристик окремих блоків від режиму роботи інших блоків.

– сигнал поширюється односпрямовано від входу до входу кожного елемента.

Незважаючи на різноманіття функціональних елементів, їх можна звести до основним 4-м типам: ємність-дозатор соломи, ємність-дозатор напіврідкого гною, ємність-дозатор мінеральних добрив, змішувальна камера компонентів компосту, що визначає модель функціонування розроблюваної машини(малюнки 2.2, 2.3).



Малюнок 2.2. – Модель функціонування мобільного змішувача компонентів компосту

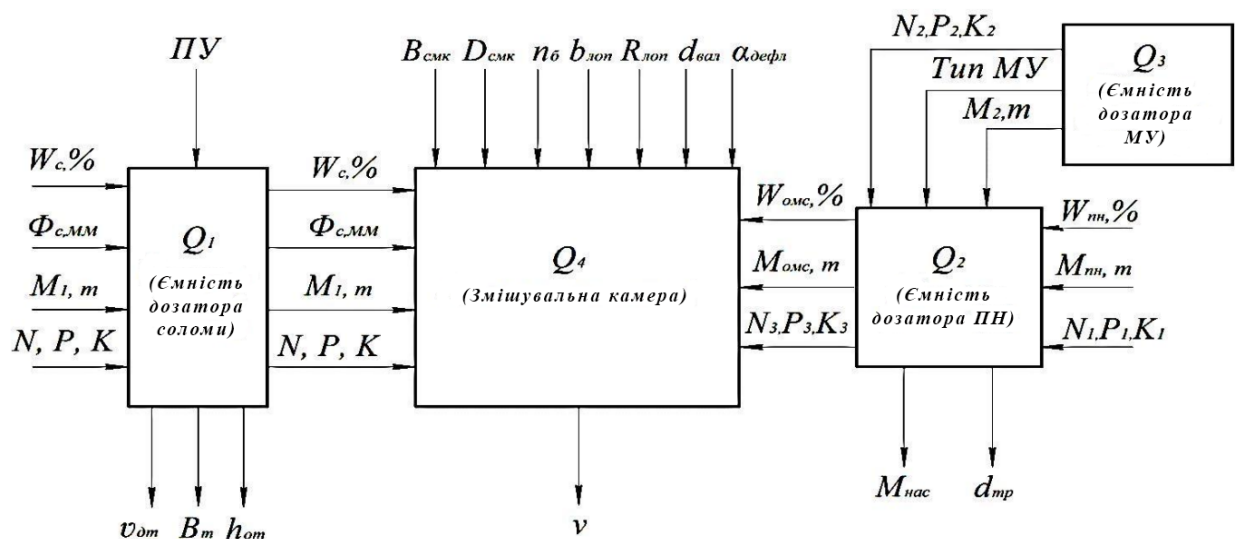


Рисунок 2.3 – Операційна модель функціонування мобільного змішувача компонентів компосту

На кожен елемент системи впливають вхідні параметри ( $X_1 ; X_i'$ ), зовнішні ( $X_1 ; X_i'$ ) і внутрішні параметри ( $X_{b1}, X_{bi}, \dots X_{b1}', X_{bi}'$ ).

Вхідними параметрами для цих елементів є: маса соломи ( $M_1$ ), вологість ( $W_c$ ), наявність азоту (N), фосфору (P), калію (K) та фракцій соломи ( $\Phi_c$ ).

Зовнішніми параметрами є погодні умови (ПВ).

Внутрішні параметри першого елемента моделі: швидкість донного транспортера ( $V_{dt}$ ), ширина транспортера ( $B_t$ ) та висота отвору ( $h_{ot}$ ).

До вхідних параметрів другого елемента моделі відносяться: вологість напіврідкого гною ( $W_{пн}$ ), маса напіврідкого гною ( $M_{пн}$ ), наявність азоту (N), фосфору (P), калію (K).

Зовнішніми параметрами є маса мінеральних добрив ( $M_2$ ), вміст азоту ( $N_1$ ), фосфору ( $P_1$ ), калію (K).

До внутрішніх параметрів належать: потужність насоса ( $M_{нас}$ ), діаметр трубопроводу ( $d_{тр}$ ). Внутрішні параметри третього елемента моделі: маса мінеральних добрив ( $M_2$ ), тип мінеральних добрив, наявність азоту ( $N_2$ ), фосфору ( $P_2$ ), калію ( $K_2$ ).

До вхідних параметрів четвертого елемента моделі відносяться: вологість соломи ( $W_c$ ), наявність азоту (N), фосфору (P), калію (K), фракцій соломи ( $\Phi_c$ ) та маса соломи ( $M_1$ ), а також вологість органо-мінеральної суміші ( $W_{ОМС}$ ), маса ЗМС ( $M_{ОМС}$ ), вміст азоту ( $N_3$ ), фосфору ( $P_3$ ), калію ( $K_3$ ).

До внутрішніх параметрів четвертого елемента відносяться: ширина камери змішування ( $B_{смк}$ ), діаметр змішувальної камери ( $D_{смк}$ ), частота обертання вала барабана камери ( $n_b$ ), ширина лопатки барабана змішувальної камери ( $b_{лоп}$ ), радіус лопатки ( $R_{л}$ ), діаметр порожнього валу ( $d_{вал}$ ) та кут нахилу дефлектора ( $\alpha_{деф}$ ).



Кожен елемент системи можна характеризувати технологічними показниками  $Q_i$  (наприклад, продуктивністю), що визначають працездатність системи, тоді рівняння балансу для обраної схеми мобільного змішувача компонентів компосту буде наступним:

$$Q = Q_4 \leq Q_1 \leq Q_2 \leq Q_3 . \quad (2.1)$$

З відомих критеріїв оптимізації, що використовуються при розробці та проектуванні нових машин та механізмів, для запропонованої конструкції найбільш прийнятним є узагальнений критерій оптимізації, де цільова функція формується в результаті складання нормативних параметрів з урахуванням або без урахування обмежень на них.

Критерієм оптимізації для машини, що розробляється, обрана продуктивність мобільного змішувача компонентів компосту, що забезпечує якість змішування компонентів компосту, тобто. нерівномірність розподілу компонентів по всьому обсягу суміші трохи більше 25%.

З урахуванням наведеного вище, нами представлена розгорнута модель функціонування мобільного змішувача компонентів компосту. Вона дозволяє визначити шукані технологічні показники машини з урахуванням вхідних, зовнішніх та внутрішніх характеристик у рамках аналізованої системи (рисунки 22, 23).

## **2.2 Визначення режимних та конструктивних параметрів мобільного змішувача**

Необхідною умовою отримання високоякісних органічних добрив є досягнення ступеня неоднорідності об'єму, що змішується. матеріалу у всіх його частинах, яка має бути  $\leq 25\%$ . Забезпечення необхідної однорідності змішування дозволить отримати високоякісне ОУ із заданими фізико-хімічними показниками, що сприяє зрештою поліпшення родючості ґрунтів і, як наслідок, підвищення врожайності культур.

Для отримання заданого значення коефіцієнта нерівномірності змішування необхідно встановити залежність процесу змішування від властивостей вихідних матеріалів, умов та режимів компостування.

Модель ідеального процесу змішування у запропонованому змішувачі включає наступне. У змішувач безперервно надходять матеріали, що змішуються – монооб'єми першого та другого компонентів. У камері змішувача під дією лопатей відбувається рух матеріалів у поперечній площині у бік викиду суміші через дефлектор. У нижній частині барабана змішувача перерозподіл та з'єднання елементарних обсягів компонентів відбувається по площині ковзання між ними, а також за рахунок переміщення з одного положення в інше під дією лопатки. У процесі змішування органо-мінеральних добрив на основі напіврідкого гною перерозподіл компонентів через липкості та в'язкості гною відбувається за рахунок переміщення мас, що складаються спільно з частинок гною, соломи та мінеральних добрив у різних співвідношеннях. При цьому фізико-механічні властивості мінеральних добрив через їх малий відсотковий вміст на характер переміщення цих мас впливають незначно.

Неоднорідність отриманої органічної маси має відповідати коефіцієнту нерівномірності змішування 20-25%, що визначається за відхиленням кінцевої вологості від початкової.

Виходячи з того, що на процес змішування гною з іншими матеріалами лопатевому змішувачі впливає безліч факторів, що ускладнює отримання основних закономірностей, при теоретичному дослідженні необхідно зробити деякі припущення, вплив яких у подальшому можна врахувати під час обробки експериментальних даних внесенням відповідних коригувань.

Були зроблені такі припущення:

1. Фізико-механічні властивості суміші однакові по всьому досліджуваному обсягу маси (варіюють у допустимих межах).

2. При взаємодії частинок маси з лопаткою та між собою зміна їх швидкостей відбувається миттєво.

3. Опір повітря після викиду суміші з камери не враховується.

Оскільки змішування в барабані відбувається безперервно, процес змішування в даному випадку представлений першою фазою - конвекцією: переміщенням шарів, пластів або просто макрооб'ємів маси, що змішується, тому необхідно встановити раціональне значення часу змішування в барабані при достатній продуктивності установки і забезпеченні коефіцієнта нерівномірності від 20 до 25%.

Продуктивність мобільного змішувача компонентів компосту  $Q_{см}$  обмежується продуктивністю камери змішування та прирівнюється до ній  $Q_{см} = Q_{смк}$ .

Продуктивність камери змішування ( $Q_{смк}$ ) складається із суми продуктивностей по соломі ( $Q_c$ ) і напіврідкому гною ( $Q_{пн}$ ):

$$Q_{смк} = Q_c + Q_{пн} \quad (2.2)$$

Продуктивність по соломі ( $Q_c$ ) визначається за виразами:

$$Q_c = B_{дт} \cdot \rho_c \cdot H_c \cdot \int_{v_{дтmin}}^{v_{дтmax}} dv_{дт},$$

$$Q_c = B_{дт} \cdot \rho_c \cdot v_{дт} \cdot \int_{H_{min}}^{H_{max}} dH_c, \quad (2.3), (2.4)$$

де  $B_{дт}$  - ширина донного транспортера, м;

$\rho_c$  - щільність соломи, т/м<sup>3</sup>

$H_c$  - висота вікна подачі соломи, м;

$v_{дт}$  - швидкість донного транспортера, м/с.

Продуктивність насоса для подачі напіврідкого гною розраховується за формулою

$$Q_{\text{пн}} = 3600 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \rho_{\text{пн}} \cdot \gamma \cdot \int_{v_{\text{пнmin}}}^{v_{\text{пнmax}}} dv_{\text{пн}}, \quad (2.5)$$

де-  $\frac{\pi D^2}{4}$  - площа перерізу труби (гідранту), м<sup>2</sup>

$v_{\text{пн}}$  – осьова швидкість просування напіврідкого гною по трубі, м/с;

$\rho_{\text{пн}}$  – щільність напіврідкого гною, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – коефіцієнт наповнення (0,3–0,4).

Подача маси напіврідкого гною знаходиться у прямій залежності від подачі маси соломи. Їхнє співвідношення в компості, залежно від вологості компонентів, можливо 3:1 чи 4:1. При зміні показників вологості компонентів має змінюватися і подача напіврідкого гною.

Таким чином, якщо подача напіврідкого гною має вчетверо перевищувати продуктивність соломи (що відповідає вимогам вологості компосту 70%), то рівняння матеріального балансу набуде вигляду:

$$Q_{\text{смк}} = Q_c + 4Q_{\text{пн}}. \quad (2.6)$$

Продуктивність агрегату по соломі визначається за формулою:

$$Q_c = B_{\text{дт}} \cdot H \cdot v_{\text{дт}} \cdot \rho_c. \quad (2.7)$$

Маса напіврідкого гною, що подається насосом, дорівнює

$$M_{\text{пн}} = Q_{\text{нас}} \cdot t, \quad (2.8)$$

Маса напіврідкого гною, що подається насосом, дорівнює

$$M_{\text{пн}} = Q_{\text{нас}} \cdot t,$$

де  $Q_{\text{нас}}$  - подача напіврідкого гною насосом, кг/с;

$t$  - тривалість подачі напіврідкого гною, с.

Масу соломи певної вологості, необхідну для приготування компосту, можна визначити за формулою [17]

$$M_c = M_{\text{пн}} \cdot \left( \frac{W_{\text{пн}} - W_k}{W_k - W_c} \right), \quad (2.9)$$

де  $W_{\text{пн}}$  - вологість напіврідкого гною, %;

$W_c$  – вологість соломи, %;

$W_k$  – вологість компосту, %.

Продуктивність насоса отримуємо з урахуванням (2.3) та (2.9):

$$B_{дт} \cdot H \cdot v_{дт} \cdot \rho_c = M_{пн} \cdot \left( \frac{W_{пн} - W_k}{W_k - W_c} \right). \quad (2.10)$$

Вирішуючи спільно (2.8) та (2.10), визначаємо продуктивність насоса

$$Q_{нас} = \frac{B_{дт} H v_{дт} \rho_c}{\left( \frac{W_{пн} - W_k}{W_k - W_c} \right)}. \quad (2.11)$$

Об'єм камери змішування в процесі роботи заповнюється не повністю. Змішування відбувається у певному сегменті обсягу внутрішньої порожнини змішувача. Цей робочий обсяг утворюється від точки надходження порції соломи та напіврідкого гною у змішувальну камеру до точки викиду суміші з камери. Отже, робочий хід лопатки у змішувачі характеризується поворотом її на кут  $\varphi$  (рисунок 2.4). Площа робочого сегмента складає:

$$S_{сег} = \frac{\pi}{360} (R^2 - r^2) \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \varphi d\varphi. \quad (2.12)$$

Де  $R$  - Радіус барабана змішувальної камери, м;

$r$  - Радіус барабана змішувальної камери до кінця накладки лопатки, м;

$\varphi$  - Робочий кут повороту лопатки, радий.

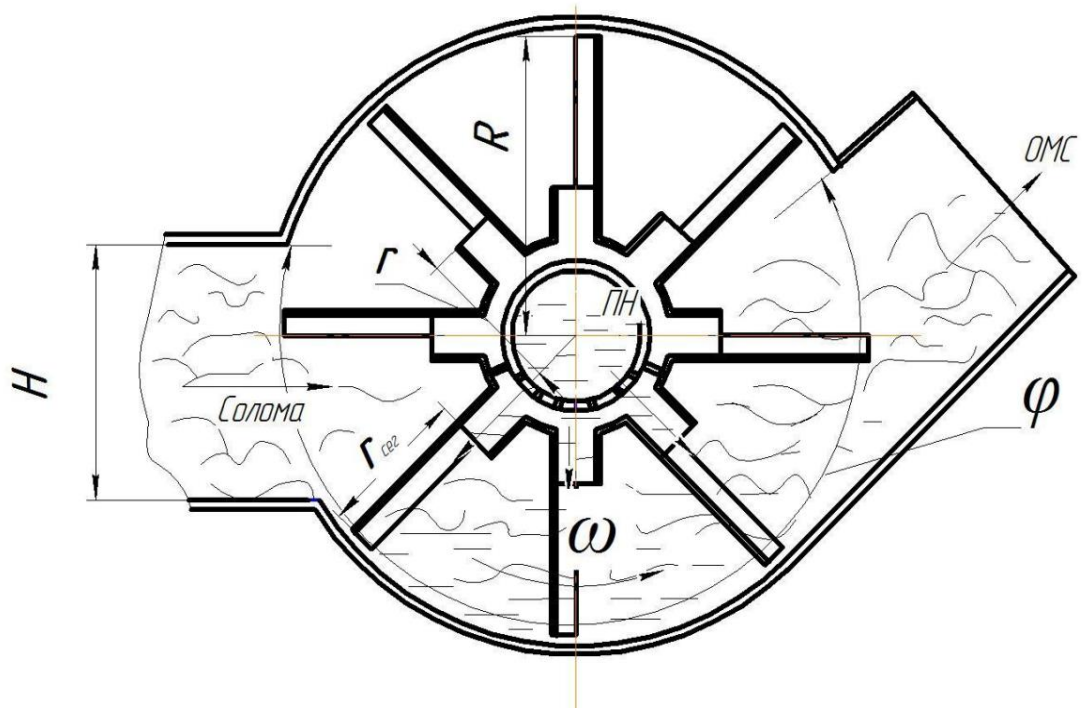


Рисунок 2.4 – Схема визначення робочого об'єму камери змішування  
Робочий обсяг сегмента розраховується за виразом:

$$V_{\text{сег}} = S_{\text{сег}} \cdot L_{\text{б}}, \quad (2.13)$$

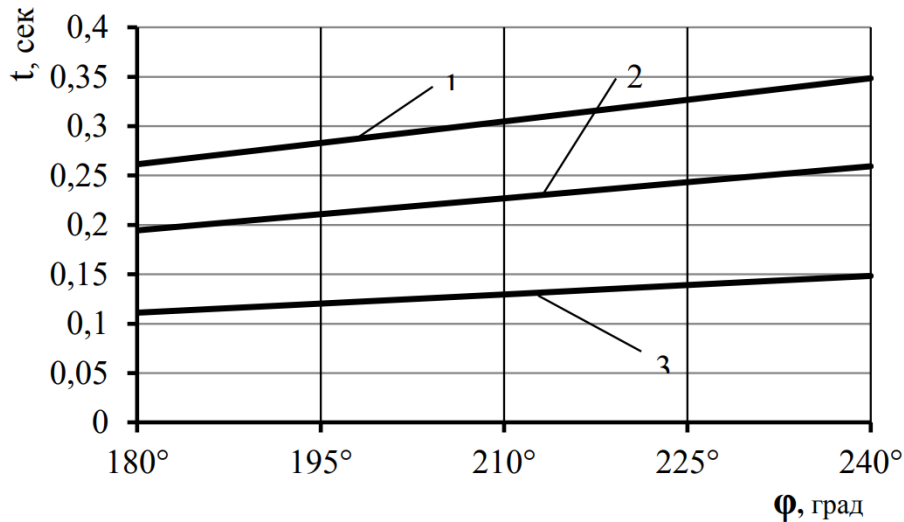
Де  $L_{\text{б}}$  - Довжина барабана змішувальної камери, м.

Час повороту лопатки на кут  $\varphi$  дорівнює

$$t = \frac{\varphi}{2\pi n_{\text{см}}}, \quad (2.14)$$

де  $n_{\text{см}}$  - частота обертання валу барабана змішувальної камери, про/с.

На малюнку 2.5 представлені теоретичні залежності зміни часу повороту лопатки від кутової швидкості валу змішувача при зміні робочого ходу лопатки від  $180^\circ$  до  $240^\circ$ .



1 -  $\omega = 47,1 \text{ сек-1}$ ; 2 -  $\omega = 37,68 \text{ сек-1}$ ; 3 -  $\omega = 28,26 \text{ сек-1}$

Рисунок 2.5 – Зміна часу повороту лопатки від куткової швидкості валу змішувача.

Лопатка, що обертається, деформує матеріал і при захопленні суміші утворює зону деформації, розміри якої більші за розмір лопатки. Вважається, що перед лопаткою утворюється матеріал у вигляді призми трикутного перерізу, яка змінює свій контур за рахунок безперервного поповнення з одного боку, та розтікання, з іншого. При цьому маса призми, захоплена лопаткою, не перевищує розміру самої лопатки. Оскільки в нашому випадку суміш перемішується різаною соломи та напіврідкого гною, то розміри зони деформації будуть більшими, ніж ширина лопатки.

Масу суміші, захопленої лопаткою, визначимо виходячи з обсягу призми деформації:

$$m_{\text{л}} = V_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{см}}, \quad (2.15)$$

де  $V_{\text{д}}$  - обсяг деформованого матеріалу,  $\text{м}^3$ .

Лопатка змішувача є половиною порожнистого циліндра (рисунок 2.6).

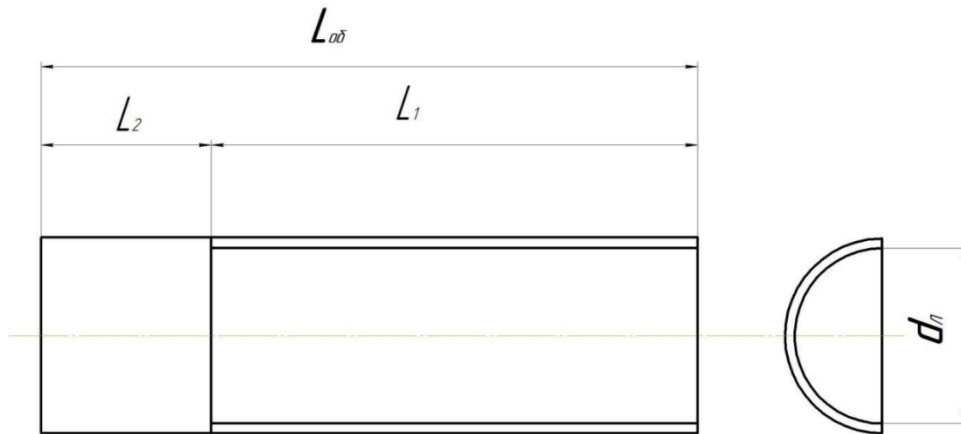


Рисунок 2.6 – Параметри одиночної лопатки змішувача

$L_{об}$  – загальна довжина лопатки,  $l_1$  – робоча довжина лопатки,  $l_2$  – довжина накладки,

$d_n$  – діаметр лопатки

Тому загальний обсяг скрадатиметься з двох частин:

$$V_d = V_1 + V_2, \quad (2.16)$$

де  $V_1$  – обсяг матеріалу в лопатці,  $m^3$

$V_2$  – обсяг матеріалу над лопаткою (призму),  $m^3$

Об'єм суміші, що захоплюється лопаткою (рисунок 2.6), визначиться залежно.

$$V_1 = l_1 \cdot \frac{\pi r_{вл}^2}{2}, \quad (2.17)$$

$$V_2 = l_1 \cdot \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot h, \quad (2.18)$$

де  $b_1$  і  $b_2$  – нижня та верхня основи призми, м;

$r_{вл}$  – радіус внутрішньої циліндричної частини лопатки, м;

$l_1$  – Довжина робочої частини лопатки, м;

$h$  – висота призми, м-код.



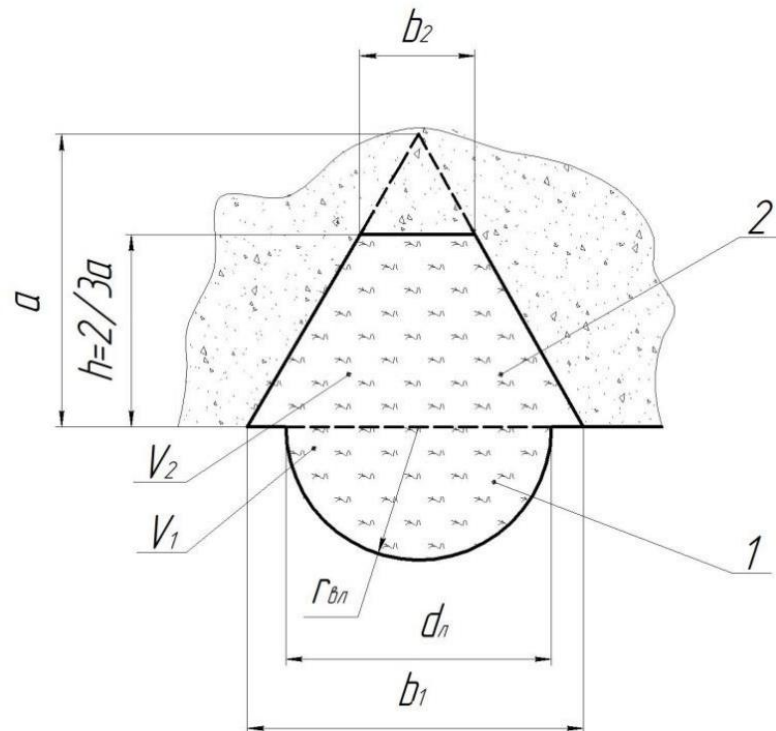


Рисунок 2.7 – Схема визначення маси суміші, захопленої лопаткою

1 – обсяг суміші у лопатці; 2 – об'єм суміші над лопаткою

$$h = \frac{2}{3} \cdot a_1, \quad (2.19)$$

де  $a$  - Висота в рівносторонньому трикутнику, м.

$$b_1 = \frac{5}{2} \cdot r. \quad (2.20)$$

Тоді загальний обсяг буде

$$V_d = l_1 \cdot \left( \frac{\pi r_{\text{бл}}^2}{2} + \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot h \right). \quad (2.21)$$

Подача однієї лопатки визначається з виразу:

$$Q_{\text{л}} = \frac{V_d \cdot \rho_{\text{см}}}{t} = \frac{l_1 \cdot \left( \frac{\pi r_{\text{бл}}^2}{2} + \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot h \right) \cdot \rho_{\text{см}}}{t}, \quad (2.22)$$

а радіус сегмента робочого об'єму барабана (рисунок 2.6) дорівнює

$$r_{\text{сег}} = L_{\text{об}} - l_2 = l_1. \quad (2.23)$$

На малюнку 2.8 показано зміну подачі лопатки від частоти обертання вал змішувача.

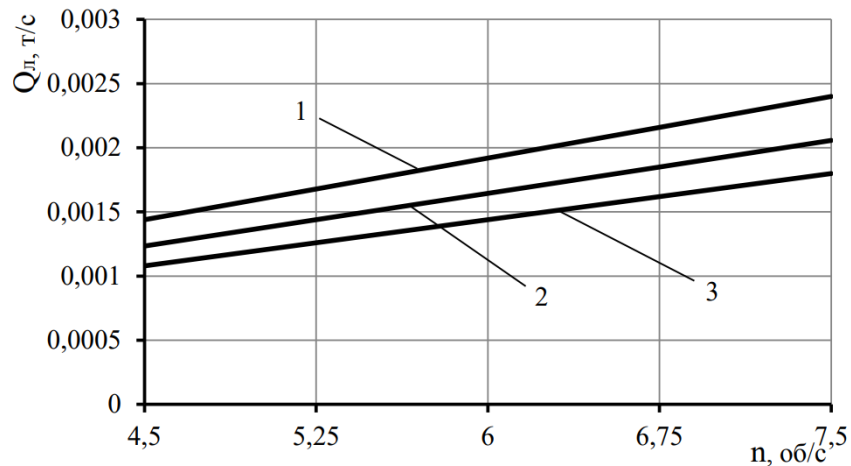


Рисунок 2.8 – Зміна продуктивності лопатки від частоти обертання валу змішувача

1 -  $\varphi = 180^\circ$ ; 2 -  $\varphi = 210^\circ$ ; 3 -  $\varphi = 240^\circ$

Одночасно миттєвий викид із змішувача йде двома лопатками, тому при обчисленні продуктивності змішувальної камери враховується кількість лопаток, їх конструкція та розташування на валу. Для цього введемо в формулу (2.25) коефіцієнт, що враховує сход суміші з лопатки і залежить від конструкції лопаток і розташування їх на валу, також z-кількість лопаток, одночасно викидають суміш із барабана змішувача.

$$Q_{\text{см}} = \frac{V_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot z \cdot k}{t}, \quad (2.24)$$

де  $V_{\text{д}}$  - обсяг лопатки,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{см}}$  – щільність суміші,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

z – кількість лопаток, що одночасно викидають суміш, шт.;

k - коефіцієнт, що враховує сход суміші з лопатки і залежить від конструкції лопаток та розташування їх на валу.

Підставляючи значення (2.14) у формулу (2.24) отримаємо вираз подачі змішувача

$$Q_{\text{см}} = \frac{V_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{см}} z k 2\pi n R}{r_{\text{сер}} \cdot \varphi}. \quad (2.25)$$

На малюнку 2.9 показано теоретичні залежності зміни продуктивності змішувача від кута повороту лопатки у робочій зоні.

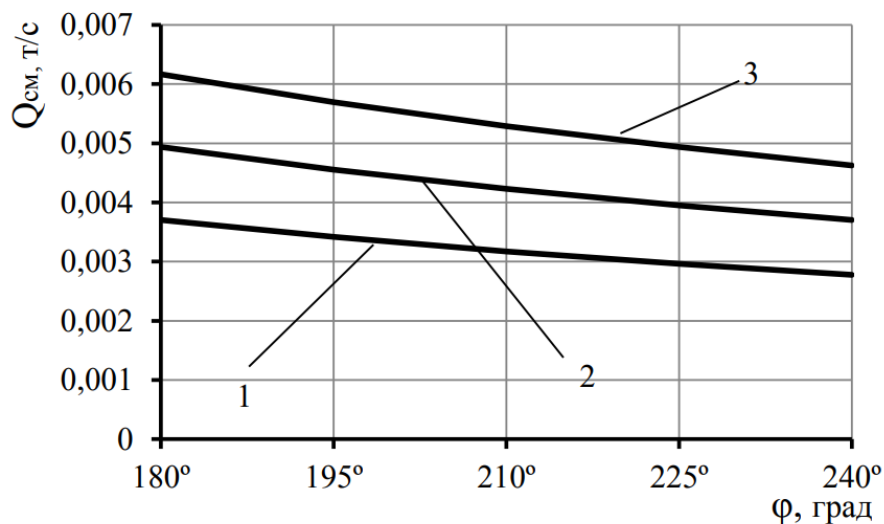


Рисунок 2.9 – Зміна подачі змішувача від кута повороту лопатки

1 -  $n_{\text{сб}} = 4,5 \text{ с}^{-1}$ ; 2 -  $n_{\text{сб}} = 6 \text{ с}^{-1}$ ; 3 -  $n_{\text{сб}} = 7 \text{ с}^{-1}$

З графіка видно, що зі збільшенням кута обороту продуктивність зменшується, оскільки збільшується час перебування суміші барабані.

На малюнку 2.10 показано залежність продуктивності змішувача від обертів обертання валу барабана.

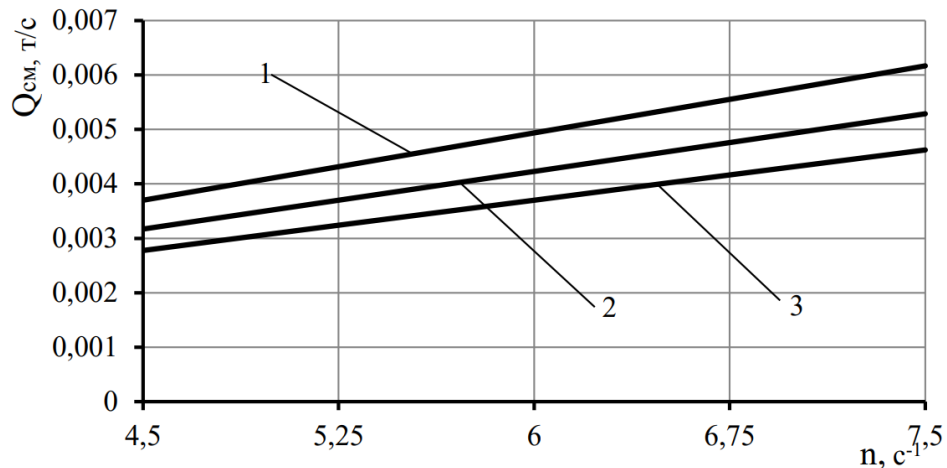


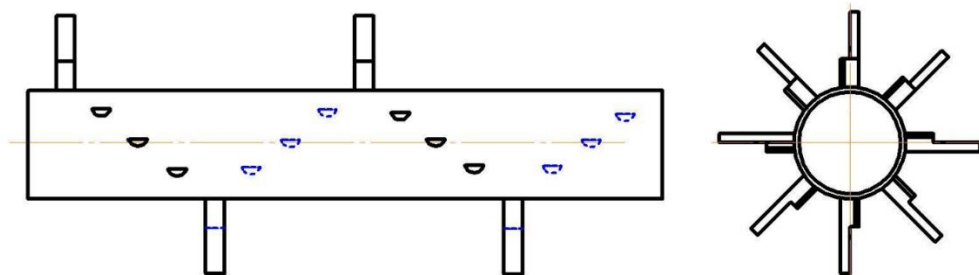
Рисунок 2.10 – Залежність продуктивності змішувача від частоти обертання валу барабана камери змішування (при куті повороту лопатки)

1 -  $180^\circ$ ; 2 -  $210^\circ$ ; 3 -  $240^\circ$

З графіка видно, що зі збільшенням обертів валу барабана і кута повороту лопатки продуктивність зменшується, оскільки збільшується час знаходження суміші в барабані.

Збільшення кута повороту лопатки залежатиме від висоти відкриття вікна подання соломи.

Лопатки на валу барабана розташовані по спіралі зі зміщенням щодо один одного по куту  $\delta$  і на відстані  $k_d$ . Одночасно викид суміші відбувається двома лопатками (рисунок 2.11).



Малюнок 2.11 – Схема розташування лопаток на валу барабана змішувача

Характер процесів, що відбуваються на лопатках працюючого змішувача, залишається незмінним і зводиться до наступного. Матеріал, поданий на лопатку або захоплений нею, якийсь час переміщується лопаткою

і ковзає щодо неї під дією відцентрової сили. Досягши кінця лопатки, матеріал викидається через дефлектор.

При русі лопатки змішувача в змішуваній масі виникають такі опори руху: тертя компонентів, що змішуються, про робочі і бічні поверхні лопатки; тертя суміші об стінку барабана-змішувача; опір матеріалу деформуванню при його зміщенні лопаткою щодо сусідніх частинок; опір від сил енергії під час входження лопатки в масу суміші на початку робітничого руху.

Основним з усіх перерахованих опорів є тертя матеріалу стінку корпусу і робочу поверхню лопаток. Оскільки солома подається в камеру барабана-змішувача непресованої, тобто підставу вважати, що опір матеріалу деформуванню при його зміщенні лопаткою щодо сусідніх частинок; опір від сил енергії при входженні лопатки в масу суміші на початку робочого руху, а також від ударів частинок, що вільно летять по лопатках валу змішувача у верхній частині корпусу, будуть незначними.

Опір від сил інерції та від ударів частинок продукту по лопатках вала змішувача залежить від окружної швидкості лопаток та числа обертів валу.

У барабані частинки суміші рухаються незамкнутою кривою. Для простоти візьмемо радіус взаємодії лопатки з часткою рівним радіусу робітника сегмента барабана, тобто частка знаходиться на поверхні барабана (рисунок 2.12).

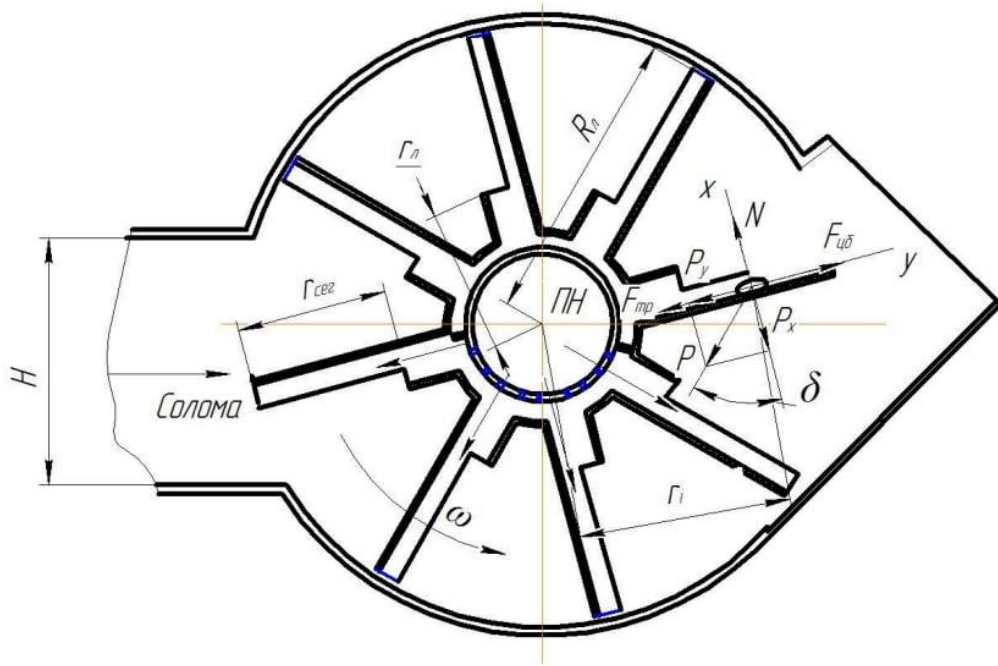


Рисунок 2.12 – Дія сил на частинку суміші, що рухається лопаткою змішувача

На частинку діють сили:  $P = mg$  – сила тяжкості та її проекції на осі X і Y  $P_x = mg \cos \delta$  і  $P_y = mg \sin \delta$ ;  $F_{цб} = m\omega^2 r_i$  – відцентрова сила інерції, що діє на частку;  $F_k = 2m\omega v_r$  – сила Кориоліса від обертального та поступального руху частинки суміші вздовж лопатки;  $F_{тр} = \mu N$  – сила тертя частки про поверхню лопатки;  $N = 2m\omega v_r + mg \cos \delta$ .

Умова руху частинки по поверхні лопатки має вигляд:

$$F_{цб} \geq F_{тр} + P_y . \quad (2.26)$$

Приймаючи вираз (2.26) як рівності, отримуємо:

$$m\omega^2 r_i = \mu(2m\omega v_r + mg \cos \delta) + mg \sin \delta . \quad (2.27)$$

де  $m$  – Маса частки, кг;

$\omega$  – Кутова швидкість обертання валу,  $c^{-1}$ ;

$v_r$  - Радіальна складова абсолютної швидкості, м/с;

$\delta$  - Кут між напрямками сил.

З формули (2.27) знаходимо значення радіальної складової абсолютної швидкості частки.

$$v_r = \frac{\omega^2 r_i - \mu g \cos \delta - g \sin \delta}{2\mu\omega}. \quad (2.28)$$

Окружна швидкість дорівнює:

$$v_o = \omega r_i. \quad (2.29)$$

Змішування, з точки зору руху суміші по лопатці, є складним процесом, що складається з переносного і відносного руху. Значення абсолютної швидкості сходу частинки з лопатки визначимо геометричним підсумовуванням її радіальної та окружної складових. Бо лопатки стоять радіально на валу змішувача, осьова швидкість руху частинок маси вздовж горизонтальної осі буде відсутня, тоді абсолютна швидкість руху частинок дорівнюватиме:

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_o^2}. \quad (2.30)$$

Підставляючи значення складових (2.28) та (2.29) у (2.30), отримаємо:

$$v_a = \sqrt{\left(\frac{\omega^2 r_i - \mu_{\text{cm}} g \cos \delta - g \sin \delta}{2\mu_{\text{cm}}\omega}\right)^2 + (\omega r_i)^2}. \quad (2.31)$$

Окружна швидкість залежить від кутової швидкості обертання. Відносна швидкість залежить від форми лопатки, кута її постановки, від кутів тертя матеріалу про лопатку та стінку барабана, кутову швидкість обертання.

Кількість соломи, необхідне приготування суміші заданої вологості, розраховуємо за такою формулою (2.9), з якої видно, що маса соломи залежить від її вологості і вологості гною.

У гноє-солом'яній суміші протікають процеси фільтрування, адсорбції, набухання. Умову повного змочування соломи розглянуто у роботах І.М. Петренко [109 - 111]. Вони встановлено, що швидкість набухання шару соломи залежить від її дифузійних властивостей, а миттєва швидкість фільтрування за відсутності осаду дорівнює – 0,005–0,01 м/с. Тоді розрахункова швидкість компонентів суміші в барабані змішувача повинна задовольняти цій умові, щоб отримана суміш відповідала заданому коефіцієнту змішування.

Для змішувачів безперервної дії час змішування залежить від часу перебування частинок у камері змішувача, яке можна визначити як функцію від окружної швидкості і шляху переміщення продукту до викиду його через дефлектор

$$t = f(v_r, L), \quad (2.32)$$

де  $v_r$  – окружна швидкість руху матеріалу, що змішується, м/с;

$L$  – шлях переміщення продукту в змішувальній камері, м.

$$L = R \cdot \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \varphi d\varphi, \quad (2.33)$$

де  $R$  – радіус змішувального барабана, м;

$\varphi$  – кут повороту лопатки від моменту захоплення продукту до викиду його через дефлектор, радий.

Час, протягом якого частка перебуватиме на лопатці, дорівнює:

$$t = \frac{0,0175 \cdot R_{cm} \cdot \varphi}{v_r}. \quad (2.34)$$



Отже, час змішування залежить від окружної швидкості руху матеріалу та від кута робочого ходу лопатки. Кут робочого ходу може змінюватися на висоту вікна подачі соломи.

Оскільки викид суміші йде з одночасним формуванням бурта, необхідно визначити фактори, що впливають на дальність і висоту польоту гноє-солом'яної суміші. На дальність польоту частинок суміші впливають: початкова швидкість сходу частинки з лопатки, кут сходу частинки, висота розташування точки викиду над землею, опір повітря та інші [13]. Ці величини необхідні визначити аналітично та перевірити експериментальним шляхом.

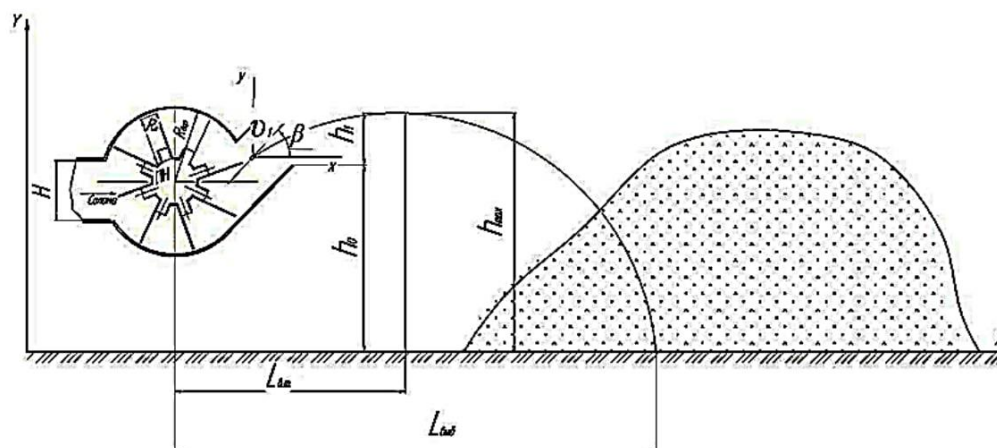
Траєкторія руху тіла, кинутого під кутом до горизонту, є параболою. Диференційоване рівняння руху порції матеріалу компосту щодо прийнятої системи координат без урахування опору повітря [90] (рисунок 2.13):

$$\frac{mdv_x}{dt} = 0; \quad \frac{mdv_y}{dt} = -mg, \quad (2.35)$$

де  $m$  - Маса матеріалу, кг;

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

$v_x, v_y$  - проекції швидкості частинок компосту на осі координат, м / с.



Малюнок 2.13 – Схема викиду частинок компосту лопатками з мобільного змішувача в бурт

Початкова швидкість польоту порції матеріалу, що впливає на дальність викиду гноєсолом'яної суміші визначається за формулою

$$v_0 = L_{\text{выб}} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \sin 2\beta - 2(h_{\text{max}} - h_0) \cos^2 \beta}}, \quad (2.36)$$

де  $L_{\text{выб}}$  - Дальність кидання порції компосту лопаткою барабана, м;

$h_0$  - Початкова висота викиду матеріалу лопаткою від поверхні землі, м;

$h_{\text{max}}$  - Максимальна висота польоту матеріалу від поверхні землі, м.

З іншого боку, початкова швидкість польоту порції матеріалу визначається за формулою.

$$v_0 = \frac{\pi n R_{\text{ок}}}{30}, \quad (2.37)$$

Де  $n$  - частота обертання лопатки барабана змішувача, об/хв;

$R_{\text{ок}}$  - Радіус кола, що описується кінцем лопатки, м.

Прирівнюючи праві частини рівнянь (2.36) та (2.37) та вирішуючи щодо  $L_{\text{выб}}$ , знаходимо дальність викиду:

$$\frac{\pi n R_{\text{ок}}}{30} = L \sqrt{\frac{g}{2 \sin 2\beta - 2(h_{\text{max}} - h_0) \cos^2 \beta}}. \quad (2.38)$$

$$L_{\text{выб}} = \frac{\pi n R_{\text{ок}} (\pi n R \sin^2 2\beta + \sqrt{\pi^2 n^2 R^2 \sin^2 2\beta + 7200g(h_{\text{max}} - h_0) \cos^2 \beta})}{1800g}. \quad (2.39)$$

За виразом (2.39) дальність польоту частинки компосту залежить від радіусу лопатки ( $R$ ), кута кидання ( $\beta$ ) та частоти обертання барабана змішувача ( $n$ ).

Найбільша висота польоту частки компосту залежить від фізико-механічних властивостей та опору повітря. Додавши у вираз (2.39) коефіцієнт

парусності  $K$ , що враховує фізико-механічні властивості матеріалу та опір навколишнього середовища, отримаємо

$$L_{\text{выб}} = \frac{K\pi n R_{\text{ок}} (\pi n R \sin^2 2\beta + \sqrt{\pi^2 n^2 R^2 \sin^2 2\beta + 7200g(h_1 - h_0) \cos^2 \beta})}{1800g} . \quad (2.40)$$

Дальність польоту частки компосту до вищої точки визначимо за виразом

$$L_{\text{в.т.}} = \frac{v_0^2 \cos \beta \sin \beta}{g} = \frac{(\pi n R_{\text{ок}})^2 \cos \beta \sin \beta}{900g} . \quad (2.41)$$

Оскільки радіус та кут повороту лопатки – величини постійні, відстань до вищої точки польоту частинок залежатиме від частоти обертання барабана-змішувача.

### 2.3 Висновки.

1. Виходячи з аналізу процесу змішування компонентів компосту, отримані теоретичні залежності для визначення технологічних (подачу) та режимних (швидкість донного транспортера, швидкість подачі напіврідкого гною, частота обертання валу змішувального барабана та ін.) параметрів встановлення.

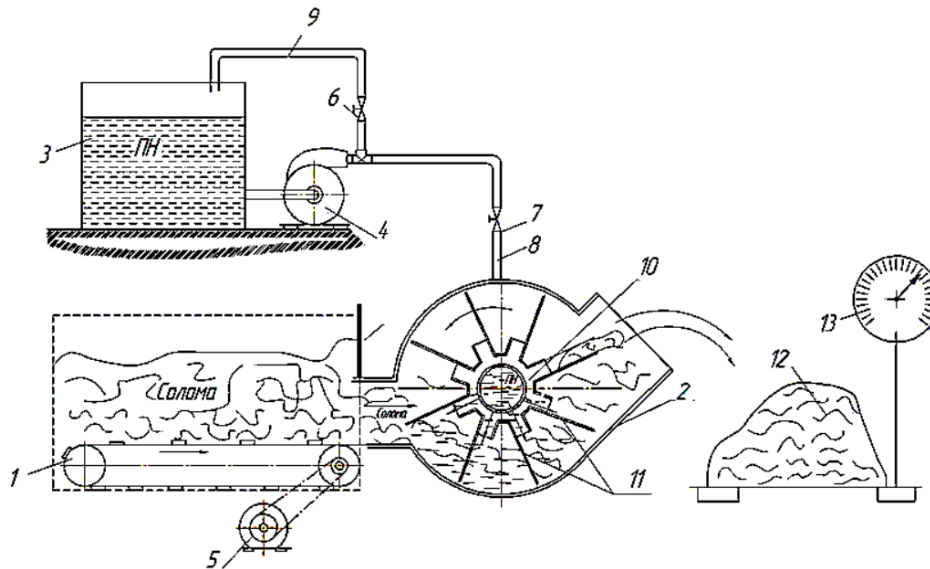
2. Подача мобільного змішувача компонентів компосту залежить від фізико-механічних властивостей компонентів, що змішуються, конструктивних і режимних установок. У зв'язку з цим необхідно експериментально визначити фізико-механічні властивості соломи, напіврідкого гною, а також конструктивні та режимні параметри установки.

3. Енергетичні показники установки залежать від змішуваної маси барабана та кутової швидкості обертання лопатей змішувача.

4. Для формування заданих розмірів бурта компосту необхідно експериментально визначити дальність та висоту польоту частинок компостної суміші, що викидається лопатками із змішувальної камери.

### 3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення продуктивності мобільного змішувача компонентів компосту проводили на макетному зразку з шириною камери змішування 0,5 м (рисунок 3.1).



Малюнок 3.1 – Схема технологічної лінії виробництва компосту мобільним змішувачем

1 - транспортер, що живить; 2 – змішувальна камера; 3 - ємність для ПН; 4 – фекальний насос; 5 – двигун постійного струму; 6,7 – регулювальні крани; 8 – нагнітальний трубопровід; 9 – перепускний трубопровід; 10 – порожнистий вал; 11 – лопатки змішувача; 12 – компост; 13 – ваги

На об'ємну продуктивність барабана змішувача суттєве вплив надають три фактори:  $X_1$  – частота обертання барабана змішувача компонентів компосту (псб),  $X_2$  – висота відкриття вікна подачі соломи (Н),  $X_3$  – вологість соломи ( $W_c$ ).

Рівні та інтервали варіювання факторів (таблиця 3.2) вибиралися на підставі аналізу робіт, присвячених процесу змішування, проведеного теоретичного дослідження та результатів попередніх дослідів.

Таблиця 3.2 – Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Позначення	Рівні варіації факторів			Інтервал варіювання
		-1	0	1	
Частота обертання валу змішувального барабана $n_{смб}$ , $c^{-1}$	$X_1$	4,5	6	7,5	1,5
Висота відкриття вікна подачі соломи $H$ , м	$X_2$	0,3	0,4	0,5	0,1
Вологість соломи $W$ , %	$X_3$	15,4	20	24,6	4,6

Число рівнів кожного фактора  $m=3$ , число факторів  $k=3$ . Загальна кількість спостережень становила  $N=m^k = 3^3 = 27$ . Дисперсійний аналіз проведено для трифакторного експерименту  $3 \times 3 \times 3$  [18, 141]. Матриця експерименту представлена в таблиці 3.3.

Управління факторами, тобто встановлення необхідних значень та підтримання їх постійними протягом досвіду, проводилося так.

Частота обертання валу змішувального барабана змінювалася зміною моменту ВОМ трактора, що крутить. Висота відкриття вікна подачі соломи змінювалася підняттям засувки. Вологість соломи змінювалася зволоженням порції соломи.

Таблиця 3.3 - Матриця експерименту в кодованому вигляді

Номер досліду	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	0
3	-1	-1	1
4	-1	0	-1
5	-1	0	0
6	-1	0	1
7	-1	1	-1
8	-1	1	0
9	-1	1	1
10	0	-1	-1
11	0	-1	0
12	0	-1	1
13	0	0	-1
14	0	0	0
15	0	0	1
16	0	1	-1
17	0	1	0
18	0	1	1
19	1	-1	-1
20	1	-1	0
21	1	-1	1
22	1	0	-1
23	1	0	0
24	1	0	1
25	1	1	-1
26	1	1	0
27	1	1	1

Експерименти проводилися за відомою методикою, що передбачає опис невідомої функції відгуку ( $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ), рівнянням регресії другого порядку:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + b_{12}x_1x_2 + \dots$$

$$+b_{k-1,k}x_{k-1}x_k + \dots + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{kk}x_k^2. \quad (3.5)$$

У ході дослідів брали проби на вологість соломи, напіврідкого гною, компосту та секундоміром фіксували час досвіду. За отриманою у процесі дослідів навішуванні визначали об'ємну продуктивність, використовуючи формулу (2.45). При цьому, виходячи з кінцевої вологості компосту (див. таблицю 1.7) та вологості соломи та напіврідкого гною (ОМС), регулювали попередньо продуктивність фекального насоса, що забезпечує співвідношення соломи та гною 1:4.

Основними режимними параметрами, що визначають продуктивність мобільного змішувача компонентів компосту, є кут  $\varphi$ , що характеризує сектор зони змішування компонентів, і  $n$  частота обертання валу змішувача.

Кут повороту лопатки у зоні змішування компонентів характеризує опосередковано висоту подачі соломи до змішувальної камери (рисунок 3.2).

При проведенні дослідів величина кута змінювалася у межах:

$\varphi_{min}=180^\circ$ ;  $\varphi_{cp}=210^\circ$ ;  $\varphi_{max}=240^\circ$ , при цьому частота обертання валу змішувача змінювалася в межах:  $n_{min}=4,5c^{-1}$ ;  $n_{cp}=6,0c^{-1}$ ;  $n_{max}=7,5c^{-1}$ .

Зміна часу повороту лопатки на заданий кут визначалося через кутову швидкість обертання лопатки, яка, залежно від конструктивних параметрів лопатки, змінювалася в межах:  $\omega_{min} = 28,26c^{-1}$ ;  $\omega_{cp} = 37,68c^{-1}$ ;  $\omega_{max} = 47,1c^{-1}$ .

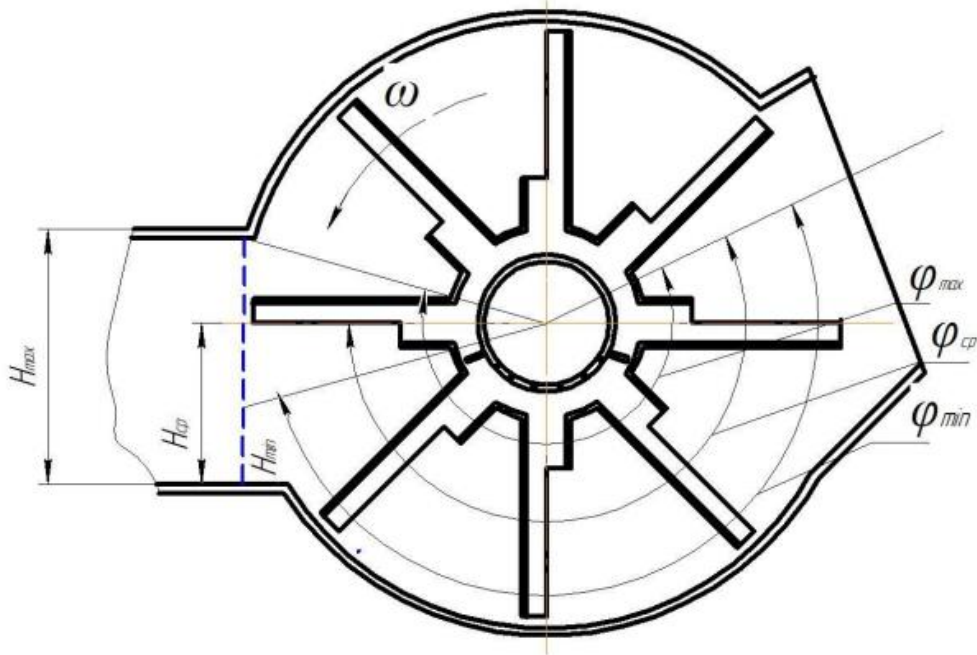


Рисунок 3.2 – Схема визначення кута від висоти подачі шару соломи змішувальну камеру Н

$\varphi_{min}$  при  $H_{min}$ ;  $\varphi_{cp}$  при  $H_{cp}$ ;  $\varphi_{max}$  при  $H_{max}$

В основу розрахунку часу повороту лопатки взято формулу (2.19).

При поведінці дослідів бралася солома озимої пшениці із середнім розміром частинок 7–11 мм та вологістю  $W_c$  15–19%.

Вологість напіврідкого гною (ОМС), що подається, в експериментах змінювалася від 88,2% до 91,76%.

### 3.1 Методика визначення нерівномірності змішування компонентів компосту

Базові компоненти для виробництва компостів: солома, МУ та напіврідкий гній. Солома, як видно з розділу 1.2, є основним вологопоглинаючим матеріалом. Якісне перемішування зазначених компонентів дозволяє керувати процесом виробництва компостів із необхідною вологістю. Для протікання технологічного процесу при використанні напіврідкого гною

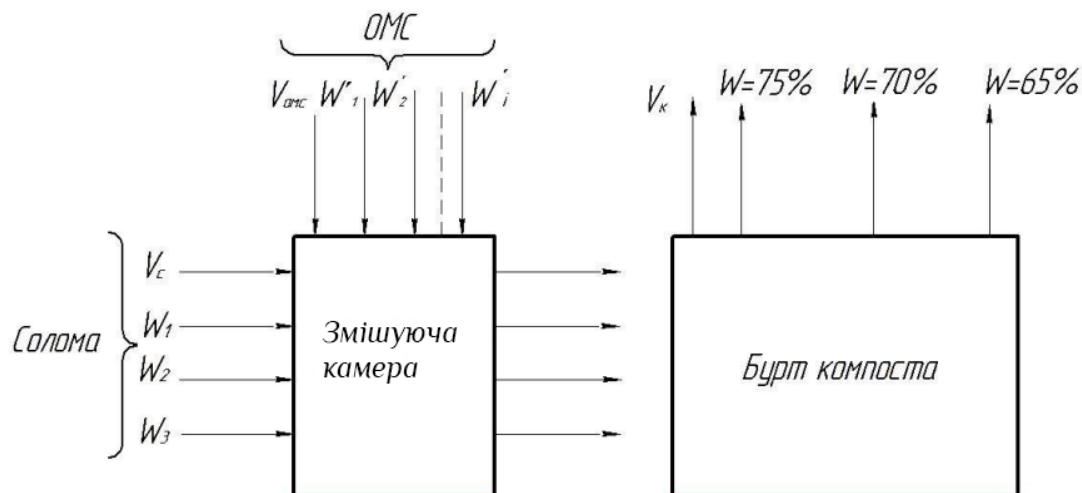


вологістю від 89 до 92% найбільш раціональним є отримання суміші вологістю 70. Даними показниками, як видно з таблиці 1.7, визначається співвідношення витрати соломи та напіврідкого гною яке в середньому становить 1:4 та 1:3 при вихідній вологості соломи від 16 до 24%.

Попередніми експериментами встановлено, що мінеральні (МУ) (з дозою 1-3% від маси органічних добрив (ОУ)) доцільно завантажувати транспортно-технологічну машину з напіврідким гноєм, де вони в процесі транспортування до місця виробництва компостів рівномірно перемішуються в заданому обсязі, утворюючи органо-мінеральну суміш (ОМС).

Якісним змішування соломи з ОМС вважається за умови повного «занурення» частинок соломи, що обумовлено конструкцією змішувальної камери, виконаної за патентом РФ С1 2017706 С5 С05F9/02, 11/06, 1991 [2].

Кінцевим оцінним показником якості перемішування компонентів є вологість бурта компосту (75%, 70%, 65%) (рис. 3.11).



Малюнок 3.11 – Схема процесу приготування компосту

Оцінка якості змішування вологопоглинальних матеріалів з напіврідким гноєм визначалася показником нерівномірності змішування шляхом визначення середнього вмісту соломистих включень у загальній суміші. Для цього через рівні проміжки часу в трьох різних місцях викинутої суміші бралися

навішування по 500 грамів кожна в триразовій повторності. Кожну із взятих наважок промивали у воді, вибирали з неї соломку та зважували (рисунок 3.12).



Малюнок 3.12 – Наважки соломи, взятої з викинутої суміші (а) та промитої у воді (б)

Для визначення якості змішування компонентів проведено багатофакторний експеримент  $3^3$ , аналогічно поданому в розділі 3.3.3, з тими ж факторами та рівнями їх варіювання. За критерій у багатофакторному експерименті прийнято показник  $v$  – нерівномірність змішування, яка не повинна перевищувати  $\pm 25\%$ .

### 3.2 Методика обробки результатів експериментів

Для оцінки істинного значення фізичної величини набувають її середнього арифметичного значення, що визначається за формулою

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.9)$$

Де  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення фізичної величини;

$n$  – число повторностей (кількість вимірів);

$x_i$  – Результат  $i$ -ї повторності (вимірювання).

Оцінкою похибки результату всієї серії з  $n$ -вимірювань із заданим значенням коефіцієнта надійності  $\epsilon$  величина:

$$\Delta x = x - \bar{x}, \quad (3.10)$$

де  $\Delta x$ - абсолютна похибка;

$x$  – результат виміру фізичної величини.

Рівень значимості  $\alpha$  у дослідженнях сільськогосподарських машин та технологічних процесів зазвичай приймають 5%, імовірність правильного значення становить 95%.

Для оцінки відхилень похибки результату всієї серії з обмеженої кількості  $n$  дослідів скористаємося середньоквадратичною похибкою результату серії вимірювань, яка дорівнює

$$\Delta S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (3.11)$$

Де  $\Delta S_x$  - середньоквадратична похибка результату серії вимірювань.

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли за критерієм Стюдента

$$t_p > t_T(V, P), \quad (3.12)$$

де  $t_p$ - Розрахункове значення коефіцієнта Стюдента,  $t_p = b_i/S_{bi}$ ;

$t_T(V, P)$  – Табличне значення коефіцієнта Стюдента за ступенем свободи  $V = n-(k+1)$  та рівні значущості  $p = 0,05$ .

Оцінку меж довірчого інтервалу визначали за допомогою коефіцієнта Стюдента за формулою

$$\Delta x = t \Delta S_{\bar{x}}, \quad (3.13)$$

де  $t$  - Коефіцієнт Стюдента.

Довірчий інтервал для коефіцієнтів регресії

$$b_i - t_T S_{bi} \leq \beta_i \leq b_i + t_T S_{bi}, \quad (3.14)$$

Де  $\beta_i$  – значення коефіцієнтів регресії у генеральній сукупності.

Для оцінки значущості рівняння регресії використовували F-критерій Фішера

$$F_p \geq F_T, \quad (3.15)$$

Де  $F_p$ - Розрахунковий критерій Фішера;

$F_T$  - Табличне значення критерію Фішера

$$F_p = \frac{S_{\text{заг}}^2}{S_{\text{залиш}}^2}$$

де залишкова дисперсія

$$S_{\text{залиш}}^2 = \frac{\sum (x_i - x_{ip})^2}{n - k - 1} \quad (3.17)$$

Де  $x_i$ - Експериментальне значення залежної змінної;

$x_{ip}$  - Розрахункове значення залежної змінної.

Обробку отриманих експериментальних даних здійснювали на ПЕОМ типу IBM Pentium II за допомогою статистичної програми Statistica 5.5.

### **3.3 Визначення об'ємної продуктивності мобільного змішувача компонентів компосту**

Результати реалізації багатофакторного експерименту та значення критеріїв оптимізації Qсмб та vсм представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати експериментального визначення продуктивності змішувального барабана та нерівномірності суміші

	Рівні факторів			$n_0$	H	$W_c$	$Q_{смб}$	$V_{см}$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1	-1	-1	4,5	0,3	15,4	10,76	16,67
2	-1	-1	0	4,5	0,3	20	12,532	17,83
3	-1	-1	1	4,5	0,3	24,6	14,558	19,55
4	-1	0	-1	4,5	0,4	15,4	9,22	17,27
5	-1	0	0	4,5	0,4	20	10,742	17,91
6	-1	0	1	4,5	0,4	24,6	12,478	19,81
7	-1	1	-1	4,5	0,5	15,4	8,04	17,42
8	-1	1	0	4,5	0,5	20	9,399	18,29
9	-1	1	1	4,5	0,5	24,6	10,918	20,41
10	0	-1	-1	6	0,3	15,4	15,06	20,07
11	0	-1	0	6	0,3	20	17,545	21,6
12	0	-1	1	6	0,3	24,6	20,381	22,41
13	0	0	-1	6	0,4	15,4	12,91	18,72
14	0	0	0	6	0,4	20	14,036	22,3
15	0	0	1	6	0,4	24,6	17,469	24,83
16	0	1	-1	6	0,5	15,4	11,3	19,07
17	0	1	0	6	0,5	20	13,159	27,22
18	0	1	1	6	0,5	24,6	15,286	29,71
19	1	-1	-1	7,5	0,3	15,4	17,93	20,27
20	1	-1	0	7,5	0,3	20	20,887	22,23
21	1	-1	1	7,5	0,3	24,6	24,263	23,55
22	1	0	-1	7,5	0,4	15,4	15,37	22,74

23	1	0	0	7,5	0,4	20	17,903	25,21
1	2	3	4	5	6	24,6	8	9
24	1	0	1	7,5	0,4	24,6	20,797	27,9
25	1	1	-1	7,5	0,5	15,4	13,45	25,31
26	1	1	0	7,5	0,5	20	15,666	28,9
27	1	1	1	7,5	0,5	24,6	18,197	32,41

Після обробки матриці на ЕОМ за відомою методикою було отримано рівняння регресії

$$Q_{\text{смб}} = 15,23844 + 3,65644 \cdot x_1 - 0,62122 \cdot x_1^2 - 2,13894 \cdot x_2 + 2,23928 \cdot x_3 \quad (4.1)$$

Значимість коефіцієнтів регресійного рівняння.  $t_T(22)=2,07$ . Для всіх коефіцієнтів рівняння регресії виконується  $|t_p| \geq t_T(22)$ , Отже, всі коефіцієнти рівняння регресії значущі.

Критерій Фішера отриманої регресійної моделі  $F_T(4,22) = 2,82$ ,  $F_P(4,22) = 154,0677$ . Таким чином,  $F_p > F_T$ , отже, отримане нами рівняння регресії та її компоненти статистично значущі. Регресійне рівняння адекватно відбиває шукану залежність  $Q_{\text{смб}}(n_{\text{смб}}, H, W_c)$ .

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,97$ . Обчислений  $R^2 \geq 0,75$ , Отже, точність рівняння регресії становить 97%, тобто. отриманого рівняння регресії задовольняє 97% вихідних даних.

Рівняння регресії у розкодованому вигляді має вигляд

$$Q_{\text{смб}} = -10,5071 + 5,7508 \cdot n_{\text{смб}} - 0,2761 \cdot n_{\text{смб}}^2 - 21,3894 \cdot H + 0,4868 \cdot W_c \quad (3.18)$$

Значимість коефіцієнтів регресійного рівняння.  $t_T(22) = 2,07$ . Для всіх коефіцієнтів рівняння регресії виконується  $|t_p| \geq (22)$ , Отже, всі коефіцієнти рівняння регресії значущі.

Адекватність регресійного рівняння підтверджується критерієм Фішера  $F_T(4,22) = 2,82$ ,  $F_p(4,22) = 154,0677$ , що підтверджує залежність продуктивності мобільного змішувача від частоти обертів валу змішувального барабана.

$Q_{см}$  при  $W_c = \text{const}$

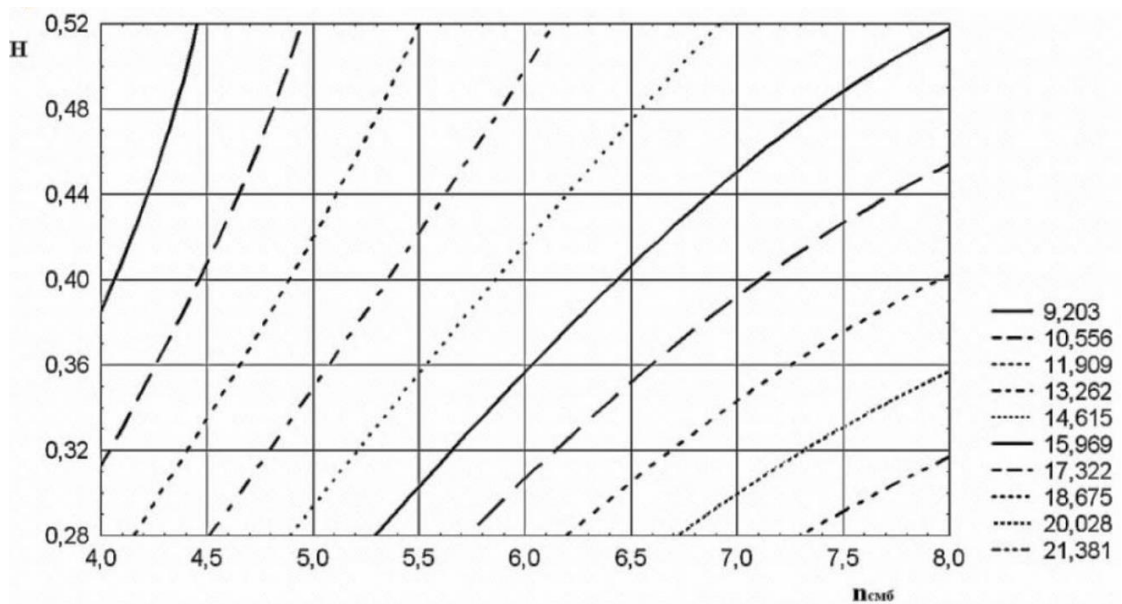


Рисунок 3.2 – Ізолінії продуктивності мобільного змішувача при постійній вологості соломи  $W_c = 20\%$  ( $X_3 = \text{const}$ )

З малюнків 3.2 і 3.3 видно, що з постійному значенні вологості соломи  $W_c = 20\%$  зі зростанням  $n_{смб}$  не більше від 4,5 до 7,5  $\text{с}^{-1}$  та збільшення  $N$  від 0,3 до 0,5 м продуктивність барабана змішувального змінюється від 9,2 до 21,4 т/год.

$Q_{см}$  при  $N = \text{const}$

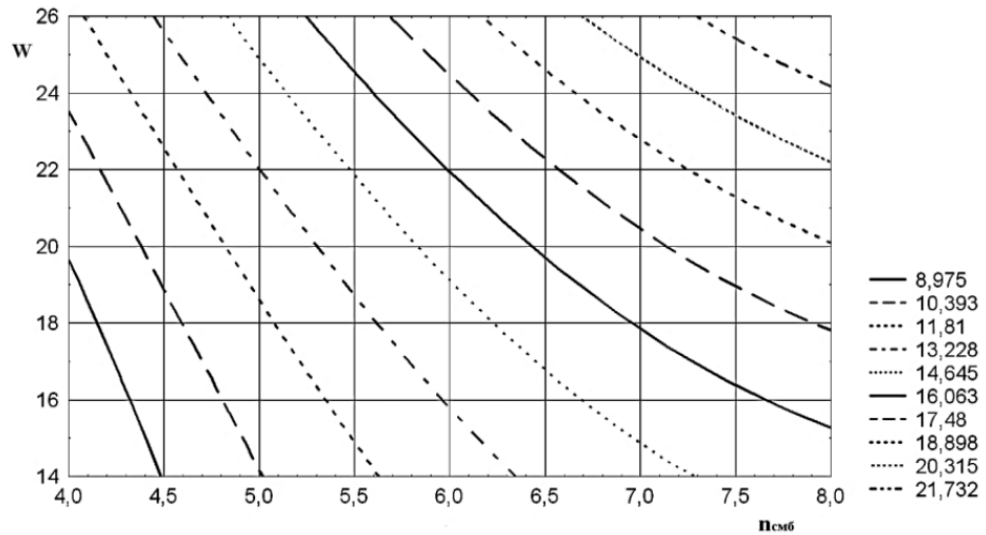


Рисунок 3.3 – Ізолінії продуктивності мобільного змішувача при постійній висоті відкриття вікна подачі соломи  $H = 0,4$  м ( $X_2 = \text{const}$ )

З малюнка 3.3 видно, що з постійному значенні висоти відкриття вікна подачі соломи  $H = 0,4$  м та зміні частоти обертання валу змішувального барабана  $n_{\text{смб}}$  та вологості соломи  $W_c$  продуктивність змінюється в межах від 8,98 до 21,7 т/год.

$Q_{\text{см}}$  при  $n_{\text{смб}} = \text{const}$

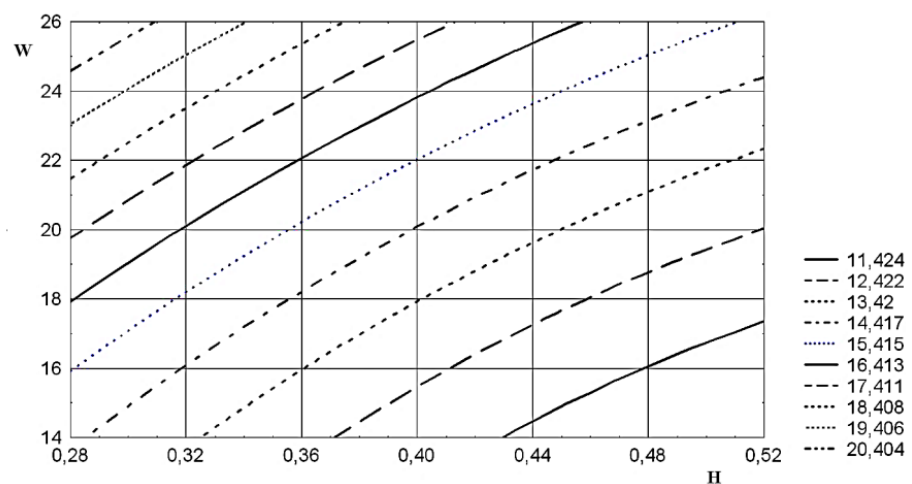


Рисунок 3.4 – Ізолінії продуктивності мобільного змішувача при постійній частоті обертання валу барабана змішувача  $n_{\text{смб}} = 6 \text{ с}^{-1}$  ( $X_1 = \text{const}$ )



При постійних оборотах валу змішувального барабана  $n_{\text{смб}} = 6 \text{ с}^{-1}$  і змінюються  $H$  і  $W_c$  у зазначених межах (рисунок 4.8) продуктивність змінюється від 11,4 до 20,4 т/год.

Вибір раціональних параметрів процесу змішування безпосередньо залежить від якості змішування.

### **3.4 Результати визначення нерівномірності змішування компонентів компосту**

Матриця повнофакторного експерименту  $3^3$  щодо визначення нерівномірності змішування компонентів компосту наведено в таблиці 4.1.

Після обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії, що описує залежність коефіцієнта нерівномірності змішування від частоти оборотів валу змішувача  $X_1$  ( $n_{\text{смб}}$ ), висоти відкриття вікна подачі соломи  $X_2$  ( $H$ ) та вологості соломи  $X_3$  ( $W_c$ )

$$v_k = -9,94836 + 2,34667 \cdot x_1 + 19,2 \cdot x_2 + 0,51981 \cdot x_3 \quad (3.19)$$

Значимість коефіцієнтів регресійного рівняння.  $t_T(23) = 2,07$ . Для всіх коефіцієнтів рівняння регресії виконується  $|t_p| \geq t_T(23)$ , Отже, всі коефіцієнти рівняння регресії значущі.

Критерій Фішера, отриманої регресійної моделі  $F_T(3,23) = 3,03$ ,  $F_p(3,23) = 39,711$ , Отже, отримане рівняння регресії та її компоненти статистично значущі. Регресійне рівняння адекватно відбиває шукану залежність  $v$  ( $n_{\text{смб}}$ ,  $H, W_c$ ).

Коефіцієнт детермінації Обчислений Отже, 83% значень відгуку можна пояснити значеннями фактора. Отже, одержана регресійна модель може використовуватися для прогнозу.

Рівняння в іменованих факторах має вигляд

$$v = 22,20778 + 3,52 \cdot n_{\text{смб}} + 1,92 \cdot H + 2,39111 \cdot W \quad (3.19)$$

Значимість коефіцієнтів регресійного рівняння.  $t_T(23) = 2,07$ . Для всіх коефіцієнтів рівняння регресії виконується  $|t_p| \geq (23)$ , отже, всі коефіцієнти рівняння регресії значущі.

Критерій Фішера, отриманої регресійної моделі  $F_T(3,23) = 3,03$ ,  $F_P(3,23) = 39,711$ , Отже, отримане рівняння регресії та її компоненти статистично значущі. Регресійне рівняння адекватно відбиває шукану залежність  $v(n_{смб}, H, W_c)$ .

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,83$ . Обчислений  $R^2 \geq 0,75$ , отже, 83% значень відгуку зрозумілі значеннями чинника, тобто. Отриманому рівнянню регресії задовольняє 83% вихідних даних.

Це підтверджує залежність продуктивності мобільного змішувача від частоти обертів валу змішувального барабана

Відповідно до отриманого рівняння, нерівномірність змішування компонентів компосту залежить від частоти обертів валу змішувача  $n_{смб}$ , висоти відкриття вікна подачі соломи  $H$  та вологості соломи  $W_c$ .

З малюнків 3.5, 3.6, 3.7. видно, що на показник нерівномірності змішування компонентів впливають  $n_{смб}$ ,  $H$  і  $W_c$ . Так із збільшенням  $n_{смб}$  у межах від  $4,5 \text{ c}^{-1}$  до  $7,5 \text{ c}^{-1}$  та  $H$  – від  $0,3$  до  $0,5$  м (при постійній вологості  $W_c = 20\%$ ) нерівномірність збільшується відповідно від  $17,4\%$  до  $29,6\%$ . Це тим, що зі збільшенням  $n_{смб}$  зменшується час перебування суміші в барабані змішувача. При відкритті вікна подачі соломи  $H = 0,3$  м (при постійній частоті обертання валу змішувача  $n_{смб}$ ) та зміні вологості соломи від  $15,4$  до  $24,6\%$  нерівномірність змішування нижче при відкритті вікна подачі соломи  $0,3$  м і становить від  $16,3$  до  $24,3\%$ , а зі збільшенням висоти вікна до  $0,5$  м нерівномірність зростає до  $28\%$ . Це тим, що менший обсяг соломи, що

подається в змішувальний барабан, інтенсивніше перемішується з напіврідким ГНОЄМ.

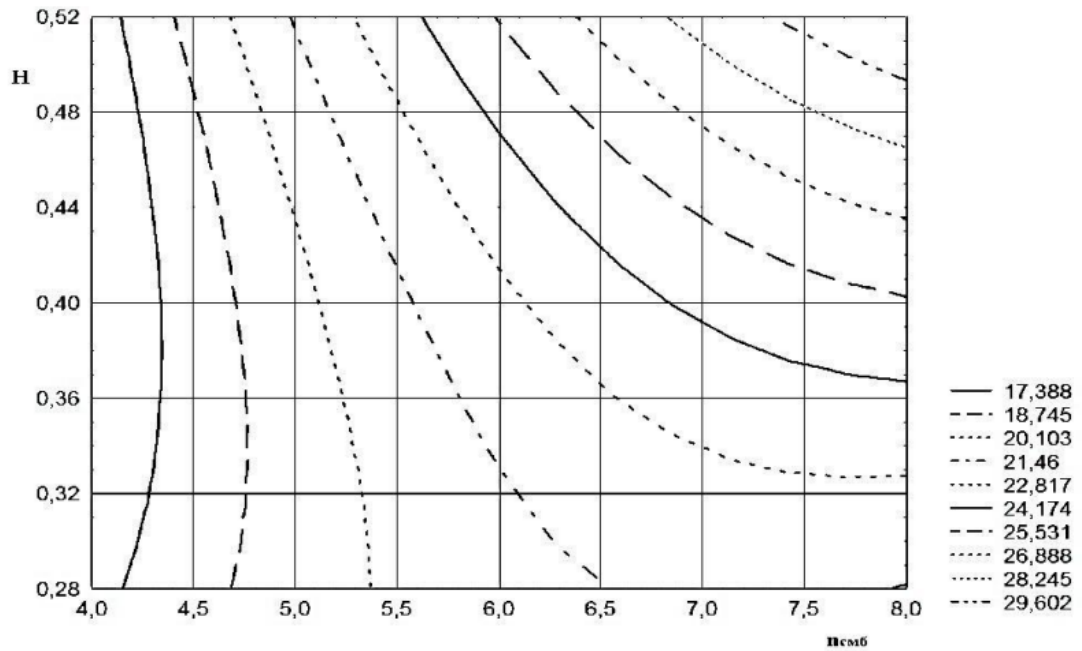


Рисунок 3.5 – Зміна нерівномірності змішування компонентів компосту при зміні частоти обертання валу змішувача та висоти відкриття вікна подачі соломи (при  $X_3 = const$ )

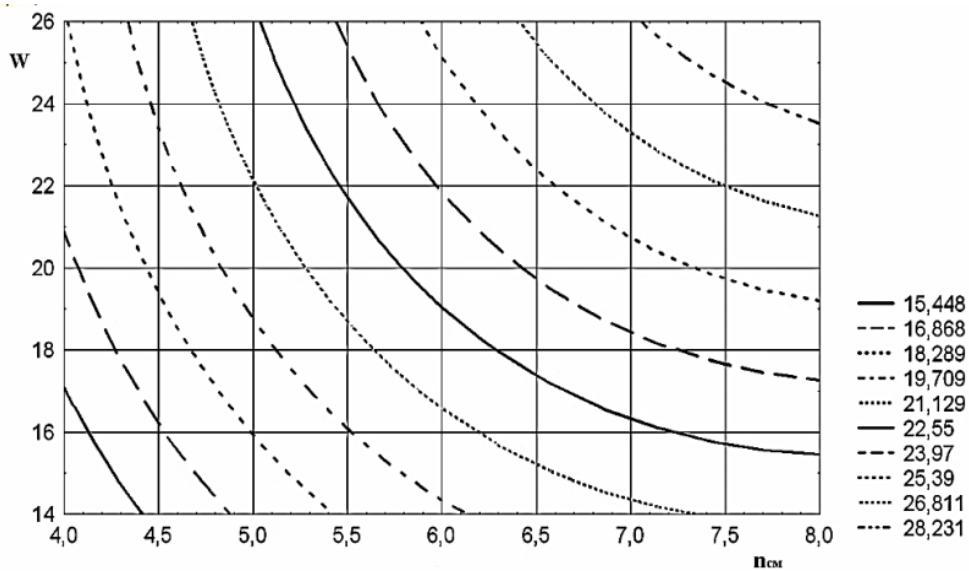


Рисунок 3.6 – Зміна нерівномірності змішування компонентів компосту при зміні вологості соломи та частоти обертання валу змішувального барабана (при  $X_2 = const$ )

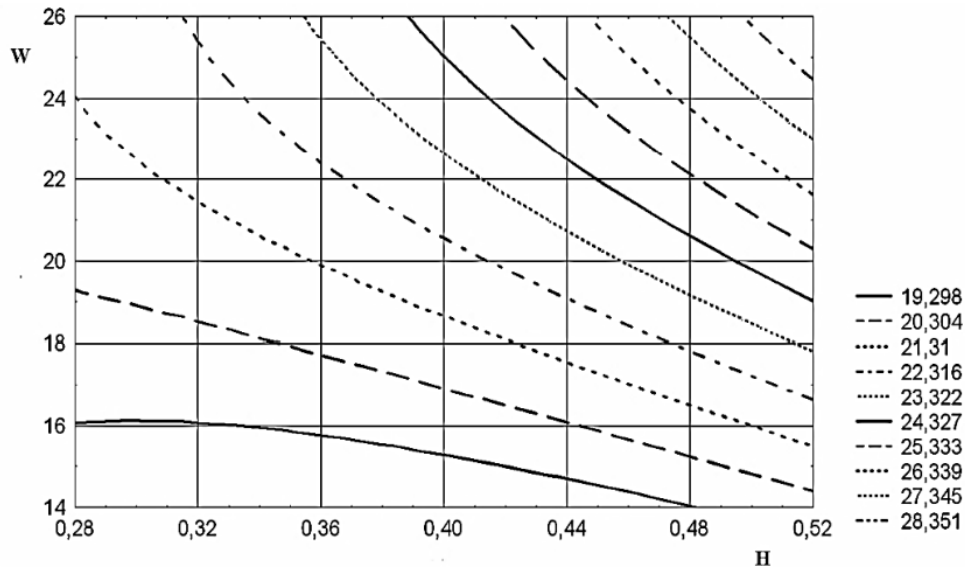


Рисунок 3.7 – Зміна нерівномірності змішування компонентів компосту при зміні вологості соломи та висоти відкриття вікна подачі соломи (при  $X_1 = const$ )

Слід зазначити, що з максимальних значення варіювання чинників  $X_1$  ( $n_{смб}$ ),  $X_2$  ( $H$ ) і  $X_3$  ( $W$ ) найбільш висока нерівномірність змішування компонентів компосту становить 29,6%, що значно вище за необхідні 25% [13, 50, 113 - 115]. Таким чином, за критерієм «нерівномірність змішування» режимні параметри визначатимуться основним технологічним параметром – продуктивністю мобільного змішувача компонентів компосту.

### 4.3 Висновки

1. Експериментально встановлено, що при швидкості подачі соломи донним транспортером 0,112 м/с (при висоті відкриття вікна подачі соломи  $H$  від 0,3 до 0,5 м) продуктивність по соломі становить 0,0036 т/с до 0,0062 т/с вологість 19,4%. Відхилення теоретичного та експериментального значення продуктивність становить від 10,72 до 13,36%.

2. Продуктивність подачі напіврідкого гною в змішувальний барабан при його вологості 90% складала від 0,00699 до 0,0175 м<sup>3</sup>/с. Відхилення теоретичного та експериментального значень становить від 10,37 до 14,13%.

3. Продуктивність мобільного змішувача компонентів компосту, при якій нерівномірність змішування компонентів не перевищує 23,4% становить від 11,5 до 19,01 т/год при зміні швидкості донного транспортера від 0,075 до 0,15 м/с, висоти відкриття вікна подачі соломи від 0,3 до 0,5 м та вологості соломи від 15,4 до 24,6%.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Загальні визначення та поняття

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» [23], «Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і медичних заходів і заходів, що забезпечують охорону життя, спрямованих на збереження здоров'я, безпеки і працездатність людини в процесі трудової діяльності».

Закон про охорону праці складається з вищезазначеного закону, КЗпП України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійного захворювання, спричинених втратою працездатності» та норм. прийняті відповідно до них правові акти;

Згідно з визначенням [17], «Об'єкт високого ризику — це одна або кілька небезпечних речовин або категорій речовин, які використовуються, виробляються, переробляються чи зберігаються в кількості, що перевищує встановлені законодавством порогові значення. , або об'єкти, які транспортуються, населення, та самі інші об'єкти, які відповідно до законодавства становлять реальну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».

Застосування розроблених у роботі подрібнювачів може призвести до пожеж, які, згідно з [66], відносяться до надзвичайних ситуацій техногенного характеру та неконтрольованого горіння поза спеціальними вогнищами, що становлять загрозу здоров'ю, навколишньому середовищу. та призвести до пошкодження майна»[25].

## **4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів**

При експлуатації машини можуть мати місце шкідливі і небезпечні виробничі фактори, в тому числі:

- можливість впливу електричного струму;
- підвищена запиленість повітря;
- рухові частини машини;
- підвищений рівень шуму;
- фізичні перевантаження

## **4.3 Заходи по забезпеченню захисту робітника, який працює з змішувачем від дії шкідливих та небезпечних факторів**

Організаційні заходи - «Своєчасність проведення інструктажів з охорони праці. Направлені інструктажі проводяться спеціалістами служб охорони праці або іншою особою, згідно з наказом (розпорядженням) по підприємству, яка пройшла навчання та перевірку знань з питань охорони праці згідно з встановлені процедури. Це проводять спеціалісти. Таке навчання проводиться для всіх нових співробітників».

Потім, згідно з діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці, «первинний інструктаж проводиться на робочому місці.

Особи, які досягли 18 років, не мають медичних протипоказань і перенесли:

- Відповідна професійна підготовка, включаючи охорону праці та техніку безпеки.

- Пройшов 1 групове навчання та перевірку знань з електробезпеки.
- Заявники визнаються придатними до роботи за станом здоров'я під час попереднього та чергового медичного огляду при прийнятті на роботу.
- Впровадження на робочому місці та початкове навчання.
- Стажування та перевірка знань з питань охорони праці.

Оператори проходять повторний інструктаж з охорони праці не рідше одного разу на шість місяців і щорічно перевіряють знання з питань охорони праці. "

Технічні заходи - «Оператори повинні бути забезпечені спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (далі – ЗІЗ) відповідно до стандартних галузевих стандартів безкоштовної видачі засобів індивідуального захисту».

«Щоб захистити оператора подрібнювача від аварійного короткого замикання на землю або ураження електричним струмом корпусу обладнання у разі пошкодження ізоляції, передбачено захисний вимикач, який активується через 0,2 секунди після того, як електродвигун закритий і заземлений».

"Система примусової вентиляції передбачена для захисту операторів подрібнювачів від високого рівня забруднення повітря пилом. Необхідно розрахувати необхідну продуктивність вентилятора для видалення залишків пилу"[17].

Відповідно до [17], «гранична концентрація пилу, що містить до 10% вільного SiO<sub>2</sub>, становить 4 мг/м<sup>3</sup>». У свіжому повітрі, що надходить до приміщення кормоприготувального відділення, «зовсім немає вказаного пилу (P<sub>0</sub> = 0).

Тоді



$$L = \frac{P}{P_1 - P_0} = \frac{20000}{4 - 0} = 5000 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.1)$$

де  $P$  – кількість пилу, що виділяється в приміщенні, мг/год;

$P_0$  – концентрація пилу в засмоктуваному чистому повітрі, мг/м<sup>3</sup>;

$P_1$  – допустима концентрація пилу в приміщенні, мг/м<sup>3</sup>.

Відповідно до отриманої продуктивності приймаємо до використання осьовий вентилятор ВО 56-00, продуктивністю 5600 м<sup>3</sup>/год, з монтажем в стіну приміщення» [17].

#### **4.4 Правила безпеки при виконанні робіт зі змішування компостів**

Загальні вимоги безпеки. Персонал, який обслуговує та обслуговує машини, повинен: Під час роботи на електроустановках дотримуватись інструкції з експлуатації та вимог цієї інструкції, а також правил гігієни, техніки безпеки та електробезпеки. Виконувати тільки роботу, доручену безпосереднім керівником, і не мати права виконувати розпорядження та завдання, що суперечать вимогам правил техніки безпеки. Використовувати спеціальний одяг та засоби захисту в залежності від виду робіт. Тримайте своє робоче місце в чистоті і своєчасно прибирайте з підлоги розлиті продукти та інші предмети. Підіймання та переміщення вантажів руками повинно здійснюватися відповідно до встановлених стандартів - для жінок не більше 10 кг ваги за один раз протягом робочої зміни - для чоловіків не більше 7 кг ваги - протягом робочої зміни Вага постійно не повинна перевищувати 30 кг (для вантажників - 50 кг і менше) За невиконання положень цієї інструкції працівник може бути притягнутий до дисциплінарної, адміністративної та матеріальної відповідальності.

Вимоги безпеки перед початком роботи. Носіть відповідний чистий спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту.

Підберіть волосся під головний убір. Одяг повинен застібатися на всі гудзики і не мати звисаючих кінців. Перевірте оснащеність робочого місця необхідними для роботи обладнанням, інвентарем, приладами та інструментами. Підготуйте своє робоче місце до безпечної роботи. - Перевірити стійкість обладнання та сировинних стендів. - Зручне та стабільне зберігання сировини. Перевірити зовнішнім оглядом. - Достатнє освітлення робочої зони. - Відсутність звисаючих або оголених кінців електропроводки. - Перевірити наявність і надійність приєднання заземлювального проводу (відсутність обриву, міцність контакту між корпусом машини і заземлювальним проводом). Не починайте роботу, якщо заземлення відсутнє або ненадійне. - наявність огорож рухомих механізмів та надійність їх фіксації;- відсутність сторонніх предметів усередині та навколо використовуваного обладнання;

Вимоги безпеки під час роботи. Безпечна робота вимагає використання відповідного обладнання, інструментів, спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту. Увімкніть машину на холостому ході та перевірте, чи немає застрягань, шуму та правильності обертання ножа. Рівномірно завантажувати машину через завантажувальний пристрій тільки при включеному електродвигуні. Для рівномірної подачі подрібнюваного продукту використовується спеціальний штовхач. При завантаженні продукту слід уникати потрапляння в робочу камеру сторонніх предметів. Забороняється: залишати робочу машину без нагляду, міняти ножі під час роботи приводу, подавати продукт пальцями або сторонніми предметами в робочий ніж, розрізати продукт через отвір корпусу, що вимкнено рукою чи сторонніми предметами. будь-ласка, не розміщуйте предмети, не розміщуйте предмети під час увімкненого приводу, не дозволяйте працювати неавторизованому персоналу або залишайте машину працюючою у разі збою живлення чи перерви в роботі.

Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях. При аварійних ситуаціях або аварійних ситуаціях, є небезпека для здоров'я - відключайте машину від мережі. Натискати кнопку (перемикач) "Стоп" при подачі напруги на корпус машини, корпус пускового керування, появі сторонніх шумів, запаху горілої ізоляції, аварії, раптових зупинках або несправностях механізмів або елементів обладнання тощо. бути припинений (вимкнений) і відключений від електричної мережі. Будь ласка, повідомте про це свого адміністратора та не включайте це в усунення несправностей. У разі захворювання припинити роботу, охоронити робоче місце та повідомити керівництво. Якщо під час роботи стався нещасний випадок, роботу необхідно перервати та надати першу допомогу. Обставини, за яких стався нещасний випадок, повинні зберігатися до прибуття комісії, якщо це не загрожує здоров'ю людей або не спричиняє нещасного випадку.

Вимоги безпеки після закінчення роботи. Вимкніть машину. Очистіть машину від залишків продукту та виконайте санітарні процедури. Знімні робочі частини (наприклад, ножі) слід ретельно очистити, почистити, висушити і зберігати в недоступному для випадкових людей місці. Сушіть пластикові деталі при температурі нижче 50°C. Для очищення машини слід використовувати м'яку щітку. Використання металевих щіток неприпустимо. Зняти спеціальний одяг і взуття в гардеробі. Санітарний одяг слід тримати відкритим, а спецодяг зберігати в закритих шафах. Не допускається спільне зберігання санітарного, спеціального та побутового одягу. Вимийте руки та обличчя теплою водою з милом або прийміть душ. Після використання миючого розчину спочатку вимийте руки теплою водою.

#### **4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях**

Як було сказано вище, «пожежа є найімовірнішою надзвичайною ситуацією на ранчо, тому покладіть на працівників відповідальність і дії у випадку пожежі на ранчо». «Кожен працівник ферми при виявленні будь-яких

ознак пожежі або горіння (дим, запах гару, підвищення температури тощо)»[25]:

- «Негайно припинити роботу та викликати пожежну охорону за номером 101, назвавши адресу господарства, місто проживання, прізвище, ім'я, по батькові та номер телефону»;

- «Вжити всіх можливих заходів для евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей»;

- «Відключити від електромережі закріплене електрообладнання»;

- «Приступити до гасіння наявними первинними засобами пожежогасіння»;

- «Повідомити безпосереднього керівника та повідомити оточуючих»;

- «Залиште будівлю, якщо є загальні червоні прапори».

«Керівник дільниці, якому стало відомо про пожежу, зобов'язаний:»

- «Виклик пожежної охорони по телефону»;

- «Негайно повідомити підлеглих та інших працівників»;

- «Повідомити про пожежу працівника служби пожежної безпеки об'єкта»;

- «Вжити заходів щодо сприяння гасінню пожежі та евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей».

Начальник пожежної безпеки господарства несе такі обов'язки:

- «Дублікат повідомлення про пожежу в пожежну охорону та сповіщення власника майна (генерального директора, засновника)»;

- «У разі загрози життю людей негайно організувати рятування наявними силами і засобами»;

- «У разі необхідності вимкнути світло та вжити інших заходів щодо запобігання виникненню пожежі та задимлення в приміщеннях будівлі»;

- «Припинити всі роботи в будівлі, крім робіт, пов'язаних з протипожежними заходами»;

- «Вивести з небезпечної зони всіх сторонніх працівників, які не беруть участь у локалізації пожежі»;
- «Здійснити загальний контроль гасіння пожежі до прибуття пожежного підрозділу»;
- «Забезпечити дотримання вимог безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі»;
- «Організувати евакуацію та захист тварин і матеріальних цінностей під час гасіння пожеж»;
- «Організувати зустрічі пожежної частини та надати допомогу у виборі найкоротшого шляху до пожежної частини».

"Після прибуття пожежної частини інспектор з пожежної безпеки ферми повинен повідомити керівника пожежної охорони про конструктивні особливості будівлі, прилеглих будівель і споруд, кількість матеріалів, що зберігаються, і небезпеку пожежі. Використання, матеріали та інша інформація, необхідна для успішного гасіння Він також організовує залучення сил і засобів об'єкта для проведення необхідних заходів щодо ліквідації пожежі та запобігання її поширенню.

#### **4.6 Висновки**

Відповідно до чинних нормативних документів та правил охорони праці проведено перевірки розробленого подрібнювача стебла та встановлено вплив шкідливих та небезпечних факторів на оператора. Для їх уникнення намічаються заходи та даються вимоги щодо безпечного ведення робіт. Виявляється, найімовірнішою надзвичайною ситуацією на об'єкті є пожежа, тому показані дії оператора у разі виникнення пожежі.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОГО МОБІЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА

Оцінки економічності мобільного змішувача компосту.

Перевагами розробленого змішувача компосту є: Більша продуктивність і менша потужність – тобто носять технічний характер – порівняння проводиться за експлуатаційними витратами, нехтуючи якісними характеристиками отриманого корму. майже те саме. Експлуатаційні (операційні) витрати визначаються за такою методикою: Витрати на виплату заробітної плати визначимо за формулою

$$Z = n \cdot t \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де  $n$  – чисельність операторів, люд.;

$t$  – тривалість роботи мобільного змішувача компосту на добу, год.;

$f$  – тарифна ставка оператора за годину, грн/год.;

$\delta$  – коефіцієнт нарахування на виплату заробітної плати;

$D$  – всього робочих днів на рік;

Тривалість роботи змішувача компосту на добу визначимо виходячи з добової потреби в компості для малої ферми ВРХ при роботі в одну зміну.

$$t = \frac{Q_n}{Q_{зм}}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де  $Q_n$  - добова потреба в компосту для малої ферми ВРХ, т;

$Q_{зм}$  – подрібнювача стеблових кормів, т/год.

Амортизаційні відрахування розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де  $B$  – балансова вартість мобільного змішувача компосту, грн.

$\alpha$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію подрібнювачів стеблових кормів, %.

Відрахування на ремонт і ТО подрібнювача стеблових кормів розраховуємо за формулою:

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт відрахувань на ремонт мобільного змішувача компосту, %.

Витрати на енергоресурси, в нашому випадку електроенергія, розраховуємо за формулою:

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де  $N$  – потужність мобільного змішувача компосту, кВт.;

$c_e$  – ціна електроенергії, грн/кВт·год.

Загальні операційні витрати складуть

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Економія операційних витрат

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де  $EB_1$ ,  $EB_2$  – операційні витрати за базовим та проектним варіантами, грн.

Термін окупності нового мобільного змішувача компосту

$$P = \frac{B_2}{EEB} , \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де  $B_2$  – балансова вартість проектного мобільного змішувача компосту, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності змішувача

№ з.п.	Показник	ППР-1М	Новий подрібнювач
1	2	3	4
1.	Кількість операторів, люд.	1	1
2.	Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
3.	Кількість робочих днів на рік	365	365
4.	Поголівя корів на малій фермі, гол.	20	20
5.	Добова потреба в компості, кг/гол.	22	22
6.	Добова потреба в компості по фермі, кг	440	440
7.	Продуктивність змішувача, кг/год	300	330
8.	Тривалість роботи змішувача на добу, год.	1,47	1,33
9.	Балансова вартість змішувача, грн.	8850	8900
10.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
12.	Вартість електроенергії, грн/кВт×год	2,32	2,32



1	2	3	4
13.	Потужність на привід, кВт	2,5	2
14.	Витрати на заробітну плату, грн.	35398,38	32180,35
15.	Амортизаційні відрахування, грн.	885,00	890,00
16.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	708,00	712,00
17.	Витрати на електроенергію, грн.	3104,93	2258,13
18.	Експлуатаційні витрати, грн.	40096,31	36040,48
19.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	4055,83
20.	Строк окупності нового змішувача, років	-	2,2

### **Висновки**

Реалізація пропонованого мобільного змішувача компосту в порівнянні дозволяє знизити питомі енерговитрати на 41,5 % та отримати річний економічний ефект у сумі 4055,83 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає 2,2 роки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Продуктивність змішувача залежить від числа обертів вала, швидкості наповнення камери (фактичного (ефективного) об'єму змішувача), конструкції лопатей і їх положення на валу, а також від фізико-механічних властивостей продукту.

Тому одним з ефективних рішень проблеми використання напіврідких добрив на тваринницьких фермах є технологія виробництва компосту за допомогою мобільних міксерів у польових умовах.

Пересувні змішувачі для компостування інгредієнтів забезпечують подачу доз інгредієнтів у змішувальну камеру та вивантаження суміші за рахунок одночасного формування меж заданого розміру.

Найбільш універсальним є лопатевий змішувач, який підходить для змішування рідких і гігроскопічних матеріалів, включаючи напіврідкий гній і соломку.

2. На основі аналізу процесу змішування компонентів компосту отримано теоретичні залежності, технологію (подача) і режим (нижня швидкість конвеєра, швидкість подачі напіврідкого гною, швидкість обертання вала змішувального барабана та ін.) Параметри установки.

Забезпечення мобільного змішувача компонентами, що підлягають компостуванню, залежить від фізико-механічних властивостей компонентів, що змішуються, а також від конструктивної та експлуатаційної установки. У зв'язку з цим необхідно експериментально визначити фізико-механічні властивості соломи, напіврідких добрив, а також конструктивно-експлуатаційні параметри установок.

Енергоефективність обладнання залежить від змішувальної маси барабана та кутової швидкості обертання лопатей змішувача.

Для формування певного розміру компостної купи необхідно експериментально визначити дальність і висоту польоту частинок компостної суміші, що викидаються лопатями з камери змішування.

3. Експериментально підтверджено, що продуктивність соломи становить від 0,0036 т/с до 0,0062 при швидкості подачі соломи нижнім конвеєром 0,112 м/с (висота відкриття вікна подачі соломи  $H$  становить 0,3-0,5 м). Вологість 19,4% т/с. Відхилення між теоретичною та експериментальною продуктивністю становить від 10,72% до 13,36%. Продуктивність подачі напіврідких добрив до змішувальних барабанів при вологості 90% становила 0,00699-0,0175 м<sup>3</sup>/с. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями становить від 10,37 до 14,13%. Продуктивність мобільного змішувача для компостування інгредієнтів з нерівномірністю змішування інгредієнтів не більше 23,4 % становить від 11,5 до 19,01 т/год при зміні швидкості нижнього конвеєра від 0,075 до 0,15 м/с. Висоту отвору вікна подачі соломи змінено з 0,3 до 0,5 м, а вологість соломи – з 15,4 до 24,6%.

4. Відповідно до чинних нормативних документів та правил охорони праці розроблений стовбуровий подрібнювач пройшов випробування та встановлено вплив шкідливих і небезпечних факторів на оператора. Для їх уникнення намічаються заходи та даються вимоги щодо безпечного ведення робіт. Виявляється, найімовірнішою надзвичайною ситуацією на об'єкті є пожежа, тому показані дії оператора при виникненні пожежі.

5. Впровадження запропонованого мобільного змішувача компонентів компосту дозволяє знизити питомі енергетичні витрати на 41,5% та отримати річний економічний ефект 4055,83 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень становить 2,2 року.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Егоров Б.В., Мартынов С.А., Хоренжий Н.В. Технология производства кормовых смесей на основе соломы злаковых культур // Наукові праці ОДАХТ.- Вип. 21.- Одеса, 2001.- С. 194-198.
2. Голиков В.А., Федосенко Г.Г. и др. Кормоприготовительные цехи. – Алма-Ата: «Кайнар», 1975. – 356 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов.–М.: Агропромиздат, 1987.– 303 с., ил.
4. Поєдинок В., Яроцький В., Шумський М. Як заготовити якісне сіно//Техніка АПК. – 1995. – №2. – С. 12-13.
5. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: «Машиностроение», 1975. – 311 с.
6. Бурмистрова М.Ф. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 145 с.
7. Крамаренко Л.П. Сопротивление растений перерезанию // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. – т. 4. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1940. – С. 180-195.
8. Василенко А.А. Основания для проектирования свеклоуборочных машин // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. – т. 4. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1940. – С. 86-91.
9. Брагинець М.В. Дослідження фізико-механічних властивостей кормів // Вісник сільськогосподарської науки. – 1984. – № 1. – С. 31-34.
10. Василенко А.А. Основания для проектирования свеклоуборочных машин // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин.- т. 4.- М.-Л.: Сельхозгиз, 1940.- С. 86-91.
11. Halyk R., Hurlbut L. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1968. – № 11.– p. 256-257.
12. Prince R., Bartok T., Bradway D. Shear stress and modulus of elasticity of selected forages // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1969. – № 12. – p. 426-429.

13. Ahlgrimm H. Der einfluss der Feuchte auf das Biegeverhalten von halmgut bei zug-, scher- und beigebeanspruchung // LandForsch-Volkenrode. – 1970. – № 8. – s. 8-31.
14. McRandal D., McNulty P. Mechanical and physical properties of grasses // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1980. – № 4. – p. 816-821.
15. Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 286 с.
16. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – М.: Колос, 1978. – 560 с.
17. Рахматулин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. – М., 1961. – 196 с.
18. Боярский Л.Г. Производство и использование кормов. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 222 с.
19. Ясенецкий В.А., Гончаренко П.В. Машины для измельчения кормов: Под редакцией акад. ВАСХНИЛ Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1990. – 166 с.
20. Дедаев Г.А., Отрошко С.А. Об оптимальном измельчении силоса из кукурузы восковой спелости // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – №2. – С. 17-19.
21. Арнаутов В.И. Исследование и совершенствование рабочих органов для мелкого измельчения сочных кормов: Автореф. дисс...канд. техн. наук.– Харьков, 1968. – 30 с.
22. Ялпачик Ф.Е., Ялпачик Г.С., Кръжачковский Н.Л., Кюрчев В.Н. Кормодробилки: конструкция, расчет. Запорожье: Издательство «Коммунар», 1992. – 292 с.
23. Измельчитель кормов «Волгарь-5» (модернизация): Отчет о НИР (пояснительная записка по теме № 1.302.105.1.82 (5891) / ВНИИКОМЖК. – № ГР 01.83.0060986; Инв. № 0284 0053550. М., 1983. – 32 с.

24. Нова сільськогосподарська техніка / В.А. Ясенецький, В.С. Куліш, Н.П. Мечта та ін., за ред. В.А. Ясенецького – К.: Урожай, 1991. – 320 с.
25. Мянд А.Э. Кормоприготовительные машины и агрегаты. М.: Машиностроение, 1970. – 256 с.
26. Гушчян А.Г. Исследование и разработка механизированных линий универсального кормоцефа и изыскание путей повышения качества приготовления кормов: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Ереван, 1981. – 21 с.
27. Бобер О.А. Подготовка к скармливанию грубых кормов измельчителем с дисковыми противорезами: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Горки, 1987. – 16 с.
28. Китун А., Передня В. Измельчитель зеленой массы // Свиноводство. – 1991. – №5. С. 21-22.
29. А.с. 1722298 СССР. Измельчитель. / С.А. Отрошко и др. – Оpubл. в БИ №12, 1992.
30. А.с. 566629 СССР. Дробилка для кормов/А.Н. Сердечный и др. – Оpubл. в БИ №28, 1977.
31. Краплин М.А., Петинова М.П. Теоретическое обоснование закономерности распределения длин продукта после измельчения// Проектирование рабочих органов с.-х. машин. – Ростов-на-Дону, 1967. – С.147-151.
32. Грязной Ф.Д. Обоснование технологического решения универсального измельчителя кормов // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – №2. – С. 36-39.
33. Патент 8459 України МКИ А 01 F 29/00 Подрібнювач / Братішко В.В.; Заявл. 22.11.2004; Оpubл. Бюл. № 8, 2005 р.
- 34.** Патент 18732 України МКИ А 01 F 29/00 Подрібнювач кормів / Братішко В.В.; Заявл. 30.05.2006; Оpubл. Бюл. № 11, 2006 р.