



М.К. ЛІННИК, М.М. СЕНЧУК

ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ
ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ
ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ



АГРОІНЖЕНЕРНА НАУКА – ВИРОБНИЦТВУ

**Національна академія аграрних наук
Національний науковий центр
«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»**

М.К. ЛІННИК, М.М. СЕНЧУК

**ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ
ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНИХ
ДОБРИВ**

МОНОГРАФІЯ

Київ -2012

УДК 631:86:631.17

Рецензенти:

академік НААН, доктор сільськогосподарських наук, професор **Г.А. МАЗУР**, головний науковий співробітник ННЦ «Інститут землеробства»;

член-кореспондент НААН, доктор технічних наук, професор **О.В. СИДОРЧУК**, перший заступник директора ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН;

доктор сільськогосподарських наук, професор, **І.Д. ПРИМАК**, завідувач кафедри землеробства Білоцерківського національного аграрного університету.

Схвалено до друку вченою радою Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук (протокол №___ від «___» _____ 2012 р.)

ЛІННИК М.К., СЕНЧУК М.М.

Технології і технічні засоби виробництва та використання органічних добрив - К.:

ISBN 978-617-640-046-2

Книга написана за результатами власних наукових досліджень авторів, а також досліджень українських і зарубіжних вчених і присвячена проблемі ефективного виробництва і використання органічних добрив. В ній детально проаналізовано технології виробництва органічних добрив. Подано методики розрахунків параметрів технічних засобів, характеристики добрив, а також результати досліджень по використанню біогазових установок та вермикультивування для переробки органічної речовини в високоефективні добрива.

Монографія призначена для наукових працівників, аспірантів, конструкторів сільськогосподарської техніки, студентів та фахівців сільськогосподарського виробництва.

Робота виконана в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук, Українському науково-дослідному інституті прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого та Білоцерківському національному аграрному університеті.

ISBN 978-617-640-046-2

©Лінник М.К., Сенчук М.М., 2012 р.

ВСТУП

Концепція інтенсифікації сільськогосподарського виробництва України ставить ряд завдань, які передбачають здійснення комплексних заходів, що забезпечують розширене відтворення родючості ґрунтів, захист їх від водної і вітрової ерозії, охорону зовнішнього середовища, підвищення продуктивності і стабільності землеробства. Серед першочергових завдань особливого значення в даний час набувають заходи, направлені на підвищення ефективності використання органічних добрив. Збільшення вартості енергоносіїв призвело до різкого підвищення цін на мінеральні добрива, крім того, мінеральні компоненти для їх виробництва обмежені в Україні. Колективні і фермерські господарства вимушені будуть найближчими роками дефіцит поживних речовин в ґрунті, при вирощуванні сільськогосподарських культур, поповнювати за рахунок ефективного використання всіх видів органічних відходів тваринного і рослинного походження, використовуючи їх для виробництва органічних добрив.

Екологічний стан сільськогосподарського виробництва в Україні є критичним. Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується невизначеністю у співвідношенні між сільськогосподарськими угіддями, незбалансованістю біохімічних речовин та енергії в агроландшафтах, недосконалістю системи охорони ґрунтів та моніторингу земельних ресурсів. Назване зумовлює не тільки зниження потенціальної родючості ґрунтів, але й порушення екологічної стійкості навколишнього середовища, зниження продуктивності сільськогосподарських угідь. Земельний фонд України належить до найбагатших у Європі, що в поєднанні із сприятливими кліматичними умовами зумовлює потенційно високий рівень виробництва сільськогосподарської продукції. Сільськогосподарські угіддя України складають в середньому 41,8 млн.га, з них ріллі 32,8 млн. га [204].

В Україні надто високими темпами деградують земельні ресурси. Загальні збитки від деградації ґрунтів в Україні сягають до 10 млрд. доларів

США на рік. Економічні збитки лише через ерозію ґрунтів в Україні перевищують 9,1 млрд. грн. в рік.

Щорічні втрати родючого шару ґрунту сягають 600 млн.т, зокрема гумусу до 20 млн. тонн, для компенсації якого потрібно вносити 300-350 млн. тонн традиційних органічних добрив, в той час як у 1986-1990 рр. їх усього вироблялось близько 250 млн. тонн. Землеробство ведеться з повним ігноруванням закону повернення в ґрунт поживних елементів. Порушення екологічної рівноваги агроландшафтів внаслідок часткового розмикання малого біологічного кругообігу речовин призвело до підвищення водної та вітрової ерозії та до ще більшого зниження родючості ґрунту. Площа еродованих земель в Україні щорічно збільшується на 100-120 тис. га. За експертними оцінками, при збереженні наявного стану у використанні ґрунтів площа еродованих орних земель до 2015 р. збільшиться на 1,2-1,5 млн. га і досягне 11,8-12,1 млн. га. Погіршуються інші показники якісного стану ґрунтів: зокрема, вміст гумусу знизився у середньому з 3,2 до 2,6-2,8 % [261].

Вищезазначені причини зумовили те, що біологічний потенціал ґрунтів України використовується лише на 20-30 %, а енерговитрати на отримання одиниці продукції рослинництва в 2-5 разів перевищують енерговитрати в розвинених країнах. При цьому енерговитрати на удобрення та захист рослин в інтенсивних технологіях вирощування складають 32-64 % від загальних в залежності від культури, що вирощується.

Зменшення поголів'я тварин і птиці призвело до гострого дефіциту органічних добрив. Річний вихід біомаси гною і посліду, необхідних для виробництва органічних добрив, складає близько 35 млн. тонн .

В зв'язку із зменшенням поголів'я тварин в Україні, наявної кількості підстилкового гною і посліду для виробництва традиційних компостів достатньо лише для забезпечення мінімумом органічних добрив для вирощування рослинної продукції для дитячого харчування в першу чергу овочів.

Дефіцит органічних добрив для підтримання родючості ґрунтів в Україні можна ліквідувати за рахунок використання органічних відходів: сільськогосподарської рослинної продукції (солома зернових культур, бадилля соняшнику, кукурудзи; комунального господарства (мул стічних вод, міське сміття і інші); харчової промисловості; природніх органічних речовин (торф, сапропелі, мул озер) та зелених добрив (сидеральні та пожнивні культури).

Надзвичайно великого значення для підтримання родючості ґрунтів набуває підтримання системи сівозмін вирощування польових сільськогосподарських культур в господарствах, які розміщені в різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Крім того в Україні існує ціла низка технологічних бар'єрів, що стоять на шляху розвитку перспективних біотехнологічних процесів переробки сільськогосподарських відходів.

Відсутній державний контроль за використанням і поповненням гумусу в ґрунті.

Недоліки в плануванні та обліку виходу гною з ферми і органічних добрив, що вносяться на поля призводять до зниження виходу гною в господарствах до 30-50 %. Недостатній також об'єм гноєсховищ для зберігання гною в поза вегетаційний період. Об'єм гною за стійловий період в ряді випадків перевищує об'єми гноєсховищ в 1,5-2 рази. Окремі ферми взагалі не мають власних сховищ, інші мають лише майданчики для тимчасового зберігання підстилкового гною (не більше 2-тижневого запасу).

Економічний бар'єр розвитку і використання біотехнологічних процесів переробки сільськогосподарських відходів полягає у необхідності їх фінансової підтримки. Ведення економічних стимулів у вигляді субсидування, звільнення від податків, що на сьогодні є відсутнім.

Екологічний бар'єр пов'язаний з існуючим досить м'яким екологічним законодавством, а також відсутністю дієвих заходів щодо стимулювання виробників екологічно чистої продукції. Розробка і впровадження обладнання для переробки відходів тваринництва в Україні практично призупинено.

Все це обумовлює необхідність пошуку та впровадження екологічно-безпечних енергозощаджуючих альтернативних систем землеробства та відповідних комплексів машин з метою стабілізації та відтворення потенціалу агроєкосистем.

Питання подальшого розроблення та вдосконалення науково обґрунтованих технологічних та технічних рішень, що дозволяють отримувати якісну, екологічно безпечну сільськогосподарську продукцію з одночасним зменшенням матеріальних та енергетичних витрат, вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища є вельми актуальними.

До поняття органічного, або альтернативного, землеробства в останні десятиріччя дедалі частіше звертаються вітчизняні та зарубіжні вчені, адже однобічний розвиток певного напрямку в сільському господарстві, його глибока спеціалізація нерідко призводять до порушення екологічної рівноваги. Розроблено ряд теоретичних і практичних положень, які мають певний інтерес стосовно екологізації землеробства в нашій країні.

Головною ознакою органічного землеробства є оптимальне стимулювання біологічної активності ґрунту за допомогою системи різноманітних заходів, що вимагають широкого застосування органічних добрив тваринного походження, виготовлення їх на основі найрізноманітніших компостів, сидерації та фіксації атмосферного азоту бульбочковими бактеріями бобових культур.

Досвід впровадження органічного землеробства в Україні, а також економічно розвинених країнах показує, що в нових умовах стає можливим не тільки покращити якість сільськогосподарської продукції, а й значно підвищити її виробництво. Провідна роль в підтриманні і активізації природних процесів, які забезпечують родючість ґрунтів, належить органічним добривам.

Останнім часом не спостерігається тенденції до покращення структури сівозмін, збільшення поголів'я худоби та птиці, а тому для досягнення позитивного балансу гумусу є актуальною задачею раціональне використання наявних органічних ресурсів, серед яких основними складовими є рослинні

залишки, зокрема солома злакових культур, залишки після збирання ріпаку та соняшника.

Оскільки інтенсивність виробництва вищевказаних культур в сівозмінах можуть досягати 70% і більше, то основою поповнення запасів гумусоутворюючих речовин в ґрунті повинні бути їхні залишки після збирання врожаю. В країнах з високим рівнем розвитку сільського господарства наявні ресурси таких залишків широко застосовуються для виробництва, компостів, субстратів, їстівних грибів.

В Україні технологія збирання даних культур направлена на пряме, безпосереднє використання їхніх залишків шляхом їх заробляння важкими боронами в ґрунт. Для цього на зернових комбайнах встановлюються подрібнювачі, які дають можливість розкидати їх по полю, використовуються подрібнювачі валків типу ПВ – 3,6, а також використання очісуючих жниварок.

В перший рік використання таким способом залишків вказаних культур після їх збирання призводить до відволікання ґрунтового азоту в процесі мікробіологічної їх конверсії та послідуєчого зниження урожайності. Крім того, на перших етапах розкладу, в ґрунт виділяються органічні кислоти, що знижує схожість зерна. Біоконверсія цих залишків в ґрунті проходить в умовах далеких від оптимальних для діяльності ґрунтової мікрофлори, а тому цей процес значно затягується в часі.

Для зменшення негативного впливу рослинних залишків на ґрунт в перший рік застосування рекомендується одночасно вносити азотні та біологічно активні добрива та препарати, до яких входять вермикомпост, або ЕМ- препарати.

В багатьох країнах отримали розповсюдження технології переробки органічної сировини (відходів органічного походження) за допомогою заселення її земляними або гнойовими черв'яками (далі дощові черв'яки). В процесі чого зникає неприємний запах і через короткий проміжок часу утворюється високоякісне органічне добриво - вермикомпост. Переробка черв'яками в порівнянні з традиційним компостуванням підвищує коефіцієнт

гуміфікації органічної сировини в 1,5-2 рази. Органічне добриво має велику кількість біологічно-активних речовин, які прискорюють проростання насіння, покращують приживання розсади, підвищують стійкість рослин до захворювань. В вермикомпості знаходиться в 100 разів більше корисної для ґрунту мікрофлори ніж в органічних добривах.

ЕМ-препарат – це біологічно активна речовина, яка, при внесенні її в ґрунт, покращує його біологічну активність, а також прискорює розпад рослинних залишків в ґрунті.

Традиційним, найбільш поширеним та ефективним є використання незернової частини урожаю, найчастіше соломи та лушпиння соняшника, в якості підстилки для тварин та птиці з послідуєчим використанням суміші як органічного добрива.

Перспективним засобом поповнення гумусоутворюючих речовин в ґрунті є створення в кожній сівозміні компостних майданчиків, які розміщуються на краю поля, що дозволить зменшити затрати на транспортування соломи та послідуєче внесення органічних добрив в ґрунт. В компостах поживні речовини перетворюються в найбільш засвоювану рослинами форму. Ефективність компостів на 8-10 % більша порівняно з підстилковим гноєм та послідом. Крім того, дози внесення компосту, як правило в два рази менше, що скорочує транспортні витрати.

Монографія є підсумком роботи авторів по створенню технологічних процесів і технічних засобів для біоконверсії органічної сировини агроценозів. Її метою є підвищення ефективності біологічної конверсії органічної сировини агроценозів у штучних умовах при одночасному підтриманні родючості ґрунтів шляхом удосконалення технології та технічних засобів для виробництва високоякісних органічних добрив.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

1.1. Види органічних добрив і їх основні характеристики.

1.1.1. Загальні положення.

Підвищення родючості ґрунту, збільшення врожайності всіх сільськогосподарських культур і поліпшення якості продукції рослинництва нерозривно пов'язане з рішенням задач по раціональному використанню органічних добрив. Особливо це завдання актуальне для Поліських районів України, в яких високі і стабільні врожаї сільськогосподарських культур можна одержувати при систематичному внесенні високих (15-20 т добрив на гектар ріллі) норм органічних добрив.

З розвитком інтенсивного землеробства підвищується роль органічних добрив для підтримки бездефіцитного балансу поживних речовин і гумусу в ґрунті, а також сприятливих її фізичних властивостей.

Розрахунки Інституту ґрунтознавства і агрохімії ім. А.Н.Соколовського Української академії аграрних наук показують, що для досягнення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунтах України щорічно необхідно вносити 300...310 млн. т органічних добрив, що складе 10 т добрив на гектар ріллі або в розрізі основних ґрунтовокліматичних зон України: у Поліссі, залежно від типів ґрунтів, від 13-14 до 17-18 т; Лісостепу – 10-12 т; Степу – 8-9 т [15,158].

Основним видом органічних добрив в Україні є гній великої рогатої худоби і свиней, пташиний послід (щорічно на птахофабриках України накопичується близько 5 млн. т); для виробництва органічних добрив в Україні до недавнього часу використовувалося близько 20 млн. т торфу, частково застосовуються як органічне добриво осади міських стічних вод, щорічний об'єм накопичення яких досягає 3 млн. т по сухій речовині.

Іншою групою матеріалів, використовуваних як органічні добрива або як компо-нентів компостів, є продукти природного розкладання органічних

речовин, відходи продуктів рослинництва, лісової і деревообробної промисловості, підприємств переробки сільськогосподарської продукції, а також побутові відходи міст і інших населених пунктів. Сюди відносяться торф і сапрпель, солома і інші рослинні залишки (деревна кора і ошурки, листя і хвоя, відходи льону і лігнін), побутове сміття і т. п. (рис. 1.1)

Залежно від запасів, складності добування або попередньої підготовки, ефективності використання, різні види матеріалів застосовуються в різних об'ємах. Проте, вони представляють величезний резерв органічних речовин, необхідних ґрунтам України.

Можна стверджувати, що в основному як органічні добрива використовуються органічні відходи одержувані в сільськогосподарському виробництві тваринного і рослинного походження: підстилковий і безпідстилковий гній сільськогосподарських тварин, пташиний послід, гноївка, солома, не використана на корм худобі, зелені добрива та інше.

1.1.2. Гній та пташиний послід.

Залежно від технології утримання тварин і птиці гнойова маса може мати тверду (вологість до 80 %), напіврідку (вологість 80...90 %) або рідку (вологість понад 90 %) консистенцію.

За ступенем розкладання органічних речовин розрізняють чотири види підстилкового гною: свіжий, в якому солома майже повністю зберегла первинний вигляд і міцність; напівперепрілий – солома має темно-коричневий колір і легко розривається; перепрілий – солома має вид чорнуватої маслянистої маси і наявність соломи в ній непомітно; пере-гній – сипка чорна маса. У цій стадії розкладання гній втрачає до 75% маси і сухої органічної речовини [138]. Тому не слід доводити гній до стану, що перепрів, або перегною.

При тривалому його розкладанні кількість органічної речовини зменшується в 2-3 рази, втрачається значна кількість азоту [121].

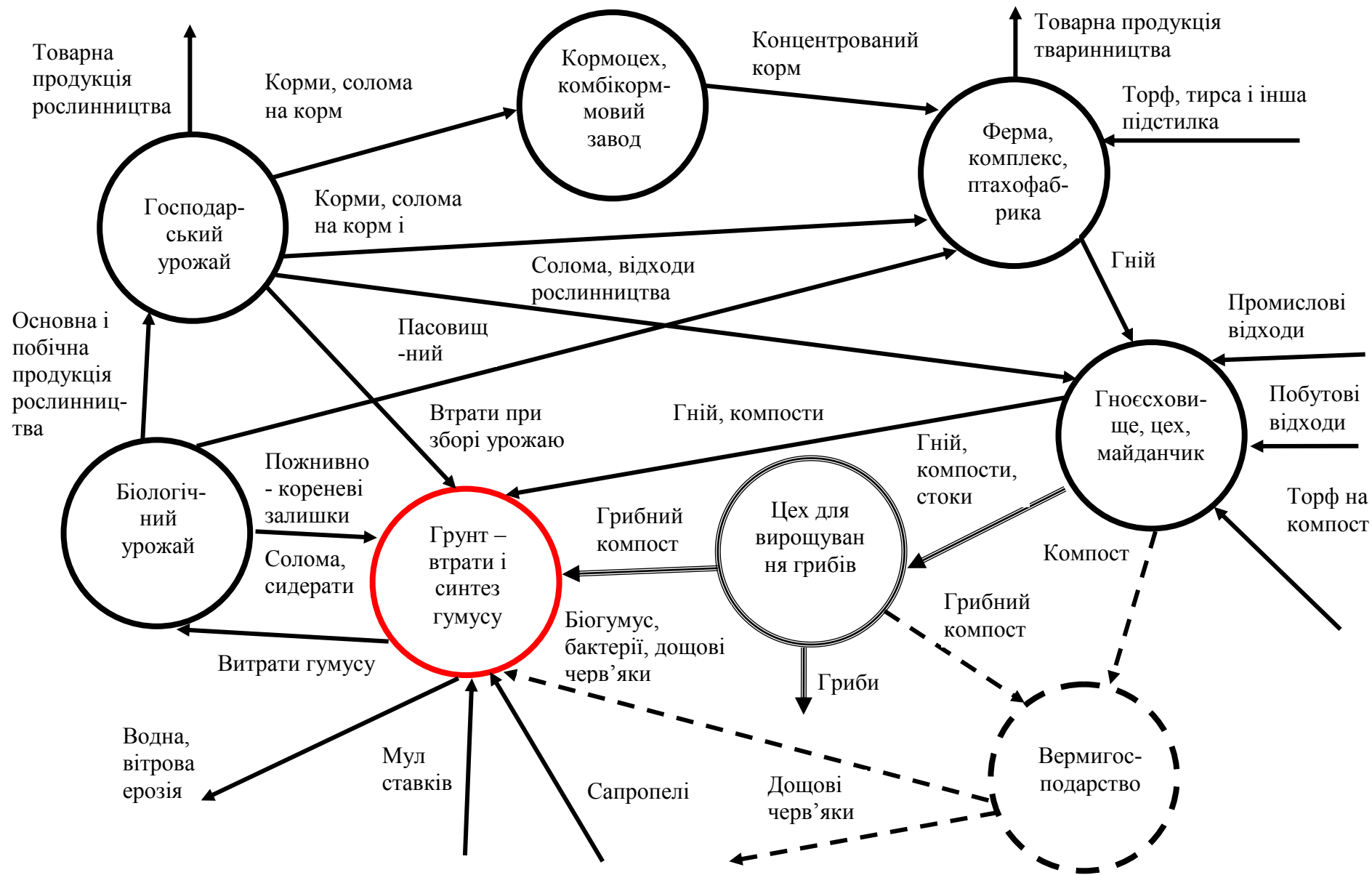


Рис. 1.1. Господарсько-біологічний кругообіг органічних речовин в сільськогосподарському виробництві

В процесі утримання сільськогосподарських тварин і птиці з використанням підстилки нагромаджується підстилковий твердий гній, вологістю до 80% хімічний склад якого подано в таблиці 1.1, 1.12.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад гною [53].

Гній	Вміст при натуральній вологості, % на сиру речовину						Во- ло- гість	pH	C/N
	азоту		Фос- фору	калію	Орга- нічної речовини	золи			
	Загаль- ного	Аміач- ного							
Великої рогатої худоби	0,54	0,07	0,28	0,60	21,0	14,0	65,0	8,1	19
Свиней	0,84	0,15	0,58	0,62	21,9	17,4	60,7	7,9	13
Кінський	0,59	0,09	0,26	0,59	22,6	8,4	69,0	7,9	21
Овечий	0,86	0,14	0,47	0,88	28,0	23,0	49,0	7,9	17

Для отримання підстилкового гною в тваринницьких приміщеннях і на вигулах використовують підстилкові матеріали (подрібнену солому, торфокришку, тирсу). Цінність їх залежить в даному випадку від властивості поглинати сечу і газу (табл. 1.3).

Солому на підстилку краще використовувати в вигляді січки довжиною 10...15 см. Подрібнена солома краще поглинає воду, щільніше укладається в бурти і рівномірно поглинає вологу.

Норми підстилкового матеріалу в розрахунку на одну тварину приведено в таблицях 1.4 і 1.5. Кількість твердих і рідких виділень, а також їх початкова вологість залежать від виду і віку тварин (табл. 1.6-1.11).

Знаючи вихід гною в господарстві і його хімічний склад, можна розрахувати, скільки азоту, фосфору і калію і мікроелементів буде внесено (табл. 1.12, 1.14). В середньому в 1 т гною міститься 5,3 кг азоту, 2,7 кг - фосфору і 6,2 кг калію.

При утриманні сільськогосподарських тварин без підстилки (на решітчастих підлогах) або з мінімальним її використанням (прибирання гною скреперними установками, гвинтовими конвеєрами) утворюється безпідстилковий гній рідкої або напіврідкої консистенції.

Таблиця 1.2 – Втрати азоту і фосфору в коров'ячому гною, отриманому на солом'яній підстилці в залежності від ступеня розпаду, % .

Гній	Азот	Фосфор	Втрати органічної речовини
Свіжий	0,52	0,25	-
Напівперепрівший	0,60	0,38	29,0
Перепрівший	0,66	0,43	47,2
Перегній	0,73	0,48	62,4

Таблиця 1.3 – Поглинаюча властивість і середній хімічний склад підстилки.

Види підстилки	Хімічний склад, %					100 част. підстилки всмокт. води	1 кг підстилки всмокт. аміака
	вода	азот	фосфор	калій	кальцій		
Солома оз. пшениці	14	0,50	0,20	0,90	0,28	200...300	8...10
Торф низинний	30...35	2,30	0,30	0,20	-	500...700	35...40
моховий	30...35	1,20	0,20	0,30	-	1000...1500	-
Тирса	25	0,20	0,30	0,74	1,80	400	-

Таблиця 1.4 – Кількість води, яку здатні утримувати різні підстилкові матеріали, на 100 частин підстилки [74].

Підстилковий матеріал	Здатність утримувати воду	Підстилковий матеріал	Здатність утримувати воду
Солома злакових культур	180 - 280	Листя дуба	162
Солома гороху	280	Листя буку	400
Тирса	420	Хвоя	15- 250
Стружки	300	Ялинові гілки	70
Торф	500 - 700	Вереск	100

Таблиця 1.5 – Приблизні добові витрати підстилки на 1 голову, кг [74].

Тип тварин	Матеріал (вологість, %)				
	Солома (14,3)	Торф (40,0)	Торфокрошки (35,0)	Листя дерев (18,0)	Тирса (25,0)
Велика рогата худоба (ВРХ)	4 - 6	3 - 4	10 -20	3 - 4	3 - 6
Коні	3 - 5	2 - 3	8 - 10	2 - 3	2 - 4
Вівці	0,5 - 1	-	-	-	-
Свиноматки з поросятами	5 - 6	3 -4	-	-	-
Свині на відгодівлі	1 -1,5	0,1 - 1	-	1 - 2	1,5 - 2
Поросята	0,5 - 1	0,5 - 1	-	0,5 - 1	1 - 2

Таблиця 1.6 – Норма підстилки на 1 голову різних видів тварин, кг/добу [175].

Вид тварин	Солома		Торф		Тирса
	озим. зерн.	бобових	моховий	низинний	
Велика рогата худоба	3...6	4...6	4...6	4...6	3...6
Коні	3...4	3...5	3...4	3...4	2...4
Вівці	0,5...1	0,5...1	-	-	-
Свині на відгодівлі	1...2	1,5...2	1,5...2	-	1,5...2
Поросята	0,5...1	1,5...2	1,5...2	-	1,5...2
Свиноматки з поросятами	5...7	6...8	-	-	-

Таблиця 1.7 – Початкова вологість екскрементів тварин і птиці.

Вид тварин і птиці	Вологість, %		
	кал	сеча	суміші екскрементів
Велика рогата худоба	83-64	94,8-95	86-87
Свині	76-78	94-95	87-68
Вівці	67-69	94-35	74-75
Коні	71-72	95-96	77-79
Кури	-	-	73-76
Індики	-	-	73-76
Качки, гуси	-	-	83-65

Таблиця 1.8 – Середня маса екскрементів, які виділяють різні за віком групи тварин і птиці.

Групи тварин	Вихід на 1 голову, кг за добу		
	кал	сеча	всього
Корови	35	20	55
Нетелі	20	7	27
Молодняк на відгодівлі, місяців			
12	14	12	26
9	10	9	19
6	10	5	15
Телята до 6 місяців	5	2,8	7,5
Свині			
Свиноматки дорослі	3,1	3,0	6,1
Поросята 2- місячн.	0,8	2,5	3,3
3-4 міс.	1,4	2,2	3,5
Підсвинки 6-міс.	1,6	2,6	4,2
Свині на відгодівлі	1,5	3,5	5,0
Кури			0,189
яйценосні репродуктивного стада	-	-	
яйценосні промислового стада	-	-	0,175
м'ясні кури репродуктивного стада	-	-	276...0,300
Індики	-	-	0,450
Качки	-	-	0,423
Гуси	-	-	0,594
Молодняк яйценосних м'ясних курей	-	-	0,097...0,188
Бройлери в клітках	-	-	0,135
Бройлери на підлозі	-	-	0,158

Таблиця 1.9 – Добовий вихід екскрементів у свиней [74].

Група тварин	Вихід екскрементів, кг/доб	Вологість екскрементів, %	Група тварин	Вихід екскрементів, кг/доб	Вологість екскрементів, %
Кнури	11,1	89,4			
Свиноматки:					
холості	8,8	90,8	Масою до 40 кг	3,5	86,6
порісні	10,0	91,0	Масою до 40-80 кг	5,1	87,0
з поросятами	15,3	90,1	Масою до 40-80 кг	5,1	87,0
Поросята відлучені	2,4	86,0	Масою більше 80 кг	6,6	87,5

Маса безпідстилкового гною збільшується на 20...30 % і більша в порівнянні з масою екскрементів тварин, за рахунок води, яка попадає в канави при очищенні приміщень, підмиванні вимені, миття годівниць і підтікання напувалок. Вологість такого гною складає 91...92 %. Нормативи споживання води в розрахунку на 1 голову подано в таблицях 1.13, 1.15.

Подальше розведення водою екскрементів тварин небажано, так як породжує необхідність в збільшенні ємкостей для зберігання маси та транспортних засобів для його транспортування в поле і використання в якості добрив.

Рідкий гній розшаровується при вологості більше 92 %, а при вологості більше 96 % цей процес стає інтенсивним. Осадок, який випав добре ущільнюється, що приводить до необхідності інтенсивного перемішування перед обробкою.

Згідно з дослідженнями Інституту ґрунтознавства і агрохімії УААН наявність поживних речовин в безпідстилковому гною залежить від вологості (табл. 1.16).

Дослідженнями встановлено, що при механічних способах розділення гною на фракції фосфор і кальцій розподіляється майже порівну між твердою і рідкою фракціями, так як 80...90 % азоту, калію і натрію залишається в рідкій фракції.

Таблиця 1.10 – Добовий вихід екскрементів у великої рогатої худоби середньою вологістю 90 % [74].

Група тварин	Екскременти, кг/доб		
	всього	кал	сеча
Бугаї	40	30	10
Корови	55	35	20
Нетелі	27	20	7
Телята до 6 місяців	7,5	5,0	2,5
Молодняк 6-12 місяців	14,0	10,0	4,0
Молодняк на відгодівлі, міс:			
6 - 12	26,0	14,0	12,0
12 - 18	27,0	20,0	7,0
Старше 18	35,0	23,0	12,0

Таблиця 1.11 – Кількість гною, одержаного за рік від різних тварин, т [74].

Вид тварин	Тривалість стійлового періоду, діб			
	240-220	220-200	200-180	менше 180
Велика рогата худоба	10 - 12	9- 10	6 - 8	4 - 5
Коні	7 - 8	5 - 6	4 - 5	2,5 – 3
Свині	2 – 2,5	1,5 - 2	до 1,5	1,0
Вівці,кози	1,0	0,9	0,6 – 0,9	0,4- 0,5

Таблиця 1.12 – Вміст мікроелементів гною (на суху речовину), %.

Мікроелементи	Гній	
	великої рогатої худоби	Свиней на відгодівлі
Залізо	0,048	0,065
Марганець	0,03	0,04
Мідь	0,0002	0,0003
Магній	0,05	0,06
Натрій	0,05	0,04
Цинк	0,0018	0,003

Таблиця 1.13 – Добові норми споживання води на 1 голову для комплексів і ферм великої рогатої худоби, л.

Група тварин	Гаряча вода	Холодна вода	Всього
Корови:			
молочні	15	85	100
м'ясні	-	70	70
Бички та нетелі	5	55	60
Телята	2	18	20
Молодняк	2	8	30

Таблиця 1.14 – Середній вміст сухих і біогенних речовин в екскрементах свиней та великої рогатої худоби на голову за добу [87].

Групи тварин	Вихід кала, сечі кг	Сухой речовини, кг	Азоту загального (N), г	Кальцію (CaO), г	Фосфору (P ₂ O ₅), г	Калію (K ₂ O), г
Характеристика кала свиней						
Кнури-плідники	3,2	0,8	26,0	23,8	25,2	14,3
Свиноматки:						
холості	2,6	0,7	18	18,2	13,8	8
поросні	2,8	0,8	20	19,6	16,4	8,55
з поросятами	3,4	0,9	24	26,6	22,9	10
Поросята в віці, дні:						
26...42	0,1	0,03	2	2,1	1,84	0,46
43...60	0,3	0,08	3	3,4	3,4	0,67
61...106	0,7	0,20	6	9,8	8,0	2,38
Свині на відгодівлі масою, кг:						
до 70	1,8	0,45	16	14	18,3	8,2
70...112	2,6	0,65	20	17,5	22,9	8,7
Характеристика сечі свиней						
Кнури-плідники	0,6	0,18	34	0,84	2,3	19,2
Свиноматки:						
холості	6,0	0,24	27	0,56	2,10	20,4
порисні	8,0	0,20	28	0,42	2,75	19,8
з поросятами	9,0	0,25	31	0,28	2,52	11,7
Поросята в віці, дні:						
26...42	0,3	0,015	2	0,042	0,21	1,14
43...60	0,4	0,02	4	0,042	0,37	2,16
61...106	1,1	0,05	8	0,070	0,41	5,50
Свині на відгодівлі масою, кг:						
до 70	2,7	0,086	20	0,28	1,74	5,5
70...112	3,6	0,116	28	0,34	3,20	6,4
Характеристика кала великої рогатої худоби						
Корови	20	1,16	82,0	2,1	2,3	228,0
Нетелі	20	3,3	77,7	71,8	69,3	30,7
Молодняк на відгодівлі в віці 18 міс.	18	3,76	60,0	44,8	№.№	25,7
Телята в віці, міс:						
3	1	0,21	4,0	2,0	4,7	1,5
6	10	1,66	37,3	30,1	42,0	11,9
12	15	2,54	56,1	69,2	52,2	19,7
Характеристика сечі великої рогатої худоби						
Корови	20	1,16	82,0	2,1	2,3	228,0
Нетелі	13	0,73	54,9	1,0	0,92	136,8
Молодняк на відгодівлі в віці 18 міс.	9	0,54	48,0	0,7	0,69	92,4
Телята в віці, міс:						
3	3,5	0,17	19,5	0,16	0,12	38,0
6	5	0,18	25,0	0,28	0,23	48,0
12	7	0,24	33,5	0,42	0,46	67,2

Таблиця 1.15 – Добові норми споживання води на 1 голову для свиноферм, л.

Група тварин	Напування	Технологічні потреби	Всього
Кнури-плідники	10	15	25
Матки:			
порісні	12	13	25
холості			
підсосні	20	40	60
Поросята відлучені	2	3	5
Ремонтний молодняк	6	9	15
Свині на відгодівлі	6	9	15

Таблиця 1.16 – Наявність основних поживних речовин в безпідстилковому гною в залежності від його вологості.

Вологість, %	Наявність поживних речовин в гною, %					
	великої рогатої худоби			свиней		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
90,0...91,5	0,45	0,25	0,32	0,63	0,32	0,33
92,1...92,5	0,40	0,20	0,25	0,52	0,25	0,26
94,3...95,0	0,30	0,16	0,19	0,38	0,18	0,19
96,7...97,1	0,23	0,14	0,13	0,27	0,14	0,13
98,3...98,8	0,15	0,08	0,08	0,18	0,09	0,10
98,7...99,0	0,12	0,06	0,07	0,16	0,07	0,08

Пташиний послід багатший на поживні речовини ніж гній великої рогатої худоби і свиней: крім того, поживні речовини в пташиному посліді знаходяться в легкодоступних для рослин сполученнях (табл.1.17).

Безпідстилковий послід, який отримують при клітковому утриманні курей містить 75...80 % води, 1,0...1,5 % загального азоту, 1,1...1,5 % фосфору і 0,4 % калію, а підстилковий, який отримують при утриманні курей на підлозі з використанням підстилки містить 20...40 % води; 2...2,4 % загального азоту; 2,5...3,0 % фосфору; 0,4...0,6 % калію. Хімічний склад посліду (табл. 1.17) в значній мірі залежить від хімічного складу кормів і підстилки, способу утримання птиці, видового складу і майже не залежить від віку птиці.

Вихід гною залежить від кормів, виду і віку тварин, тривалості стійлового періоду, способів утримання та технології нагромадження гною.

Добовий вихід пташиного посліду подано в таблиці 1.18.

Таблиця 1.17 – Хімічний склад різних видів пташиного посліду [62].

Вид посліду	Вміст води, %	pH	Вміст поживних елементів, % сирої речовини					Приблизна питома вага від загальної кількості, %
			азот		P ₂ O ₅	K ₂ O	Зо- ла	
			Загаль- ний	Аміач- ний				
Термічно висушений	20	7,1	3,0	0,41	3,5	1,2	21	0,1
Нативний (підстилковий і без підстилкового)	65	7,4	1,2	0,34	0,64	0,60	20	27,2
Напіврідкий	85	7,0	1,0	0,50	0,40	0,35	10	46
Рідкий	92	6,9	0,8	0,32	0,36	0,26	5	17,4
Стічні води	99	7,2	0,2	0,07	0,07	0,16	4	9,3

Таблиця 1.18 – Добовий вихід посліду на птахофабриках.

Група птахів	Вихід посліду, г/гол за добу
Кури:	
м'ясні: від 1 до 9 тижнів	158
яйценосне стадо від 180 до 450 діб	278 - 300
яйценосне стадо від 60 до 150 діб	180
ремонтне стадо від 21 до 26 тижнів	188
промислове стадо	175
Індики:	
доросле поголів'я	450
ремонтне поголів'я від 18 до 34 тижнів	180
м'ясне поголів'я від 9 до 23 тижнів	420
Качки:	
доросле поголів'я	423
молоді від 26 до 28 тижнів	253
Гуси:	
доросле поголів'я	594
ремонтне поголів'я від 35 до 39 тижнів	495
м'ясне поголів'я від 4 до 9 тижнів	480

Аналітичні залежності для розрахунку виходу гною з тваринницької ферми.

До складу гною входять екскременти тварин (кал, сеча), підстилка, залишки корму, сторонні включення, технологічна вода.

Добовий вихід гною (кг) визначають за формулою:

$$M_z = M_e + M_{m.v} + M_{в.з.} + M_n, \quad (1.1)$$

де M_e – маса екскрементів (кал і сеча), кг/добу; $M_{m.v}$ – витрати води на технологічні потреби (миття обладнання, приміщень, тварин і т.д.) кг/добу;

$M_{в.г.}$ – витрати води на видалення гною, кг/добу; M_n – витрати підстилки, залишки кормів, кг/добу.

Масу екскрементів від різних за віком груп тварин і птиці розраховують за формулою:

$$M_e = m_1 a_1 + m_2 a_2 + \dots + m_n a_n, \quad (1.2)$$

де $m_1, m_2, \dots, m_n$ – вихід екскрементів за добу від однієї голови відповідної групи тварин, кг/добу; $a_1, a_2, \dots, a_n$ – число тварин за віковими групами, голів;

Складову $M_{м.в.}$ визначають за формулою:

$$M_{м.в.} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n, \quad (1.3)$$

де $b_1, b_2, \dots, b_n$ – добові норми споживання води на 1 голову, кг/добу;

Витрати води на видалення гною $M_{в.г.}$ визначають по фактичному використанню. У разі використання гідрозмивних систем для орієнтовних розрахунків на голову можна застосовувати 15 л на 1 кг/добу.

Складову M_n визначають за формулою:

$$M_n = a_1 c_1 + a_2 c_2 + \dots + a_n c_n, \quad (1.4)$$

де $c_1, c_2, \dots, c_n$ – добові витрати підстилки в розрахунку на одну голову, кг/добу.

Для розрахунків маси підстилкового гною, який нагромаджується в господарстві від різного виду тварин зручно користуватися середніми даними по виходу суміші кала і сечі від умовної голови (жива вага 500 кг), який складає у великої рогатої худоби в середньому 55 кг/гол. в добу і 11,1 кг/гол у свиней і використовують формулу (1.5).

$$M_{н.г.} = n \left[M_e + M_n \left(t_n + \frac{t_n}{3} \right) \right] \cdot \frac{100 - \Pi}{100}, \quad (1.5)$$

де $M_{н.г.}$ – вихід підстилкового гною, кг; M_e – маса екскрементів від однієї умовної голови, кг; n – кількість тварин в умовних головах; M_n – маса підстилки за добу на одну тварину кг/ум. гол.; t_n, t_n – відповідно тривалість утримання тварин в приміщеннях і літніх таборах, діб; Π – втрати маси в процесі зберігання гною, %.

Відповідно загальновідомих даних *коефіцієнт переводу в умовні голови* складає: *велика рогата худоба* – 0,8; *свині* – 0,2; *вівці* – 0,1; *коні* – 0,5. Найкраще в процесі перерахунку різного виду поголів'я тварин в умовну голову використовувати дані періодичного зважування тварин, після чого їх загальну масу поділити на 500, що дає кількість тварин в умовних головах. В практиці нерідко виникає необхідність визначити кількість гною в сховищах, на прифермських майданчиках або в буртах. В даному випадку об'єм його множать на масу 1 м^3 .

Вологість підстилкового гною (%) можна визначити за формулою:

$$W_z = (M_e W_e + M_n W_n + 100 M_g) / M_z,$$

$$W_z = W_e - 0,01 P_n (W_e - W_n) + 0,01 P_g (100 - W_e), \quad (1.6)$$

де W_e , W_n – вологість екскрементів і підстилки, % ; P_n , P_g – відсотковий вміст в гною підстилки і води. M_e , M_n , M_g – маса відповідно екскрементів, підстилки та технологічної води, кг

Вологість W_z гною, що поступає з комплексу або ферми можна визначати за формулою:

$$W_z = \frac{M_e W_e^{cp} + M_g^3 W_g}{M_e + M_g^3}, \quad (1.7)$$

де W_e^{cp} – середня вологість екскрементів, %; W_g – вологість технічної рідини (вода, та інше), %

$$M_g^3 = M_{m.g} + M_{g.z}. \quad (1.8)$$

Слід зазначити, що при самопливній системі безперервної дії підстилку не використовують.

Вміст абсолютно сухої речовини в гної (т) вираховується за формулою:

$$M_{a.c.p.} = \frac{M_z (100 - W_z)}{100}. \quad (1.9)$$

Дослідження складу гною показали, що в середньому він містить до 15% неорганічних речовин. Тоді кількість органічних речовин (т) в масі гною буде

$$M_{o.p.} = 0,85 \cdot M_{a.c.p.}. \quad (1.10)$$

Кількість ХПК, БПК₅ і БПК₂₀ (т) визначають відповідно:

$$\text{ХПК} = 1,2 \cdot M_{o.p.}; \quad (1.11)$$

$$\text{БПК}_5 = 0,42 \cdot \text{ХПК}; \quad (1.12)$$

$$\text{БПК}_{20} = 0,84 \cdot \text{ХПК}; \quad (1.13)$$

$$\text{БПК}_5 = 0,5 \cdot \text{БПК}_{20}, \quad (1.14)$$

де 1,2; 0,42; 0,84; 0,5 - коефіцієнти виявлені дослідним шляхом.

Кількість основних поживних елементів в гною визначається за формулою:

$$M_{el} = M_{a.c.p.} \cdot K / 100 \quad (1.15)$$

де K – вміст поживного елемента в сухій речовині гною, %.

У разі тривалого зберігання гною (більше 6 місяців) при розрахунках маси НРК слід враховувати втрати: в рідкій фракції до 20%, в твердій до 30%.

Кількість твердої фракції або осаду (т) після розділення гною на фракції визначається за формулою:

$$M_{m.f.} = \frac{P_{a.c.p.} \cdot E_p^y}{P_{m.f.}} \cdot 100, \quad (1.16)$$

де $P_{a.c.p.}$ – маса абсолютно сухої речовини, що подається в установку, т; E_p^y – якість розділення по а.с.р. %; $P_{m.f.}$ – вміст а.с.р. в твердій фракції або осіданні після розділення, %.

При розведенні суміші калу і сечі водою до встановленої вологості об'єм її (м³) визначають за формулою:

$$V_x = \frac{V_1 \rho_1 (100 - W_1)}{\rho_x (100 - W_x)} \quad (1.17)$$

де W_1, W_x – вологість відповідно первинної суміші і суміші яку визначають, %; V_1, V_x – об'єми первинної суміші і суміші, яку визначають, (м³); ρ_1, ρ_x – аналогічно об'ємна маса первинної суміші і суміші, яку визначають безпідстилкового гною, кг/м³.

Згідно даної формули розрахунки показують, що при розведенні гною водою (при гідрозмиві) до вологості 95 % його об'єм збільшується в 2 рази, а до 98 % - в 5 разів в порівнянні з об'ємом екскрементів тварин.

1.1.3. Солома.

Оскільки інтенсивність виробництва зернових культур в сівоzmінах може досягати 70%, то основою поповнення запасів гумусоутворюючих речовин в ґрунті повинна бути солома. Склад соломи та вміст елементів живлення показано в табл. 1.19 і 1.20.

Таблиця 1.19 – Склад соломи, % сухої речовини.

Культура	Загальна зола	Водорозчинні речовини	Лігнін	Пентозани	Альфацелілоза
Ячмінь	6,4	16,1	14,5	24,7	33,8
Овес	7,2	15,3	17,5	27,1	39,4
Пшениця	6,6	7,4	16,7	28,2	39,0
Жито	4,3	9,4	19,0	30,5	37,6
Рис	16,1	13,3	11,9	24,5	36,5

Як видно із табл. 1.20 в усіх видах соломи, крім зернобобових культур, відношення C/N складає 60-100. В прямій залежності від цього показника знаходиться швидкість її розкладання в ґрунті. Чим це співвідношення менше, тим швидше розкладається солома. При внесенні соломи в чистому вигляді в перший рік спостерігається деяке зниження врожаю сільськогосподарських культур в результаті додаткового споживання азоту з ґрунту мікрофлорою, що розкладає солону. Крім того, на перших етапах розкладу соломи, в ґрунт виділяються органічні кислоти, що знижує схожість зерна. Біоконверсія соломи в ґрунті проходить в умовах далеких від оптимальних для діяльності ґрунтової мікрофлори, а тому цей процес значно затягується в часі.

Таблиця 1.20 – Вміст елементів живлення в соломі [264].

Солома	Суша речовина, %	Органічна речовина, %	% до сирової маси					C/N (N=1)
			N	P	K	Ca	Mg	
Пшенична	86	82	0,45	0,07	0,64	0,21	0,07	80-90
Житня	86	82	0,34	0,07	0,52	0,33	0,05	100-110
Ячмінна	86	82	0,50	0,18	0,94	0,28	0,05	70-80
Вівсяна	86	80	0,42	0,13	1,12	0,24	0,07	80-90
Кукурудзяна	86	82	0,46	0,16	1,26	0,32	0,14	60-80
Ріпакова	85	80	0,53	0,11	0,85	0,81	0,16	60-70
Зернових і бобових культур	86	80	1,29	0,16	1,07	0,91	0,16	20-25

Для виключення цього негативного ефекту 1 т соломи вносять від 3,5 до 15 кг азоту (в середньому 10 кг). Для зменшення негативного впливу соломи на ґрунт в перший рік застосування рекомендується одночасно вносити вермикомпост, або ЕМ- препарати.

Відомі такі способи використання соломи на удобрення ґрунту: для одержання підстилкового гною, виробництво компостів та субстратів для вирощування грибів, безпосереднє використання соломи для удобрення ґрунту.

Традиційний спосіб використання соломи на добриво – застосування її на корм та підстилку тваринам в результаті чого одержують підстилковий гній.

Слід відзначити, що в господарствах, які мають достатню кількість соломи, велику рогату худобу, свині та інші свійські тварини слід утримувати на глибокій підстилці. Таке утримання створює комфортні умови для тварин, підвищується їх продуктивність, збільшується в господарствах об'єм високоякісних органічних добрив. Останні дослідження інституту

свинарства НААН свідчать, що газовий склад повітря в приміщеннях, в яких утримують свиней на глибокій підстилці, задовільний для життєдіяльності тварин.

Одним із резервів накопичення органічних добрив у господарствах є утримання великої рогатої худоби на вигульних майданчиках та в літніх таборах. Місця стоянки тварин покривають подрібненою соломою шаром 30-40 см. У міру перемішування соломи з екскрементами тварин накопичений гній видаляють з майданчиків бульдозерами, звільнений від гною майданчик знову засипають соломою. В середньому вихід напівперепрілого гною на одну умовну голову за рік, з урахуванням накопичення в літніх таборах та на вигульних майданчиках складає 10-11 т.

Солому для підстилки в приміщеннях та на вигульних майданчиках, як було відмічено вище, краще застосовувати в подрібненому вигляді. Подрібнена солома краще поглинає рідкі екскременти тварин, гній з подрібненою соломою краще буртується, зменшуються втрати азоту і органічної речовини. Використання подрібненої соломи в порівнянні з неподрібненою зменшує витрати для підстилки на 25%. Для розкидання подрібненої соломи в приміщеннях, вигульних майданчиках та літніх таборах слід використовувати модернізований розкидач подрібненої соломи КТУ-10. Підстилковий гній з приміщень та вигульних майданчиків видаляють за допомогою бульдозерів, які змонтовані на тракторах класу 1,4 та 3 (тонно сил).

Компости одержують шляхом змішування з напіврідким гноєм, пташиним послідом, або твердою фракцією рідкого гною при розділенні його на фракції. При цьому суміш екскрементів тварин та соломи укладають в бурти для знезараження та зберігання.

Для цього використовують стаціонарні та мобільні комплекси машин та обладнання. Досвід їх використання показав, що мобільні комплекси для

приготування органічних добрив є універсальними для використання в різних типах господарств під час компостування органічної сировини.

При використанні соломи безпосередньо як добрива її подрібнюють і рівномірно розкидають по поверхні ґрунту в процесі збирання зернових культур.

В усіх трьох способах використання соломи для удобрення ґрунту її необхідно подрібнювати. Для цієї цілі використовують ПУН-5 та ПКН-1500. Для подрібнення валків соломи, залишеної на поверхні поля після збирання зернових культур комбайнами без подрібнювачів, подрібнення і розподіл її по стерні з подальшого заорення застосовують подрібнювачі-розкидачі соломи ПРС-2,1, ПВ-3,6, МП-2,0, ПН-4,0.

В практиці рекомендується заробляти солону зразу після її подрібнення і розкидання важкою дисковою бороною БДВ-3, БДВ-7, а також ґрунтообробними агрегатами типу АГ або УДА, на глибину 8-10 см.

На полях, які розміщені поблизу тваринницьких ферм, мінеральні добрива (азотні) під час використання соломи можна замінити еквівалентною по азоту дозою рідкого гною – 6-8 т на 1 т соломи.

Встановлено, що коефіцієнт гуміфікації при безвідвальному обробітку ґрунту на 23-25% більший ніж при оранці з обертанням пласта, що позитивно впливає на розкладання соломи.

1.1.4. Торф.

Торф здавна використовувався для удобрення під сільськогосподарські культури. Виділяють торф низинний (автотрофний), перехідний (мезотрофний) і верховий (оліготрофний). Хімічний склад різних видів торфу подано в табл. 1.21.

Таблиця 1.21 – Хімічний склад різних видів торфу, % сухої речовини [11].

Тип торфу	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калій (K ₂ O)	pH сольове
Верховий	0,8-1,2	0,05-0,12	<0,1	2,8-3,5
Перехідний	1,0-2,3	0,1-0,2	0,1	3,5-4,7
Низинний	2,3-3,3	0,12-0,5	<0,15	4,7-5,5

В ньому міститься від 20 до 70% органічної речовини, від 2,3 до 3,3% азоту в низинному торфі, від 0,8 до 1,2% у верховому торфі, та ряд інших цінних елементів молібден, кобальт, цинк, бор тощо [62].

Азот у торфі знаходиться у малодоступній для рослин формі. Для того щоб перетворити його в доступну, торф необхідно використовувати для виготовлення компостів. Компостують провітрений торф із свіжим гноєм, пташиним послідом, осадами стічних вод тощо. Він є чудовим адсорбентом і консервантом, що дає можливість при компостуванні підвищувати вміст рухомих речовин, він зберігає рідку фракцію.

Торф'яна підстилка поліпшує санітарний стан тваринницьких приміщень, знижує рівень простудних захворювань тварин та птиці.

Мікробіологічні процеси в результаті компостування відбуваються особливо активно при температурі 50-60 °C. Тому торфокомпости вкладають в бурти без ущільнення. Закладку торф'яних компостів можна здійснювати на протязі всього року. В літній період термін компостування – 1 місяць, в зимовий 2-3 місяці, так як при понижених температурах всі мікробіологічні процеси уповільнюються.

Під час виготовлення торфогнойових компостів компоненти змішують в співвідношенні 1:1. По дії на урожай основних сільськогосподарських культур компост такого складу майже не поступається гною.

При підвищенні ступеня розкладу зростає зольність торфу. Нейтральна реакція торфу свідчить про підвищений вміст кальцію, кисла – рухомих форм заліза, алюмінію і марганцю. Використання кислого торфу не рекомендується. Тому перед його використанням треба не тільки нейтралізувати його кислотність, але й провести його провітрювання з метою переведення закисних сполук в окисні. Торф з прошарками вівіанту (фосфорнокисла закисна сіль заліза), вміст якого становить до 8 %, можна використовувати і як фосфорне добриво.

Вітчизняні та зарубіжні дослідження свідчать про високу агрохімічну і екологічну ефективність використання торфу в теплично-парниковому

господарстві в якості поживного субстрату при вирощуванні їстівних грибів.

1.1.5. Сапропелі.

В Україні почався освоюватися такий вид органічних добрив як сапропель.

Сапропелі – комплексні відкладення органічних і мінеральних речовин на дні непроточних або слабо проточних відкритих водойм. Середній вміст азоту – 2,05 %, фосфору – 0,63 %, калію – до 0,03-0,04% в сухій речовині [62].

За хімічним складом сапропелі поділяють на кремнеземисті (піску понад 50 %), карбонатні (понад 30% окису кальцію) і органічні (понад 70 % органічної речовини).

Сапропелі містять ряд цінних мікроелементів, вітамінів, біостимуляторів, що можуть бути додатковим джерелом підвищення родючості ґрунтів. Сапропелі після провітрювання і проморожування використовують для удобрення в чистому вигляді або готують компости з гноєм, послідом, гноївкою тощо. При цьому відстань перевезень не повинна перевищувати 20 км.

1.1.6. Мул ставків.

На відміну від сапропелів ставковий мул утворюється за короткий час існування штучної водойми, за рахунок знесення з водозбірної площі тонко дисперсних мінеральних та органічних частинок, а також рослинних і тваринних решток водойми. Мул ставків в деяких випадках за хімічним складом мало чим відрізняється від навколишніх ґрунтів. Вносять його під оранку провітреним у нормах 100-200 т/га на території, що прилягає до водойм, тому що перевозити його на значні відстані неефективно із-за низького вмісту поживних речовин.

1.1.7. Органічні відходи комунальних господарств і промисловості.

Вилучення продукції сільськогосподарського виробництва у сферу міського споживання і промислової переробки сировини розширює розімкнене коло біологічного кругообігу у землеробстві, концентруючи її навколо міст і промислових центрів.

Кількість міських відходів, шламів, сміття у світі щороку становить

близько 25-30 млрд. тонн, під звалищами втрачається 5-7 млн. га землі, половина якої продуктивні угіддя. До таких відходів відносяться осади стічних вод міських очисних споруд, міське сміття, відходи промисловості органічного походження. Хімічний склад таких відходів показано в табл. 1.22.

Осади стічних вод – цінне органічне добриво, що утворюється на очисних спорудах. У таблиці 1.23 приведені дані тресту Мосочиствод і ряду зарубіжних дослідників за вмістом основних речовин удобрювачів в осаді стічних вод і гною великої рогатої худоби [244]. Як видно із таблиці 1.23, осад стічних вод поступається лише гною за вмістом калієвих добрив. Тому при удобрюванні осадом стічних вод одночасно вносять додатково мінеральні калієві добрива. Найціннішим органічним добривом, багатим азотом і фосфорним ангідридом є активний мул.

Вміст поживних речовин в осаді міських стічних вод коливається в широких межах. Це пояснюється відмінністю складу стічних вод (табл. 1.24), що очищаються, і притокою різноманітних промислових стоків в міську каналізацію.

Використання осаду стічних вод в якості добрив є найбільш раціональним прийомом утилізації при умові відповідності його санітарно-гігієнічним вимогам.

Міське сміття. Існує три способи переробки міського сміття: складання на звалищах, спалювання і компостування. Складання міського сміття на звалищах може стати небезпечним джерелом забруднення навколишнього середовища. Різні види міського сміття неодинакові за вмістом поживних речовин (табл. 1.25).

У міському смітті міститься значна кількість органічної речовини, бо воно складається переважно із кухонних відходів (35 %), паперу (34 %), скла і фарфору (6 %), заліза (3 %), пластмаси (1 %). Встановлено, що в 10 т побутових відходів міститься 900- 1900 кг органічної речовини (у 10 т гною – 1800 кг), 50- 1000 кг основ (у гної – 60 кг), 8-10 кг азоту (гній – 15-20 кг), 10 кг фосфору (гній – 15-20 кг), 30-40 кг калію (гній – 60-70 кг). У середньому в міському

смітті міститься (% на суху речовину): N – 0,6-0,7, P_2O_5 – 0,5- 0,6, K_2O – 0,8 [53].

Слід відмітити, що відходи комунального господарства можуть мати як позитивне, так і негативне значення для землеробства; в них може міститися значна кількість важких металів, фенолів, ціанідів, мийних засобів, вони можуть бути джерелом інфекційних і гельмінтозних захворювань для людини і тварин. Тому для їх використання необхідно проводити переробку по спеціальних технологіях, які запобігають негативному екологічному впливу на ґрунт.

Відходи промисловості. З ростом промислового виробництва постійно збільшується кількість відходів мінерального та органічного походження. Всі вони містять певну кількість цінних поживних речовин для рослин. Зокрема, для удобрення можна використовувати відходи гірничорудної та металургійної промисловості, шлаки заводів кольорової промисловості, збагачувальних фабрик.

Серед твердих промислових відходів є й такі, що не можна застосовувати у землеробстві або інших галузях народного господарства. Після всебічної перевірки їх необхідно знезаражувати і знищувати.

Відходи органічного походження поділяють на три групи [27]:

1 – ті, що потребують компостування – відходи боєнь, пера, пух, лузга насіння, вичавки з яблук та винограду, винний осад;

2 – ті, що вимагають завчасного внесення в ґрунт (мають широке відношення C : N – N H_4): м'язга і шрот виноградних зерен; відходи щетинних фабрик, вовняних цехів; вовняний пил;

3 – ті, що придатні для удобрення без обмежень: шлам боєнь, сирі рибні відходи, міздра, рогова і галалітова стружка, лялечка шовкопряда, шовковий пух, тютюновий пил, тютюновий лист після видалення нікотину, шрот рицини.

Таблиця 1.22 – Хімічний склад добрив із вихідних компонентів [26].

Показник	Побутове сміття	Осад стічних вод	Смітте-мулові добрива
Вологість, %	30,0-40,0	70,0	55,0
pH сольове	5,5-6,0	10,4	7,8
Органічна речовина, %	50,0-64,0	55,0	47,0
Азот загальний, % на суху речовину	0,8-0,9	2,4	1,9
Фосфор загальний (P ₂ O ₅), % на суху речовину	0,7	0,9	1,1
Фосфор рухомий (P ₂ O ₅), мг/кг	170,0-200,0	200,0	270,0
Калій загальний (K ₂ O), % на суху речовину	0,6	0,4-0,6	1,0-1,2
Барій, мг/кг	70-80	400-500	250-300
Бор, мг/кг	4,0-8,0	20,0	10,0-15,0
Хром, мг/кг	112,0-180,0	75,0	130,0
Свинець, мг/кг	30,0-40,0	45,0	40,0
Нікель, мг/кг	10,0-11,0	20-30	20-25
Цинк, мг/кг	0,2-0,5	7,0-8,0	2,0-3,0
Мідь, мг/кг	30,0-56,0	35,0	2,0-3,0
Марганець, мг/кг	7,0-10,0	100-150	20-30
Кальцій (CaO), %	6,0	10-15	9-10
Відношення C/N	30-35	20-25	20-25

Таблиця 1.23 – Порівняльний вміст основних речовин удобрювачів в осаді міських стічних вод і гною великої рогатої худоби, в % на суху речовину [87].

Речовини удобрювачів	Сирий осад	Активний мул	Зброджений осад	Гній ВРХ
Азот N	1,6 .4,0	2,4.6,5	1,7.6,0	2,0.2,6
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,6.5,2	2,3.8,0	0,9.6,6	1,6.1,8
Калій (K ₂ O)	0,2.0,6	0,3.0,4	0,2.0,3	1,8.1,9

Таблиця 1.24 – Удобрювальна цінність осаду стічних вод [53].

Стічні води	Вміст хімічних елементів мг/л				При середній зрошувальній нормі 400 м ³ /га вноситься на 1 га	
	N	K	P	Ca+Mg	мінеральних добрив	гною по азоту
Міста і населені пункти						
Комунально-побутові	80-100	40-50	18-20	-	2,4-2,9	64-80
Змішані	50	30	10	100	1,8	40
Харчова промисловість						
Цукрові	30	50	10	170	1,2	24
Молочні	36	23	18	70	1,3	29
Крохмальні	260	480	90	76	11,7	200
Пивоварні	16	20	5	65	0,5	13
Дріжджові	250	480	100	-	11,8	200
М'ясні	290	140	100	160	9,2	230
Консервні	23	120	25	-	2,2	180

Таблиця 1.25 – Хімічний склад міського сміття, % у сирій речовині [11].

Сміття	Вода	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калій (K ₂ O)	Вапно (CaO)
Свіже з будинків з каналізацією	46	0,5	0,5	0,4	-
Свіже з будинків без каналізації	60	0,6	0,8	-	-
Свіже	50	0,6	0,3	1,0	7,0
Перепріле	-	1,2	1,7	2,7	8,6

При наявності органічних наповнювачів (торф, відсортоване міське сміття, тирса, підстилковий гній тощо) знезаражені осади доцільно компостувати з ними у співвідношенні – осад: наповнювач із сміття і тирси 0,5-1,5 : 1 влітку і 1-3 : 1 взимку із підстилкового гною – відповідно 0,5 : 1 і 1 : 1, із торфу – 1,5-1 : 1 і 2-1,5 : 1. Період визрівання компосту влітку – 1,5-2, взимку – 3-4 міс.

Наповнювач завозять на майданчик компостування і розрівнюють шаром 25-35 см бульдозером, на нього рівномірно розвантажують осад стічних вод, потім суміш перемішують бульдозером або обробляють дисковою бороною і формують бурт заввишки до 2-2,5 м, завширшки по низу 7-8 м і 3-4 по верху і масою не більше 1000 т. При збільшенні висоти штабеля маса робиться більш липкою і гірше піддається рівномірному внесенню. Такі компости не ущільнюють, а якщо зберігають лише осад чи компост із сміття, то його необхідно щомісяця перемішувати (перший раз через 3 тижні після обробки).

Узагальнення результатів ряду досліджень вітчизняних і зарубіжних учених по хімічному складу, інших показниках дозволили звести характеристики основних видів вживаних органічних добрив в таблицю 1.26 [11, 15, 34, 61, 64, 93, 115, 118, 138, 163].

Таблиця 1.26 – Основні характеристики органічних добрив

Органічне добриво	Вологість, %	Густина, т/м ³	рН	Вміст в % на абсолютно суху речовину								Вологоємність, %
				Орган. речовини	Зола	C	N заг.	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	
Гній ВРХ	85-97	1,0-1,1	6,7-8,7	70-85	15-30	18-40	1,9-4,3	0,8-2,5	0,6-2,8	1,3-5,2	1,9-2,1	-
Гній свиней	86-98	1,0-1,1	6,8-8,7	75-85	15-20	25-30	2,6-6,5	0,9-2,9	1,4-3,7	1,4-5,4	0,3-0,5	-
Послід	70-85	1,07	6,7-8,4	50-75	25-50	21-37	3,6-8,0	1,7-2,3	3,0-6,7	1,3-4,0	2,35	
Осад стічної води	82-92	-	7,5	60-75	25-40	35-80	1,6-4,0	0,8-2,0	0,6-5,2	0,3-0,6	3,6-10,8	
Осад зброджений	83-92	-	-	59-72	28-41	-	3,0-4,0	0,27	2,4-4,8	0,81	3,48	
Торф верховий	55-70	0,2-0,6	2,6-4,4	95-98	1,5-5,0	32,4	0,5-2,0	-	0,03-0,3	0,01-0,1	0,1-0,5	600-1200
перехідний	55-65	0,2-0,4	2,6-5,3	90-95	1,0-5,0	-	1,4-2,5	-	0,02-0,4	0,05-0,2	0,2-0,3	350-950
низинний	55-65	0,2-0,5	4,8-7,0	85-92	9,0-15,0	50-64	1,6-4,0	-	0,1-0,4	0,02-0,3	1,2-6,3	450-870
Солома	16-24	0,04-0,06	-	78-85	4,0-7,0	36-70	0,5-0,8	-	0,1-0,2	0,9-1,6	0,3-0,4	200-300
Тирса	25	-	-	-	-	-	0,20	-	0,30	0,74	1,0-1,8	400-420
Кора дерева	60	-	5,0-6,0	55-80	3,0-5,0	-	0,2-0,3	-	0,06-0,1	0,07-0,1	-	-
Тверді побутові відходи	40-60	0,3-0,6	5,0-7,8	40-70	28-30	24-38	0,6-1,1	-	0,5-0,6	0,6-0,8	2,0-5,6	-
Лігнін	60-70	-	2,5	-	9,1	41,1	0,15	-	0,02	0,02	-	-

1.1.8. Зелені добрива.

Зелені добрива, або сидерати складають зелену масу рослин, яку заорюють у ґрунт для збагачення його на органічну речовину, а також азот, поліпшення водного, повітряного та теплового режиму. Часто цей прийом називають сидерацією, а рослини, що вирощуються на добриво, - сидератами.

Залежно від того обробляють сидерати в чистому вигляді або в суміші з іншими культурами розрізняють самостійні і ущільнені (або змішані) посіви сидератів. При самостійному посіві сидератів займають поле 1-2 сезони або навіть декілька років. Якщо сидерати використовують протягом короткого періоду від збирання однієї культури до посіву іншої, то їх називають проміжними, або вставними.

Ущільнені посіви сидератів дозволяють отримувати значну кількість зеленої маси під час росту і розвитку основної польової культури. Рослини на зелене добриво при цьому заорюють відразу або після збору основної культури.

Залежно від того, займають сидерати всю ділянку або лише її частину у вигляді окремих смуг, розрізняють суцільну і кулісну культуру на зелене добриво. Кулісні сидерати широко практикують в міжряддях садів, чайних плантацій, на схилах для боротьби з ерозією ґрунту.

Сидерати вирощують в підсівній і пожнивній формах. У першому випадку їх підсівають під основну культуру, у другому сіють після прибирання її. Залежно від способів використання зеленої маси розрізняють повне, вкисне і отавне зелене добриво. При повному заорюють всю рослинну масу, вкисному скошену зелену масу заорюють на другому полі, при отавному на добриво заорюють коріння, стерню і отаву, що відросла.

При правильній організації сидеральної культури забезпечують високі врожаї зеленої маси (35-40 т/га), з якої до ґрунту потрапляє 150-200 кг/га загального азоту, що рівноцінно 30-40 т/га гною.

Люпин багаторічний. У районах, де переважають піщані і супіщані дерново-підзолисті ґрунти, додатковим джерелом органічних добрив є люпин багаторічний. До основних ознак відноситься холодостійкість, раннє

дозрівання, дрібнонасіневість (мала норма висіву), що забезпечує високий коефіцієнт розмноження. Після скошування він швидко відростає і за вегетаційний період встигає дати два урожаї зеленої маси. На одному місці може рости 8-10 років.

У перший рік вегетації люпин багатолітній дає прикореневу розетку листя і в одиничних випадках квіткову кисть та достигле насіння. Зеленої маси накопичується небагато – 5-12 т/га. На другий рік вегетації рослина розвиває потужний кущ, утворює зріле насіння і 30-40 т/га зеленої маси. Насіння дрібне, маса 1000 насіння 25-30 г, тому норма висіву складає 40-50 кг/га. Максимальної продуктивності досягає на 4-5-й рік вегетативного періоду.

Рослина світлолюбива. Росте при порівняно низьких температурах. Насіння починає проростати при температурі 2-3 °С, але краще і швидше – при 10 °С. Сходи не бояться зниження температури і легко переносять заморозки – 5-7 °С, а короточасні навіть – 8-9 °С. Весною рослини рано проростають. Квітки гинуть при – 2-3 °С

До ґрунтів люпин багатолітній невимогливий. Добре розвивається на бідних піщаних і супіщаних ґрунтах. Росте в широкому інтервалі рН – від 4 до 6,5-7, але оптимальні умови для росту створюються при рН 5-6.

Люпин багаторічний, як і всі представники родини бобових, може засвоювати молекулярний азот з повітря. Біологічний потенціал азотофіксації дуже високий і дозволяє в сприятливі роки отримувати 50-60 т/га зеленої маси без азотних добрив.

На зелене добриво люпин багаторічний можна вирощувати як у вигляді самостійних безпокровних, так і у вигляді підпокровних посівів. Безпокровні посіви дають, як правило, вищі і стійкіші по роках урожаї зеленої маси, проте в польових сівоzmінах їх застосовують дуже рідко.

Самостійні безпокровні посіви люпину зазвичай закладають поза сівоzmіною, де його вирощують 3-5 років. На таких люпинниках збирають насіння і підкошують зелену масу для удобрення інших полів.

У сирій масі люпину багаторічного міститься майже стільки ж азоту і калію, скільки в гною, фосфору менше. У сухій зеленій масі, скошеній під час цвітіння є 2-2,5 % азоту, 0,4-0,6 % фосфору і 2-2,5 % калію. Ефективність зеленого добрива по якості і стійкості дії прирівнюється до однакової по масі норми гною. Вживання доломітової муки і мінеральних добрив в першу чергу фосфорних, при заорюванні зеленого добрива сприяє подальшому підвищенню його ефективності.

Заслуговує на увагу використання люпину на зелене добриво в сидеральних парах. Сіють його рано навесні під покрив ярих зернових культур зернотрав'яними сівалками з нормою висіву 45-50 кг/га на глибину 2-3 см, а для добрива пізніх ярих культур – під покрив озимих культур зерновими дисковими сівалками пізно восени по замерзлому ґрунті або по снігу, якщо глибина його не перевищує 12 см, і ранньою весною з нормою висіву 50-60 кг/га. Підсіяний під озимину люпин до кінця вересня може нагромадити 10-20 т/га зеленої маси і навесні наступного року ще стільки ж, всього 20-40 т/га зеленої маси і 10-15 т/га коріння, збагачуючи ґрунт 160-200 кг/га азоту.

Культуру заорюють під картоплю у фазі стеблуння – початок бутонізації, під силосні культури і гречку – у фазу бутонізації – початок цвітіння, під попередники озимих – у фазі повного цвітіння.

Люпин однорічний (алкалоїдний і кормовий) – основна сидеральна культура для дерново-підзолистих ґрунтів. Культура маловимоглива до умов обробітку, добре росте на ґрунтах, бідних органічною речовиною, кислих, з нестачею рухомих поживних речовин, у тому числі фосфору. Не потребує мінеральних азотних добрив. Його вирощують переважно в паровому полі і повністю використовують для добрива озимих культур. В даний час у зв'язку з виведенням кормового люпину площі вирощування люпину вузьколистого скоротилися.

Ґрунт під кормовий люпин обробляють так само, як і під зернові культури. Він не виносить глибокого закладення насіння, тому на легких ґрунтах перед його посівом необхідне прикочування.

Насіння люпину однорічного починає проростати при температурі 4-5 °С, сходи переносять весняні заморозки – 3-4 °С, тому його можна висівати одночасно з ранніми зерновими культурами.

В більшості випадків зелену масу однорічного кормового люпину використовують на корм, а пожнивні рештки заорюють на добриво. Проте для отримання високих урожаїв культур, що вирощуються по коренепожнивним решткам люпину, необхідне додаткове добриво.

Буркун добре росте на нейтральних, забезпечених кальцієм ґрунтах. На вапнованих дерново-підзолистих ґрунтах він дає вищі урожаї, ніж однорічний або багаторічний люпин.

Буркун буває однорічний і дворічний, білий і жовтий. Білий урожайніший, але жовтий раніше дозріває. Коренева система буркуна розвинена сильніше, ніж у всіх бобових сидератів. Завдяки цьому він вирізняється посухостійкістю і високою якістю добрива навіть при порівняно слаборозвиненій зеленій масі.

На зелене добриво краще використовувати дворічний буркун. Посіяний ранньою навесні (20-25 кг/га) під покрив зернової культури, він на другий рік забезпечує укіс зеленої маси на корм і отаву, що заорюється на добриво. Лише з отавою і корінням буркуну в ґрунт поступає до 200 кг/га азоту.

Озимий ріпак – високопродуктивна в самостійних пожнивних і поукісних посівах.

Озимий ріпак відноситься до найбільш холодостійких і найменше вимогливих до тепла рослин. Його насіння починає проростати при температурі 0,5-1,0 °С, сходи переносять заморозки – 3-5 °С, а рослини у фазі вісім-десять листків – навіть морози – 10-12°С. Дорослі рослини (фаза цвітіння) витримують заморозки до – 8 °С.

Культура потребує хорошої забезпеченості вологою протягом всієї вегетації. Рослини чутливі щодо забезпеченості ґрунту поживними елементами. На колишнє місце ріпак можна повертати не раніше ніж через 2-3 роки.

Підготовка ґрунту під озимий ріпак включає оранку або дискування, культивуацію, вирівнювання прикочування поля. Норма висіву насіння 8-12 кг/га, глибина закладення 2-3 см.

Однорічні хрестоцвітні культури (редька масляниста, ріпак ярий, суріпиця яра, гірчиця біла і ін.) переважно обробляють в пожнивних і поукісних посівах.

Для отримання швидких і дружних сходів перед посівом хрестоцвітних культур важливо ретельно обробити і вирівняти ґрунт, оскільки більшість з них мають дрібне насіння, яке закладають на глибину не більше 2-3см.

1.1.9. Аналіз чинників, які знижують ефективність органічних добрив і шляхи їх усунення.

Приведені вище органічні матеріали, вживані як органічні добрива в початковому вигляді, мають ряд істотних недоліків, які значною мірою знижують ефективність їх дії. Одним з головних недоліків гною і посліду є підвищена вологість із-за зайвого, неконтрольованого надходження в них води, що різко збільшує вихід гнойової маси і знижує її цінність як добрива. При промисловому виробництві продуктів тваринництва і птахівництва вихід рідкого гною і посліду в 3... 8 разів більше природних виділень тварин і птиці [26, 27, 90, 97, 115, 121, 160, 200].

Збільшення об'ємів гною в свою чергу спричиняє різке зростання капіталовкладень в гноєсховища і транспортних витрат в період внесення його в ґрунт. З метою скорочення об'ємів гнойової маси при безпідстилковому утриманні тварин останнім часом в господарствах все більше застосовуються системи видалення екскрементів тварин тих, що виключають застосування води. В майбутньому безводі системи видалення безпідстилкового гною знаходитимуть все більше застосування. Зі всіх вживаних способів видалення безпідстилкового гною найбільш перспективним є самотічний та із застосуванням механічних засобів, що вмонтовуються в каналах, перекритих ґратами.

Проте безвідмовна робота самотічних систем забезпечує та при виключенні попадання в гнойові канали води і залишків кормів, а також правильного виконання будівельно-монтажних робіт, що виключають фільтрацію рідини. Самотічні системи працюють добре якщо втрати кормів в канали не перевищують 0,5% від закладених в годівницю [175, 176].

При порушенні технології утримання тварин і правил експлуатації системи видалення гною екскременти розбавляються 3...8 кратними об'ємами води, що призводить до збільшення вологості гнойової маси і зростання її об'ємів на фермах [26, 52, 97, 104, 128, 202].

Однозначно можна стверджувати, що самотічні системи видалення екскрементів тварин економічно будуть виправдані тільки на тих фермах і комплексах, де дотримується чітка технологічна дисципліна у всіх ланках технологічного процесу підготовки і роздачі кормів. Такі приклади в Україні мали місце [173, 300].

Останніми роками у ряді господарств України одержало застосування на комплексах по виробництву молока видалення гною через ґратчасті підлоги в сховища, які знаходяться під підлогою. За розрахунками це повинно забезпечити зведення до мінімуму витрат праці і засобів на зберігання і використання гною. Проте великі капітальні витрати на будівництво таких сховищ, відсутність ефективних засобів видалення гною, українським незадовільні санітарні умови роботи обслуговуючого персоналу і обмежені можливості для їх будівництва (необхідна наявність відповідних умов і низького стояння ґрунтових вод) не завжди економічно виправдано.

Не менш важливими недоліками гною і посліду є:

— великий вміст насіння бур'янів (за даними кафедри землеробства Тімірязівської сільськогосподарської академії в 1 т твердої фракції гною великої рогатої худоби міститься 735 тис. шт. насіння бур'янів); досліді проведені в Московській області, показали, що внесення без попередньої підготовки 100 т/га органічних добрив веде до збільшення бур'янів на 4,5...5,5 млн. шт/га, які можуть винести з ґрунту більше поживних речовин, ніж їх

містить саме добриво [26, 117]; аналогічні дані одержані ученими Харківського сільськогосподарського інституту [15, 64];

- низьке відношення (4...9) вуглецю до азоту, що веде до великих втрат азоту при неминучому тривалому зберіганні;

- зараженість яйцями і личинками гельмінтів, а також патогенною мікрофлорою, що створює при використанні гною без підготовки загрозу розповсюдження хвороб серед тварин і людей через продукти харчування.

Осади стічних вод, окрім недоліків, аналогічних недолікам гною і посліду, мають ще і токсичність, значну концентрацію елементів важких металів [305,163].

Торф, що поставляється сільському господарству, за якістю не завжди відповідає вимогам стандартів, особливо по вологості і кислотності. Більшість матеріалів (торф, солома, кора, ошурки, побутові відходи і т.п.) є інертними органічними речовинами і практично не забезпечують надбавки урожаю або навіть знижують його в перший рік після внесення, оскільки переважна маса поживних елементів знаходиться у важко доступних рослинні формах. Важливий недолік цих матеріалів – велике відношення (400...1000) вуглецю до азоту, чим і пояснюється відсутність або низька ефективність їх дії в перший рік внесення в ґрунт.

Аналіз недоліків органічних матеріалів показує, що одним з них є несприятливе відношення вуглецю до азоту, що веде до істотних втрат поживних елементів при зберіганні і внесенні або до зниження їх ефективності. Тому необхідно зберігати гній або послід після змішування з високовуглецевими вологоабсорбуючими матеріалами, до яких і відноситься торф. Правильно підібране співвідношення компонентів при достатньому ступені їх перемішування різко знижує втрати азоту при зберіганні, а також дозволяє підняти температуру суміші за рахунок інтенсивної життєдіяльності мікрофлори, що забезпечує в свою чергу знищення схожості насіння бур'янів, переведення важко засвоєних поживних елементів в рухомі форми, поліпшення санітарно-гігієнічних і фізико-механічних властивостей добрив.

Спосіб приготування добрив з гною і посліду, тобто компостування, повинен бути одним з основних в колективних і фермерських господарствах України, особливо в Нечорноземній зоні, що має великий запас високовуглецевих матеріалів при гострому дефіциті органічних добрив.

1.2. Розробка основних положень органічного землеробства

1.2.1. Суть терміну «органічне землеробство».

Під терміном "органічне землеробство" науковцями розроблено ряд визначень.

Група досліджень з органічного землеробства Департаменту сільського господарства США (USDA) у 1980 році запропонувала таке визначення: „Органічне землеробство – це система виробництва сільськогосподарської продукції, яка забороняє або в значній мірі обмежує використання синтетичних комбінованих добрив, пестицидів, регуляторів росту та харчових добавок до кормів при відгодівлі тварин. Така система максимально базується на сівозмінах, використанні рослинних решток, гною та компостів, бобових рослин та рослинних добрив, органічних відходів виробництва, мінеральної сировини, механічному обробітку ґрунтів та біологічних засобах боротьби із шкідниками з метою підвищення родючості та покращення структури ґрунтів, забезпечення повноцінного живлення рослин та боротьби з бур'янами і різноманітними шкідниками” [306].

У 1995 році Колегія з національних стандартів органічної продукції USDA запропонувала дещо інше визначення: „Органічне землеробство – це система екологічного менеджменту сільськогосподарського виробництва, яка підтримує та покращує біорізноманіття, біологічні цикли та біологічну активність ґрунтів. Вона базується на мінімальному використанні неприродних (штучних) сировини й матеріалів та агротехнічних прийомів, які відроджують, підтримують та покращують екологічну гармонію” [302].

За визначенням Міжнародної федерації з розвитку органічного землеробства (IFOAM) “органічне землеробство об’єднує всі сільськогосподарські системи, які підтримують екологічно, соціально – та економічно доцільне виробництво сільськогосподарської продукції. В основі таких систем лежить використання локально-специфічної родючості ґрунтів як ключового елементу успішного виробництва. Такі системи використовують природний потенціал рослин, тварин і ландшафтів та спрямовані на гармонізацію сільськогосподарської практики та навколишнього середовища. Органічне землеробство суттєво зменшує використання зовнішніх факторів виробництва (ресурсів) шляхом обмеження застосування синтезованих хімічним шляхом добрив, пестицидів і фармпрепаратів. Замість цього для підвищення врожаїв та для захисту рослин використовуються інші агротехнологічні заходи й різноманітні природні чинники. Органічне землеробство дотримується принципів, які обумовлені місцевими соціально-економічними, кліматичними та історико-культурними особливостями” [303].

Найбільш адекватним щодо суті для України можна вважати визначення органічного землеробства як системи сільськогосподарського менеджменту агроєкосистем, що ґрунтується на максимальному використанні біологічних факторів підвищення родючості ґрунтів, агротехнологічних заходів захисту рослин, а також на виконанні комплексу інших заходів, які забезпечують екологічно – соціально – та економічно доцільне виробництво сільськогосподарської продукції й сировини [86].

1.2.2. Обґрунтування концепції біологізації землеробства для виробництва екологічно чистої продукції.

Суть концепції полягає в тому, що якщо на одну тонну органічних добрив вноситься більше 15 кг діючої речовини мінеральних добрив, починається або посилюється дегуміфікація ґрунтів і їх агрофізична деградація [260]. Всі мінеральні добрива, які використовуються в Україні, є солями одновалентних катіонів. Взаємодія їх з ґрунтом при внесенні приводить до

витіснення Ca^{++} з ґрунтового поглинаючого комплексу, диспергації гумусу і посиленню розкладання його мікроорганізмами (дегуміфікація). В результаті руйнується структура, відбувається агрофізична деградація ґрунтів.

Запобігти деградаційній дії на ґрунт одновалентних катіонів можна тільки нейтралізацією їх органічними колоїдами, які утворюються в ґрунті при внесенні органічних добрив в такому співвідношенні, при якому б нейтралізувалися всі внесені з мінеральними добривами одновалентні катіони. Це співвідношення між органічними і мінеральними добривами виведене емпірично на підставі системних спостережень в багатьох стаціонарних дослідах. Воно рівне 15 кг діючої речовини мінеральних добрив на 1 тону гною. Це співвідношення носить назву «коефіцієнт біологізації землеробства»

Між коефіцієнтами біологізації землеробства і гуміфікації органічних добрив існує прямий зв'язок: чим більше коефіцієнт біологізації, тим вищий коефіцієнт гуміфікації органічних добрив, а значить швидше досягається розширене відтворення гумусу і потенційної ґрунтової родючості. І навпаки, чим нижче коефіцієнт біологізації землеробства, тим менше в ґрунті утворюється гумусу, зникає можливість виходу на його розширене відтворення [260].

На певному відрізку часу інтенсивна технологія хімізації може підвищити врожайність сільськогосподарських культур і валові збори сільськогосподарської продукції. Проте наслідки її швидко позначаються на агрофізичних властивостях ґрунтів і наступить зниження врожайності сільськогосподарських культур в результаті агрофізичної деградації ґрунтового покриву.

У таблиці 1.27 приведені розроблені градації коефіцієнта біологізації землеробства і характер їх дії на нього.

Таблиця 1.27 – Значення коефіцієнта біологізації землеробства при різному співвідношенні органічних і мінеральних добрив і їх вплив на властивість ґрунту [260]

Співвідношення органічних і мінеральних добрив, т/кг д.р.	Коефіцієнти біологізації землеробства, α	Характер дії на землеробство	Вплив на властивості ґрунтів
1:0-1:5	1-0,2	Біологічне землеробство	Оптимальна для рослин щільність складу ґрунту; оптимальні значення ґрунтових режимів; інтенсивне наростання вмісту гумусу
1:5-1:8	0,2-0,25	Інтенсивна біологізація	Оптимальна щільність складу; близьке до оптимальних значень ґрунтових режимів, менш інтенсивне наростання вмісту гумусу
1:8—1:15	0,125-0,067	Біологізація	Близьке до оптимальних значення щільності складу; у значеннях ґрунтових режимів можливі мінімуми; сповільнене наростання вмісту гумусу в ґрунті
1:15-1:30	0,067-0,030	Хімізація	Не оптимальне значення щільності складу, утворюються глиби; спостерігаються мінімуми в значенні ґрунтових режимів; йдуть процеси дегуміфікації і декальцинування
1:30	0,030	Інтенсивна хімізація	Високі значення щільності складу, дегуміфікації, декальцинування; несприятливе (до великих мінімумів) значення ґрунтових режимів

1.2.3. Обґрунтування оптимальної структури посівних площ, потреби в добривах та поголів'я худоби господарства для органічного землеробства.

В основу проведення досліджень покладено прийняте визначення «Органічного землеробства» та «Концепцію біологізації землеробства для виробництва екологічно чистої продукції»

З метою розробки методики розрахунку за основу взято формулу визначення норми внесення мінеральних добрив за бальною оцінкою землі на величину програмованої урожайності [119]:

$$D_{NPK} = 100 \frac{Y - (B \cdot C_B + D_o \cdot O_o)A}{O_m}, \quad (1.18)$$

де D_{NPK} – норма збалансованого NPK для одержання програмного врожаю, кг/га; Y – програмна врожайність, ц/га (табл. 1.28); B – бал бонітету ґрунту (табл. 1.29); C_B – урожайна ціна бала ґрунту (табл. 1.30); D_o – доза органічних добрив, т/га; O_o – окупність 1 т органічних добрив приростом урожаю (табл. 1.31); O_m – окупність 1 ц діючої речовини мінеральних добрив приростом урожаю (табл. 1.31); A – поправочний коефіцієнт на групу ґрунту.

Поправочний коефіцієнт A :

- дуже низький вміст поживних речовин – 1,5
- низький вміст поживних речовин – 1,2
- середній вміст поживних речовин – 1,0

– підвищений вміст поживних речовин – 0,7

Використовуючи дані таблиці 1.27 доза органічних добрив в розрахунку на 1 га буде вказуватися за формулою (т/га):

$$D_o = \alpha \cdot D_{NPK} \quad (1.19)$$

де α – коефіцієнти біологізації землеробства (табл. 1.27).

Замість D_{NPK} в рівняння (1.18) підставимо $\frac{D_o}{\alpha}$ і визначимо D_o

$$\frac{D_o}{\alpha} = 100 \frac{Y - (B \cdot C_B + D_o \cdot O_o)A}{O_m} \quad (1.20)$$

Звідси:

$$D_o = \frac{100\alpha(Y - B \cdot C_B A)}{O_m + 100\alpha O_o A} \quad (1.21)$$

Враховуючи структуру рослинництва в господарстві необхідна маса органічних добрив для ведення органічного землеробства визначається за формулою:

$$D_{o1}S_1 + D_{o2}S_2 + \dots D_{on}S_n = \sum_{i=1}^n D_{oi}S_i \quad (1.22)$$

$$\sum_{i=1}^n D_{oi}S_i = \sum_{i=1}^n \frac{100\alpha(Y_i - B_i \cdot C_{Bi}A_i)}{O_{mi} + 100\alpha O_{oi}A_i} S_i \quad (1.23)$$

де i – сільськогосподарська культура; S_i – площа ріллі, яку займає сільськогосподарська культура.

За умови використання компостування для отримання органічних добрив маса органічних добрив, які виробляються в господарстві визначається за формулою:

$$M_o = \sum M_{n.z.j} + M_{o.v.} \quad (1.24)$$

де M_o – маса органічних добрив, які виробляються в господарстві, т; $\sum M_{n.z.j}$ – маса гною, яка виробляється в господарстві, т; j – вид тварин; $M_{o.v.}$ – маса

інших органічних відходів, які використовуються для компостування (торф, сапропель, інші відходи органічного походження), т.

Для розрахунку маси підстилкового гною, який нагромаджується в господарстві від різного виду тварин зручно користуватися середніми даними по виходу суміші кала і сечі від умовної голови (жива вага 500 кг), який складає у великої рогатої худоби в середньому 55 кг/ ум. гол. за добу і 11,1 кг/ум. гол у свиней і використовують формулу (1.5).

$$M_{n.z.} = n \left[M_e t + M_n \left(t_n + \frac{t_{л}}{3} \right) \right] \cdot \frac{100 - \Pi}{100},$$

де $M_{n.z.}$ – вихід підстилкового гною, кг; M_e – маса екскрементів від однієї умовної голови, кг/добу; n – кількість тварин в умовних головах; $t_n, t_{л}$ – відповіднотривалість утримання тварин в приміщеннях і літніх таборах, діб; $t = 365$ діб; Π – втрата маси гною в процесі його зберігання, %; M_n – маса підстилки за добу на одну тварину кг/ ум. гол. (табл. 1.5);

Відповідно до загальновідомих даних коефіцієнт переводу в умовні голови подано в п. 1.1.2. (велика рогата худоба – 0,8; свині – 0,2; вівці – 0,1; коні – 0,5. Найкраще в процесі перерахунку різного виду поголів'я тварин в умовну голову використовувати дані періодичного зважування тварин, після чого їх загальну масу поділити на 500, що дає кількість тварин в умовних головах).

Загальна маса гною, яка виробляється в господарстві різними видами тварин визначається за формулою (т):

$$\sum_{j=1}^n M_{n.z.j} = \sum_{j=1}^n n_j \left[M_{e_j} t + M_{n_j} \left(t_{nj} + \frac{t_{лj}}{3} \right) \right] \cdot \frac{100 - \Pi_j}{100000} \quad (1.25)$$

$$\text{Тоді} \quad M_o = \sum_{j=1}^n n_j \left[M_{e_j} t + M_{n_j} \left(t_{nj} + \frac{t_{лj}}{3} \right) \right] \cdot \frac{100 - \Pi_j}{100000} + M_{o.в.} \quad (1.26)$$

Таблиця 1.28 – Потенційна врожайність (ПВ) польових культур при різних коефіцієнтах корисної дії фотосинтетичної активної радіації (ФАР), ц/га [119].

Культура	Коефіцієнти корисної дії ФАР, %					
	1	2	3	4	5	6
Озима пшениця	25,3	50,5	75,8	101,1	125,4	150,6
Озиме жито	21,5	43,0	64,5	86,0	107,5	129,0

Яра пшениця	25,3	50,5	75,8	101,1	125,4	150,6
Ярий ячмінь	24,0	48,1	72,1	96,2	120,2	144,3
Овес	24,1	48,2	72,3	96,4	120,5	144,6
Просо	16,5	33,0	49,5	66,0	82,5	99,0
Гречка	18,4	36,8	55,2	73,6	92,0	110,4
Горох	19,6	39,2	58,8	78,4	98,0	117,6
Кукурудза (зерно)	39,1	78,2	117,3	156,4	195,5	234,6
Цукровий буряк	272,8	545,5	818,3	1091,1	1363,9	1636,7
Картопля	145,3	290,6	435,9	581,2	726,5	871,8
Соняшник	28,3	37,0	85,5	114,0	142,5	171,0

Таблиця 1.29 – Бонітет ґрунтів за основними сільськогосподарськими культурами по областях і зонах України [119].

Зона, область	Технічні культури, кормові	Зернові	Озима пшениця	Кукурудза	Цукровий буряк	Картопля	Соняшник	Льон
Полісся	47	48	49	60	61	62	-	49
Волинська	47	47	48	-	63	67	-	54
Житомирська	40	42	45	-	55	58	-	39
Закарпатська	47	61	55	51	-	40	-	-
Ів.-Франківська	54	46	46	57	64	44	-	40
Львівська	47	47	47	-	64	57	-	68
Рівненська	57	57	56	-	65	63	-	52
Чернігівська	48	50	53	73	59	72	-	44
Лісостеп	68	66	66	66	66	65	68	43
Вінницька	72	70	66	72	70	-	57	-
Київська	61	63	63	77	72	62	-	45
Полтавська	65	66	67	64	65	-	73	-
Сумська	56	59	61	58	55	64	57	45
Тернопільська	75	67	67	-	79	68	-	-
Харківська	59	61	61	47	55	-	74	-
Хмельницька	65	65	66	-	65	-	-	-
Черкаська	80	80	78	76	73	-	-	-
Чернівецька	76	71	69	73	79	74	-	38
Степ	59	64	62	56	58	-	71	-
Луганська	48	51	54	44	-	-	66	-
Дніпропетровська	61	64	61	52	58	-	78	-
Донецька	59	63	58	51	-	-	79	-
Запоріжська	58	62	59	55	-	-	64	-
Кіровоградська	72	74	70	67	64	-	78	-
Миколаївська	58	63	62	51	54	-	65	-
Одеська	60	66	65	56	55	-	79	-
Херсонська	59	66	66	54	-	-	57	-
АР Крим	57	66	61	75	-	-	69	-
Україна	60	62	61	61	62	63	70	48

Таблиця 1.30 – Ціна бала по ґрунтово-кліматичних зонах України, в центнерах основної продукції [119].

Культура	Полісся	Лісостеп	Степ	У середньому по Україні
Зернові	0,46	0,45	0,44	0,44
Озима пшениця	0,46	0,47	0,45	0,46

Кукурудза (зерно)	0,36	0,42	0,52	0,42
Цукровий буряк	4,25	4,22	4,15	4,20
Картопля	2,11	2,00	-	2,00
Соняшник	-	0,20	0,21	0,21
Льон	0,10	0,12	-	0,10
Горох	0,24	0,26	0,25	0,25
Гречка	0,13	0,16	0,14	0,14
Кормовий буряк	4,2	4,0	3,2	3,9
Кукурудза на силос	2,6	2,4	2,2	2,4

Таблиця 1.31 – Нормативна окупність органічних добрив і повного мінерального добрива, в центнерах продукції [119].

Культура	Полісся	Лісостеп	Степ
Озима пшениця, жито	0,28/4,9	0,29/5,5	0,30/5,2
Ячмінь, овес	-/4,7	-/4,9	-/4,3
Кукурудза на зерно	0,30/5,4	0,30/5,4	0,30/5,4
Зернобобові, гречка	-/4,2	-/4,0	-/3,8
Картопля	1,2/25	1,3/25	1,0/15
Кукурудза (зелена маса)	2,5/35	2,7/40	1,5/20
Конопля	0,3/1,0	0,3/1,0	-
Льон (волокно)	-/1,0	-/1,0	-
Кормовий буряк	3,0/60	3,5/60	-
Цукровий буряк	-	1,5/35	-
Соняшник	-	0,15/2,0	0,15/2,0
Вико-овес (зелена маса)	1,0/20	1,1/25	1,1/25

Необхідна кількість кормів (в кормових одиницях) для утримання сільськогосподарських тварин визначається за формулою:

$$\sum_{j=1}^n K_{oj} = \sum_{j=1}^n n_j k_{oj}, \quad (1.27)$$

де k_{oj} – потреба в кормах j – го виду тварин, к.о./ум. гол. (для ВРХ – 5500 к.о./ум. гол., свиней – 4500 к.о./ум. гол., вівці – 6500 к.о./ум. гол.; коні – 11000 к.о./ум. гол. [159].

Кількість кормів (в кормових одиницях) отриманих в результаті вирощування сільськогосподарських культур визначається за формулою:

$$\sum_{i=1}^n K_{oi} = \sum_{i=1}^n [y_i k_{oi} (1 - k_{Ti}) + \Pi_{pi} k_{oni}] S_i \quad (1.28)$$

де k_{oi} – кількість кормових одиниць в 1 кг урожаю i - тої культури, к.о./кг;

k_{Ti} – коефіцієнт товарної продукції(відношення маси врожаю i - тої культури призначеного для продажу до загальної маси врожаю);

Π_{pi} – маса пожнивних решток в урожаї i - тої культури призначених на корм тваринам;

k_{oni} – кількість кормових одиниць в 1 кг пожнивних решток i – тої культури, к.о./кг;

Умовою органічного землеробства є:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n D_{oi} S_i &\leq M_o; \text{ або} \\ \sum_{i=1}^n \frac{100\alpha(Y_i - B_i \cdot \Pi_{Bi} A_i)}{O_{mi} + 100\alpha O_{oi} A_i} S_i &\leq \sum_{j=1}^n n_j \left[M_{ej} t + M_{nj} \left(t_{nj} + \frac{t_{nj}}{3} \right) \right] \cdot \frac{100 - \Pi_j}{100000} + M_{o.в.}; \\ \sum K_{oj} &\leq \sum_{i=1}^n K_{oi}; \end{aligned} \quad (1.29)$$

$$\alpha \geq 0,067.$$

З метою обґрунтування оптимальної структури посівних площ та поголів'я худоби господарства для органічного землеробства записуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^n S_i \\ \sum_{i=1}^n D_{on} S_i - M_o = 0 \\ \sum_{i=1}^n [Y_i k_{oi} (1 - k_{Ti}) + \Pi_{pi} k_{oni}] S_i - \sum_{j=1}^n n_j k_{oj} = 0 \end{cases} \quad (1.30)$$

Звідси:

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^n S_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{100\alpha(Y_i - B_i \cdot \Pi_{Bi} A_i)}{O_{mi} + 100\alpha O_{oi} A_i} S_i - \left(\sum_{j=1}^n n_j \left[M_{ej} t + M_{nj} \left(t_{nj} + \frac{t_{nj}}{3} \right) \right] \cdot \frac{100 - \Pi_j}{100000} + M_{o.в.} \right) = 0 \\ \sum_{i=1}^n [Y_i k_{oi} (1 - k_{Ti}) + \Pi_{pi} k_{oni}] S_i - \sum_{j=1}^n n_j k_{oj} = 0 \end{cases} \quad (1.31)$$

Отримана система рівнянь є математичною моделлю органічного землеробства, яка враховує структуру посівних площ, структуру тваринництва господарства для отримання гною, масу інших органічних відходів органічного походження, які можна використовувати для отримання органічних добрив та «Концепцію біологізації землеробства для отримання екологічно чистої продукції».

Розв'язком даної системи рівнянь є оптимальна структура посівних площ сільськогосподарських культур та поголів'я худоби в господарстві для ведення органічного землеробства.

Дана система має три рівняння і невідомі параметри, кількість яких рівна кількості культур плюс кількість видів тварин, які вирощуються в господарстві та маса інших відходів органічного походження, які можна використовувати для компостування.

Для розв'язання даної системи рівнянь необхідно зробити певні припущення, щоб кількість невідомих значень дорівнювала кількості рівнянь в системі, як показано на прикладах нижче в п. 1.2.5.

1.2.4. Розрахунок основних елементів системи органічного землеробства.

Розрахунок збалансованої потреби в органічних та мінеральних добривах.

Залежно від прогнозованої урожайності за даними табл. 1.5, 1.27-1.31 проводимо розрахунок дози органічних добрив на 1 га ріллі за формулою (1.21) та збалансованої дози мінеральних добрив за формулою (1.19) для Лісостепової зони України.

Результати розрахунків подано в табл. 1.32.

За даними таблиці 1.32 побудовано графічні залежності потреби в органічних і мінеральних добривах від урожайності сільськогосподарських культур: зернові та зернобобові культури (рис.1.2); кукурудза на зерно (рис.1.3); соняшника (рис.1.4);

Таблиця 1.32 – Результати розрахунку потреби в добривах для органічного землеробства в Лісостеповій зоні України.

Показники	Позначення, (№ формули)	Зернові та зернобобові культури	Кукурудза на зерно	Соняшник
Вхідні показники				
Бал бонітету ґрунту (табл.1.29)	B	66	66	68
Урожайна ціна бала ґрунту (табл. 1.30);	C_B	0,45	0,42	0,2
Окупність 1 т органічних добрив приростом урожаю (табл.1.31)	O_o	0,29	0,3	0,15
Окупність 1 ц діючої речовини мінеральних добрив приростом урожаю (табл.1.31);	O_m	5,5	5,4	2,0
Поправочний коефіцієнт на групу ґрунту	A	1,0	1,0	1,0
Коефіцієнт біологізації (табл. 1.27)	α	0,067	0,067	0,067
Результати розрахунку				
Програмна врожайність, ц/га	$У$	30	30	15
Доза органічних добрив в розрахунку на 1 га	$D_0, (7)$	0,26	2	2,6
Норма збалансованого NPK для одержання програмного врожаю, кг/га	$D_{NPK}, (5)$	3,9	29,9	38,8
Результати розрахунку (для прикладу)				
Програмна врожайність, ц/га	$У$	40	40	20
Доза органічних добрив в розрахунку на 1 га	$D_0, (7)$	9,26	11	13,6
Норма збалансованого NPK для одержання програмного врожаю, кг/га	$D_{NPK}, (5)$	138,2	164,2	203,0
Результати розрахунку				
Програмна врожайність, ц/га	$У$	50	50	25
Доза органічних добрив в розрахунку на 1 га	$D_0, (7)$	18,26	20	24,6
Норма збалансованого NPK для одержання програмного врожаю, кг/га	$D_{NPK}, (5)$	272,5	298,5	367,2
Результати розрахунку				
Програмна врожайність, ц/га	$У$	60	60	30
Доза органічних добрив в розрахунку на 1 га	$D_0, (7)$	27,26	29	35,6
Норма збалансованого NPK для одержання програмного врожаю, кг/га	$D_{NPK}, (5)$	406,9	432,8	531,3
Результати розрахунку				
Програмна врожайність, ц/га	$У$	70	70	35
Доза органічних добрив в розрахунку на 1 га	$D_0, (7)$	36,26	38	46,6
Норма збалансованого NPK для одержання програмного врожаю, кг/га	$D_{NPK}, (5)$	541,2	567,2	695,5

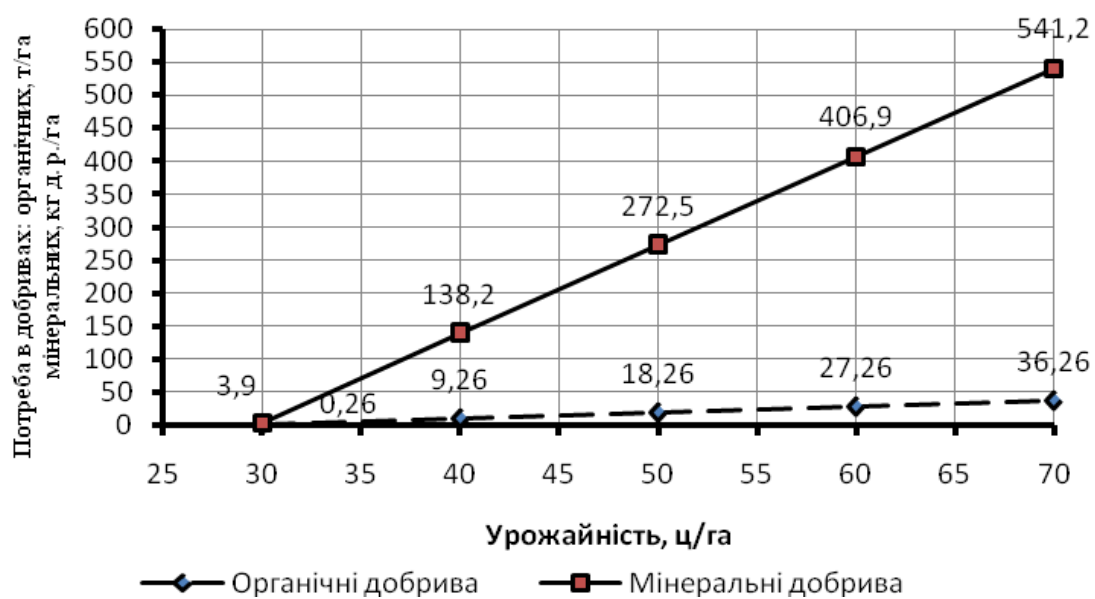


Рис. 1.2. Збалансована потреба в органічних та мінеральних добривах для зернових та зернобобових культур в залежності від урожайності.

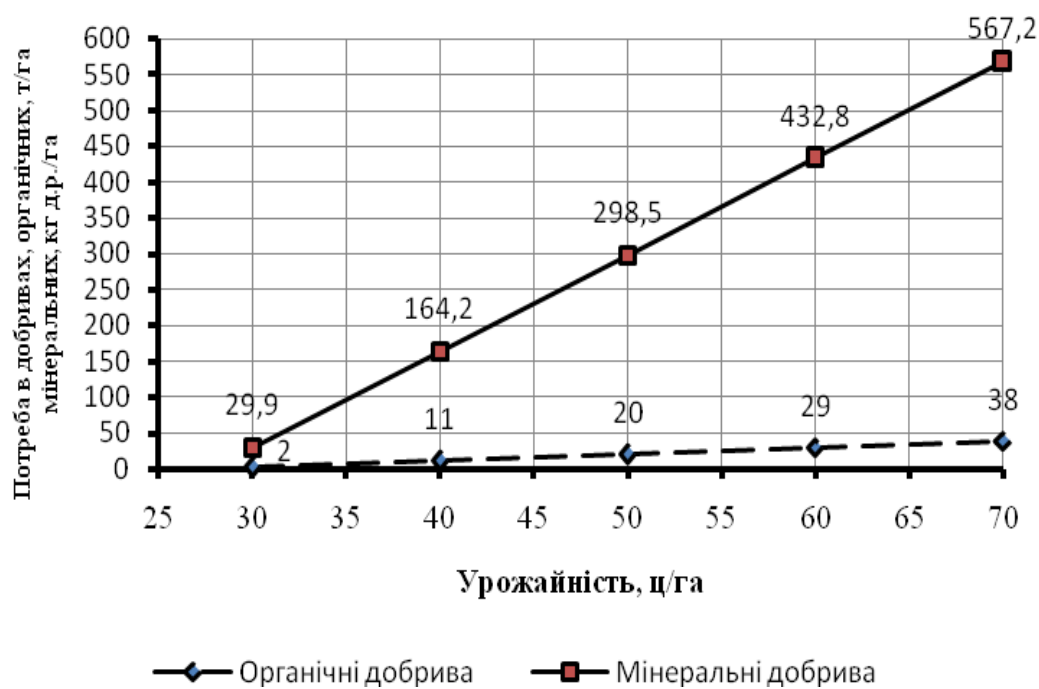


Рис. 1.3. Збалансована потреба в органічних та мінеральних добривах для кукурудзи на зерно в залежності від урожайності.

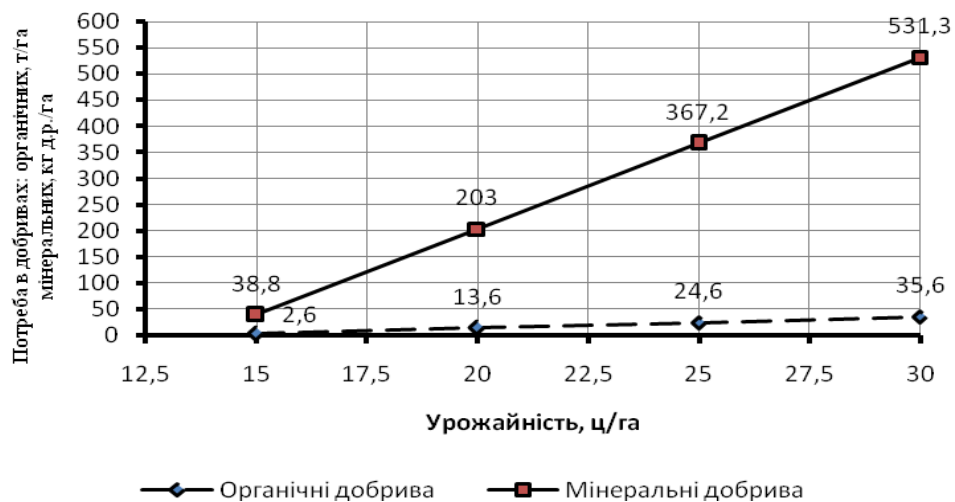


Рис. 1.4. Збалансована потреба в органічних та мінеральних добривах для соняшника в залежності від урожайності.

1.2.5. Приклади розрахунків основних елементів системи органічного землеробства для господарства.

Для *прикладу 1* візьмем господарство, яке знаходиться в лісостеповій зоні загальною площею ріллі $S = 3000$ га. В господарстві вирощуються такі сільськогосподарські культури: зернові та зернобобові – S_1 га, кукурудза на зерно – S_2 га, соняшник – S_3 га, кормові культури – S_4 га, та тварини: велика рогата худоба – n_k (ум. голів), свині – n_c (ум. голів). Компостування не використовується, $M_{o.v.} = 0$ (традиційна система виробництва)

Необхідно визначити величини посівних площ зайнятих під вказаними культурами, та оптимальну кількість вказаних видів тварин для впровадження органічного землеробства.

З умови задачі маємо шість невідомих. Для того, щоб розв'язати систему рівнянь необхідно встановити закономірності вирощування сільськогосподарських культур в господарстві та видів тварин. Так, встановлено, що $S_2 = S_1$, а $S_3 = 0,5 S_1$, $\frac{n_k}{n_c} = 3$, $t_n = 165$ діб, $t_l = 200$ діб, умови органічного землеробства не розповсюджуються на кормові культури.

Для розв'язання системи рівнянь в табл. 1.33 подано необхідні показники.

Керуючись умовами задачі та таблицями 1.32 і 1.33 запишемо систему рівнянь (1.31) у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1 + S_1 + 0,5S_1 + S_4 - 3000 = 0 \\ 9,3S_1 + 29,1S_1 + 0,5 \cdot 14,3S_1 + 0S_4 - n_k \left[55 \cdot 365 + \frac{5}{0,8} \left(165 + \frac{200}{3} \right) \frac{100-30}{100000} - \right. \\ \left. - \frac{n_k}{3} \left[11 \cdot 365 + \frac{1}{0,2} \left(165 + \frac{200}{3} \right) \frac{100-30}{100000} \right] = 0 \right. \\ 4000 \cdot 0,5 \cdot 1,2S_1 + (6000(1-0,6)1,1 + 15000 \cdot 0,1)S_1 + 0S_3 + 15000 \cdot 0,15(3000 - 2,5S_1) - \\ \left. - 5500n_k - \frac{4500}{3}n_k = 0 \right. \end{array} \right. \quad (1.32)$$

Звідси

$$\left\{ \begin{array}{l} 2,5S_1 + S_4 - 3000 = 0 \\ 45,55S_1 - 16,2n_k = 0 \\ 920S_1 + 6750000 - 7000n_k = 0 \end{array} \right. \quad (1.33)$$

Розв'язком системи рівнянь (1.33) є $S_1 = 359,5$ га, $S_4 = 2101,25$ га, $n_k = 1011$ ум. гол.

Звідси $S_2 = 359,5$ га, $S_3 = 359,5 \cdot 2 = 719,0$ га, $n_c = 1011 : 3 = 337$ ум. гол.

Проектна характеристика господарства з використанням принципів органічного землеробства наведена в табл 1.34.

Для розв'язання **прикладу 2** візьмем умову та завдання з **прикладу 1**, а також в господарстві впроваджено виробництво органічних добрив компостуванням. Маса інших відходів, які використовуються для компостування складає $\frac{1}{3}$ від маси гною який виробляється в господарстві :

$$M_{o.v.} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n M_{n.z.j}.$$

Керуючись системою рівнянь (1.31), а також з системи рівнянь (1.33),

$$\text{де } \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n M_{n.z.j} = \frac{1}{3} 16,2n_k = 5,4n_k.$$

Для вирішення завдання запишемо систему рівнянь, виходячи з системи рівнянь (1.31) і (1.33):

$$\left\{ \begin{array}{l} 2,5S_1 + S_4 - 3000 = 0 \quad (4.3) \\ 45,55S_1 - (16,2n_k + 5,4n_k) = 0 \\ 920S_1 + 6750000 - 7000n_k = 0 \end{array} \right. \quad (1.34)$$

Або:

$$\begin{cases} 2,5S_1 + S_4 - 3000 = 0 \\ 45,55S_1 - 21,6n_k = 0 \\ 920S_1 + 6750000 - 7000n_k = 0 \end{cases} \quad (1.35)$$

Розв'язком системи рівнянь (1.35) є $S_1 = 487$ га, $S_4 = 1782,5$ га, $n_k = 1026$ ум. гол.

Звідси $S_2 = 487$ га, $S_3 = 487:2 = 243,5$ га, $n_c = 1026:3 = 342$ ум. гол.

Проектна характеристика господарства з використанням принципів органічного землеробства та виробництва органічних добрив компостуванням наведена в табл 1.34.

Таблиця 1.33 – Основні допоміжні показники для розв'язання системи рівнянь.

Показники	Позначення, (№ формули)	Зернові та зернобобові культури	Кукурудза на зерно	Соняшник	Кормові культури
1. Урожайність, т/га	$У$	4,0	6,0	2,0	15,0
2. Маса пожнивних решток т/га	$П_p$	5,0	15,0	-	-
3. Коефіцієнт товарної продукції	k_m	0,5	0,6	1,0	0
4. Кількість кормових одиниць в 1 кг корму, к.о./кг	k_o	1,2	1,1	0,86	0,15
пожнивних решток, к.о./кг [9]	k_{on}	-	0,1	-	-
5. Втрати маси гною в процесі його зберігання, %.	$П$	30	30	30	30

Встановлено, що впровадження органічного землеробства можливе в господарствах тваринницького напрямку. Це підтверджується приведеним прикладом, де в структурі посівних площ питома вага кормових культур становить 70 % від загальної площі ріллі за традиційною технологією отримання органічних добрив. Впровадження компостування для отримання органічних добрив суттєво змінює структуру посівних площ, де площа під кормовими культурами зменшується від 70% до 60%, а поголів'я тварин в господарстві суттєво не змінюється.

Таблиця 1.34 – Характеристика господарства.

№ з/п	Показники	Значення показника	
		Приклад 1	Приклад 2
1	2	3	4
1	Площа ріллі, га (%)	3000 (100)	3000 (100)
	в т.ч. зернові та зернобобові культури	359,5 (12)	487 (16)

	кукурудза на зерно	359,5 (12)	487 (16)
	соняшник	179,75 (6)	243,5 (8)
	кормові культури	2101,25 (70)	1782,5 (60)
2	Продукція рослинництва, т зернові та зернобобові культури	1438	1948
	в т.ч. на реалізацію	719	974
	солома	1797,5	2435
	кукурудза на зерно	2157	2922
	в т.ч. на реалізацію	1294	1753
	пожнивні рештки	5392,5	7305
	соняшник (під реалізацію)	359,5	487
	кормові культури	31518,75	26737,5
3.	Вироблено кормів, тис. к.о.	<u>7078</u>	<u>7196</u>
	в т.ч. зернові та зернобобові культури	862	1169
	кукурудза на зерно	1488	2016
	т.ч. пожнивні залишки	539	730,5
	соняшник	-	-
	кормові культури	4728	4011
4	Продукція тваринництва, ум. гол. ВРХ	1011	1027
	свині	337	342
5	Продукція тваринництва, гол. ВРХ	1264	1284
	свині	1685	1710
6	Продукція тваринництва, т ВРХ	505,5	513,5
	свині	168,5	171
7	Потреба в кормах, тис. к.о. ВРХ	<u>7078</u> 5561	<u>7188</u> 5649
	свині	1517	1539
8	Потреба в органічних добривах, т зернові та зернобобові культури	<u>16374</u> 3343	<u>22183</u> 4529
	кукурудза на зерно	10461	14172
	соняшник	2570	3482
	кормові культури	-	-
9	Вироблено органічних добрив, т ВРХ	<u>16378</u> 15165	<u>22183</u> 15405
	свині	1213	1233
	інші відходи для компостування	-	5545

РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ І КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДЛЯ ПРИБИРАННЯ І УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ

2.1. Системний підхід до аналізу механізації прибирання гною і застосування органічних добрив в сільському господарстві

Розвиток матеріально-технічної бази агропромислового сектора народного господарства України вимагає підвищення ефективності використання машин і устаткування, поліпшення всіх якісних показників виробництва продукції рослинництва і тваринництва. Істотне значення при цьому має завершення комплексної механізації сільського господарства шляхом впровадження раціональних технологічних ліній і комплектів машин. У свою чергу комплекти машин повинні оцінюватися за показниками, що дозволяють одержати найбільший ефект і випереджувальний технічний рівень в порівнянні з кращими світовими зразками [1, 108]. Тому виникає необхідність в системному підході до проектування найбільш трудомістких в даний час в сільському господарстві технологічних процесів прибирання гною, приготування і внесення органічних добрив [128, 187].

Методична особливість системного підходу полягає в тому, що він орієнтує дослідження на розкриття цілісності об'єкту і забезпечуючих його механізмів, на виявлення багатограних типів зв'язків складного явища і зведення їх в єдину теоретичну модель. Основні умови застосування системного підходу наступні [45, 93, 166, 187]

- встановлення меж, в яких слід вести дослідження і виділення основних чинників, що становлять або впливають на процес;
- виявлення форм зв'язку досліджуваної системи з навколишніми системами;
- обґрунтування визначальних показників технологічних схем і комплектів машин і розробка математичної моделі їх оптимізації.

Системний підхід, як видно з вищевикладеного, дозволяє провести узгодження технологій прибирання, зберігання, підготовки і внесення органічних добрив.

Для механізації переробки органічних відходів тваринництва розроблено безліч технологічних схем, вживаних в різних природно-економічних зонах країни і за кордоном. При цьому використовуються серійне устаткування, налаштування машини іншого цільового призначення, а також значний перелік спеціалізованих капітальних споруд [108, 111]. Велика кількість варіантів затрудняє проектування нових тваринницьких підприємств і знаходження напрямів по реконструкції існуючих ферм. Таке положення створює негативний вплив на машинобудівників.

Основним теоретичним інструментом для вирішення поставленої проблеми може служити математична модель, реалізована на ЕОМ. Достатньо повний аналіз варіантів механізації даних процесів на математичній моделі можливий лише з урахуванням типорозмірного ряду ферм, природно-кліматичних умов, розташування полів щодо ферм, відстані перевезень і т.д. Проте обґрунтування комплектів технічних засобів і виробничих приміщень шляхом перебору всіх можливих поєднань варіюваних природно-виробничих і технологічних чинників нездійсненно навіть за допомогою сучасних обчислювальних засобів. Вихід з ситуації, що створилася, можливий при використанні ідей імітації [105, 108, 145, 150, 166]. Загальна формалізація процедур використання імітаційної схеми - це принцип декомпозиції, що дозволяє використовувати безліч варіантів, а також провести їх послідовний аналіз і відбір. Якщо правило відбору сформульоване, то ця схема набуває форми математичного алгоритму.

Основними оцінними показниками досліджуваного об'єкту є приведені витрати, втрати органічної речовини і поживних елементів, а також супутнє цьому забруднення навколишнього середовища по всьому технологічному ланцюжку від тварин до поля. Ці оцінні показники виступають зовні окремо, вони стають як би критеріями оцінки альтернативних варіантів технологічних

схем прибирання і утилізації гною, а проблема вибору найкращого з них – є головною. Як найбільш відомий засіб порівняння альтернатив в рамках системного підходу застосовується метод, який для даних умов можна сформулювати як «витрати-якість». Такий метод вимагає об'єктивної інформації, що дозволяє об'єднати окремі показники комплектів технічних засобів і виробничих приміщень в єдину модель, за допомогою якої кожен конкуруючий варіант зважується по цих двох критеріях. При знаходженні правила вибору, тобто компромісу між ними, використовується наступна думка: підтримка необхідного рівня якості органічних добрив при мінімально можливих витратах на цей технологічний процес. Сенса цієї думки полягає в перекладі одного з критеріїв оцінки альтернатив в обмеження, що і дозволило підійти до побудови математичної моделі.

2.2. Розробка математичної моделі і алгоритму оптимізації технологічних схем і комплектів машин

В умовах промислового тваринництва при вузькій спеціалізації господарств і концентрації в них поголів'я худоби вартість споруд по видаленню, обробці і використанню гною складає 20...50% від загальної вартості ферми. Але ефективність системи не визнається тільки первинними (капітальними) витратами на її споруду. Може трапитись, що щорічні витрати, пов'язані з експлуатацією найбільш дешевої системи перевершать ту економію, яка була одержана при її будівництві. У зв'язку з цим оптимальний варіант потрібно вибирати на підставі порівняльного розрахунку економічної ефективності різних, прийнятних до конкретних умов господарств, експлуатаційних витрат. Тому узагальнюючим оціночним показником технологічних схем і комплектів машин були прийняті приведені витрати [145].

Для формалізації завдання вводилися наступні позначення:

S_{fk} – сумарні приведені витрати на тонну органічних добрив за розрахунковий період за f – ою технологією в k – й природно-кліматичній зоні, грн./т;

a_f – коефіцієнт, що ранжує якість органічних добрив по f – ої технології;

A_f – допустимі втрати поживних речовин в органічному добриві, одержаному за f – ою технологією;

g_k – вихід гною від однієї голови ВРХ в k – й природно-кліматичній зоні за розрахунковий період, т;

R_k – розмір ферми в k – й природно-кліматичній зоні, голів;

x_{ij} – розрахункова кількість j – х машин при призначенні на i – у операцію;

$\beta_{\square_i}$ – коефіцієнт, що враховує частку загального об'єму робіт, виконаною по i – й операції;

X_{ij} – необхідна кількість i –х машин, устаткування при призначенні на j – ю операцію;

e_{ij} – прямі експлуатаційні витрати (заробітна платня, вартість електроенергії, пального, відрахування на технічне обслуговування поточний і капітальний ремонт по j – ій машині (що доводиться на годину її роботи на i – тій операції), грн./год;

t_{ij} – розрахунковий час роботи j – ї машини, устаткування на i – ї операції, год.;

d_i – тривалість виконання i – ї технологічної операції протягом року, днів;

a_j – відрахування на реновацію або нормативна ефективність капітальних вкладень по j – ій машині або будівельній частині;

W_{ij} – продуктивність j – ї машини або устаткування під час чистого часу при виконанні об'єму робіт i – ї операції, т/год.; голів/год., т-км/год;

T_i – зоотехнічний або агрономічний термін на виконання об'єму робіт по i – й операції, год;

K_i – коефіцієнт використання робочого часу на i – й операції;

Δ_{ij} – допустиме перевантаження j – ї машини, устаткування при призначенні на i – у операцію;

ξ – оператор узяття цілої частини від числа.

Величина погодинних приведених витрат j – ї машини або устаткування під час чистого часу при виконанні об'єму робіт i – ї операції визначається за формулою:

$$l_{ij} = C_z + C_m + S_e + S_r, \quad (2.1)$$

де C_z – заробітна платня, віднесена до години роботи машини, грн/год.; C_m – відрахування на поточний і капітальний ремонт, технічне обслуговування, роботи машини, що доводяться на годину, грн/год.; S_e – вартість електроенергії за годину роботи машини, грн/год; S_r – витрати на пальне і змащувальні матеріали, що доводяться на годину роботи машини грн/год.

Значення C_z , C_m , S_e , S_r визначаються за наступними формулами:

$$C_z = n_{ij} \tau_{ij}, \quad (2.2.)$$

де n_{ij} – число працівників, зайнятих на j – ї машині, що використовуються на i – ї операції;

τ_{ij} – годинна тарифна ставка, грн/год.;

$$C_m = \frac{PV_j}{100T_H}, \quad (2.3)$$

де P – норма річних відрахуванні на ремонт і технічне обслуговування %; T_H – нормативне річне завантаження машин, год.; V_j – балансова вартість j – ї машини;

$$C_e = N_n \beta_e, \quad (2.4)$$

де N_n – необхідна потужність обладнання, кВт; β_e – вартість 1 кВт - год електроенергії;

$$S_r = \frac{Ng\beta_r\eta}{100}, \quad (2.5)$$

де N – номінальна потужність двигуна машини або трактора, кВт; g – питома витрата пального, кг/кВт; β_r – комплексна ціна пального, руб/кг; η – середній

відсоток використання потужності двигуна (на стаціонарних роботах 80 %, на транспортних - 50 %).

Величина a_j визначається з рівняння:

$$a_j = \beta \left(\frac{b}{100} + C \right) V_j, \quad (2.6)$$

де b – норма річних відрахувань на реновацію %; C – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; β – коефіцієнт використання машини в даній технологічній лінії, 1- якщо машина використовується тільки в досліджуваних технології; $d_i/365$ – машина використовується і на інших роботах.

Слідуючи вищевикладеному приведені витрати по машині за рік визначаються за формулою:

$$S_{ij} = l_{ij} t_{ij} + a_j, \quad (2.7)$$

де t_{ij} – тривалість роботи j – ї машини, устаткування на i – ї операції за рік, год.;

Тоді витрати по ρ – технологічній лінії визначаються за формулою:

$$S_\rho = \frac{\sum_{i=1}^{m_\rho} \sum_{j=1}^{n_\rho} S_{ij} X_{ij}}{g_k R_k} \quad (2.8)$$

де m_ρ – число технологічних операцій в ρ – й лінії; n_ρ – число найменувань машин в ρ – й лінії.

Мінімум приведених витрат по всіх технологічних лініях (на 1 т органічних добрив) є цільовою функцією математичної моделі:

$$S_{fk} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (l_{ij} t_{ij} d_i + a_j) X_{ij}}{g_k \alpha_f R_k} \rightarrow \min, \quad (2.9)$$

при обмеженнях:

$$0 < \alpha_f \leq 1, \quad (2.10)$$

$$1 - \alpha_f \geq A_f \quad (2.11)$$

$$x_{ij}W_{ij}T_iK_{if} \geq \beta_i g_k R_k \quad (2.12)$$

$$0 \leq \beta_i \leq 1 \quad (2.13)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \xi \text{ якщо } (x_{ij}) = 0 \\ \xi(x_{ij}), & \text{якщо } \frac{x_{ij} - \xi(x_{ij})}{\xi(x_{ij})} \leq \Delta_{ij}; \\ \xi(x_{ij} + 1), & \text{якщо } \frac{x_{ij} - \xi(x_{ij})}{\xi(x_{ij})} > \Delta_{ij} \end{cases} \quad (2.14)$$

$$t_i = \begin{cases} T_i - & \text{при жорсткому зв'язку } j - i \text{ машини в потоці} \\ \frac{\beta_i g_k R_k}{X_{ij} W_{ij} K_i} - & \text{при гнучкому зв'язку } j - i \text{ машини в потоці} \end{cases} \quad (2.15)$$

Представлені вище залежності лягли в основу алгоритму і програми обчислень на ЕОМ техніко-економічних показників і складу машин технологічних схем прибирання гною, приготування і внесення органічних добрив.

2.3. Аналіз технологічних схем утилізації гною і їх оптимізація

Для оцінки були відібрані найбільш часто використовувані в нашій країні і перспективні технологічні лінії прибирання і утилізації гною (табл. 2.1). Серед них виділяють три варіанти підстилкового утримання тварин і одинадцять безпідстилкового. Всі роботи умовно були поділені на три блоки: видалення гною, приготування добрив і внесення добрив в ґрунт.

Програма враховує витрати на будівництво і експлуатацію капітальних споруд, роботу мобільних і стаціонарних машин і устаткування, витрати праці і енергії, витрати на додаткові матеріали і транспортні витрати залежно від типорозміру ферми. Досліджувалися ферми за вмістом великої рогатої худоби з поголів'ям від 100 до 2000 корів. У моделі враховувалися умови природно-кліматичної зони, місце розташування ферми з урахуванням розміщення полів, кривизни доріг і дальності перевезень.

Для досягнення співставності результатів техніко-економічних розрахунків витрати на будівництво і експлуатацію технологічних ліній були

віднесені до загальної маси одержаних органічних добрив в перерахунку на їх 75 %-ну вологість.

Початкову інформацію по машинах, агрегатах, технологічній і будівельній частині вводили в ЕОМ двомірним масивом. Для всіх варіантів технологічних схем були складені моделюючі алгоритми.

Обчислення дозволили одержати інформацію не тільки по кожній технологічній лінії, але і по складових її частинах: прибиранню гною, приготуванню органічних добрив і внесенню їх в ґрунт, а також по окремій машині і споруді. Програма достатньо гнучка і дозволяє в будь-якій технології замінити машину, вид виконуваної операції або лінію.

В результаті розрахунків по математичній моделі був одержаний масив даних, на підставі якого будувалися графічні залежності для кожної з досліджуваних технологічних схем.

Всі дані зводилися в загальні графіки, побудовані з урахуванням умов лісостепової зони України. Встановлено, що приведені витрати при оптимальних розмірах ферм для різних технологічних схем змінюються в межах 20...230 грн на 1 т.

Найменші капіталовкладення в технологічній лінії видалення гною, приготування і внесення органічних добрив будуть при підстилковому утриманні тварин, проте витрати праці тут найвищі.

Ефективність машин і устаткування залежить від місця їх установки в техноло-гічній лінії і умов роботи. Наприклад, вартість виконання операцій перекачування гною від ферми в сховище значною мірою залежить від того, де встановлені насоси - в приміщенні ферми або в спеціалізованій насосній станції. Тому вдосконалення технологічних параметрів насоса (на тиск, подача, енергоємність), що знаходяться в спеціалізованій насосній станції, не дає значного економічного ефекту в цілому по операції, оскільки вартість їх на порядок нижче за вартість будівлі насосної станції.

Таблиця 2.1 – Технологічні лінії видалення і утилізації гною великої рогатої худоби

№ варіанта	Утримання тварин	Спосіб		
		видалення гною	приготування органічних добрив	внесення органічних добрив
1	Підстилкове. На глибо-кій незмінній підстилці (безприв'язне)	Бульдозером	Компостування	Розкидання по поверхні поля
2	На підстилці з щоденним її прибиранням (прив'язне)	Бульдозером	Компостування	Розкидання по поверхні поля
3	Теж	Скребковим транспортером	Теж	Теж
4	Безпідстилкове. На решітчастій підлозі	Скреперними установками	Централізоване компостування	Розкидання по поверхні поля
5	Теж	Теж	Гомогенізоване компостування	Теж
6	- “ -	- “ -	Розділення на тверду і рідку фракції	Теж
6	- “ -	- “ -	Розділення на тверду і рідку фракції	Розкидання по поверхні поля твердих добрив і поливання рідкими
7	- “ -	- “ -	Теж	Розкидання по поверхні поля твердих добрив і підґрунтове внесення рідких
8	- “ -	Безперервний самостік	Польове компостування	Розкидання по поверхні поля
9	- “ -	Теж	Гомогенізування в гноєсховищі	Теж
10	- “ -	- “ -	Разділення на тверду і рідку фракції	Розкидання по поверхні поля твердих добрив і поливання рідкими
11	- “ -	- “ -	Теж	Розкидання по поверхні поля твердих добрив і підґрунтове внесення рідких
12	Теж	Контейнерне прибирання	Теж	Теж
13	На решітчастій підлозі (безприв'язне)	Нагромадження гною в підвальних гноєсховищах	Анаеробне бродіння в гноєсховищі	Розкидання по поверхні поля
14		Шнековим транспортером	Теж	Розкидання гною по соломі, яку залишено на полі після збирання

В цьому випадку основним критерієм оцінки виступає надійність роботи технологічного устаткування, оскільки його відмова призводить до простою дорогого об'єкту – насосної станції.

Виходячи з цього, пропонується оцінювати ефективність досліджуваних технологій разом з приведеними витратами, за витратами палива і енергії на використання гною як добриво, а ефективність його застосування також визначати в енергетичному вимірюванні [110, 206].

З аналізу одержаних залежностей випливає, що найкращі показники мають наступні технологічні лінії: при підстилковому прив'язному утриманні тварин – щоденне прибирання гною бульдозером, накопичення його в сховище і внесення розкиданням по поверхні поля; при безпідстилковому прив'язному утриманні тварин – видалення гною шнековими транспортерами, польове або централізоване компостування і внесення розкиданням по поверхні поля; при безпідстилковому безприв'язному утриманні тварин – видалення гною безперервним самопливом, компостування і внесення розкиданням по поверхні поля.

Видалення гною шнековими транспортерами має перевагу перед іншими механічними засобами завдяки значному збільшенню надійності (термін служби в 2...3 рази вищий).

З появою результатів подальших досліджень в порівняльну оцінку необхідно включати і зоогігієнічні показники, продуктивність і якість одержуваної продукції.

Слідуючи прийнятій методології досліджень необхідно відзначити, що оцінка механізованих технологій за вартісними показниками в даний час недостатня, оскільки система цін, що склалася раніше, була орієнтована на дешевизну природних ресурсів. Діючі ціни на вугілля, нафту, газ і електроенергію не забезпечували умов для самофінансування паливно-енергетичного комплексу. У сучасній ситуації вартість енергоносіїв також чітко не визначена.

Оскільки органічні добрива є кінцевим продуктом технології, основним критерієм оцінки енерговитрат тут можна прийняти показник енергетичної ефективності R . Цей показник враховує витрати енергії всіх видів, необхідної для отримання і внесення органічних добрив, а також енергії, що міститься в кінцевому продукті. Згідно методичних рекомендацій порівняльної оцінки технології і комплексів машин за енергетичним критерієм, розробленим групою учених під керівництвом М.М.Севернева [206] відношення енергії виходу до затраченої сукупної енергії в зіставних одиницях і визначає енергетичну ефективність даної технології.

Кількісна оцінка споживання в технології основного поновлюваного ресурсу - дизельного палива також дозволяє оцінити її досконалість.

Виходячи з класифікації діючих в нашій країні і за кордоном технологічних схем прибирання і утилізації гною на фермах по виробництву молока (табл. 2.1) і теоретичних передумов були розроблені математична модель, алгоритми і програма обчислень на ЕОМ, які дозволили розрахувати питому витрату сукупної енергії, зокрема дизельного палива, енергетичний вміст органічних добрив і енергетичну ефективність аналізованих технологій. Для досягнення співставності результатів, сукупні енерговитрати і витрата дизельного палива були віднесені, як і при аналізі приведених витрат, до загальної маси одержаних органічних добрив в перерахунку на їх 75 % вологість.

Результати паливно-енергетичної оцінки досліджуваних технологій на фермах розмірами від 100 до 2000 корів показали, що витрати на тонну органічних добрив: енергії змінюються від 100 до 175 МДж, дизельного палива - від 0,25 до 13,9 кг. У структурі енерговитрат за різними технологіями дизельне паливо займає від 10 до 70 %. Енергетична ефективність технологій знаходиться в межах від 0,2 до 3,8.

Аналіз одержаних залежностей показує, що розміри ферм по виробництву молока не повинні перевищувати 800 корів, оскільки зростання об'ємів і відстані перевезень органічних добрив погіршує енергетичні показники

технологій і підвищує питому витрату дизельного палива. Виходячи з питомих енерговитрат найефективніше на фермах безпідстилькове утримання корів із застосуванням безводних способів видалення екскрементів тварин з приміщень. Для ферм розмірами до 200 корів оптимальною є технологія безприв'язного утримання тварин на глибокій незмінній підстилці з видаленням гною бульдозером, приготуванням добрив компостуванням і внесення розкиданням по поверхні поля.

З проведеного аналізу випливає, що системи видалення екскрементів при безпідстильковому утриманні тварин з метою зменшення розбавлення водою гнойової маси, розділення безпідстилькового гною на тверду і рідку фракції, компостування її з вологопоглинаючими наповнювачами (торф, подрібнена солома, різні органічні відходи промисловості), підґрунтового і поверхневого внесення приготовлених рідких і твердих органічних добрив вимагають вдосконалення.

РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГНОЮ ЯК ОБ'ЄКТУ ПЕРЕРОБКИ І ЗАСТОСУВАННЯ ЙОГО ЯК ДОБРИВО ДЛЯ ГРУНТУ

Основні показники фізико-механічних властивостей органічних добрив, які необхідно враховувати при обґрунтуванні робочих органів машин і устаткування для їх приготування і внесення в ґрунт (в'язкість, клейкість, фракційний склад, щільність, вологість і ін.) вивчені І.І. Ялі, О.О. Ковальовим, М.Г.Ковальовим, В.М.Афанасьєвим, В.А.Ярощуком, В.П., Супруном, П.М. Заїкою, І.І.Шкодкіним В.П. Коваленко і ін. дослідниками [6, 74, 88, 90, 105, 149, 182, 173, 150, 279, 280]. Але враховуючи залежність фізико-механічних властивостей добрив від безлічі чинників – виду і віку тварин, раціон їх годування і умов утримання, способу видалення і зберігання гною, приготування органічних добрив виникла необхідність визначення деяких властивостей добрив з урахуванням конкретних умов проведення лабораторних до лабораторно-польових досліджень.

3.1. Визначення фізико-механічних показників гною

На протікання процесу сепарації рідкого гною, його гомогенізацію і гідротранспортування значний вплив має в'язкість. Тому визначення чисельних значень в'язкості для різного виду гною при вологості, що змінюється, є необхідним завданням.

Для визначення в'язкості використовували ротаційний віскозиметр РВ-8 конструкції М.П.Володровича [32] і індукційно-кульковий віскозиметр (рис. 3.1).

Принцип роботи індукційно-кулькового віскозиметра наступний. Кулька, яка вільно падає, перетинаючи магнітне поле первинної котушки, змінює її індуктивність. Збуджений у вторинній обмотці котушки струм самоіндукції, посилюється і реєструється самописним приладом на діаграмній стрічці у вигляді сплеску. Замірявши відстань між піками сплесків і знаючи швидкість

стрічки і відстань між котушками, визначають постійну швидкість падіння кульки, значення якої представляється у формулі (3.1) для обчислення в'язкості середовища;

$$\varepsilon = \frac{6V\rho_c}{gd^2(\rho_m - \rho_c) - 7,48 \cdot 10^{-4} \rho_m V^2}, \quad (3.1)$$

де ε – в'язкість середовища; V – швидкість падіння кульки; $V = l_2 V_n / l_1$; V_n – швидкість протяжки діаграмою стрічки; l_2, l_1 – відстань відповідно між котушками і піками; g – прискорення вільного падіння кульки; d – діаметр кульки; ρ_c, ρ_m – відповідно щільність середовища і кульки.

Дослідженнями встановлено, що при вологості гною 95% в'язкість знаходиться в межах 0,02-0,05 Па·с і мало залежить від його виду. Із зменшенням вологості до 92% в'язкість збільшується і спостерігається різниця між в'язкістю окремих видів гною: в'язкість гною ВРХ дорівнює 0,2 Па·с, тоді як в'язкість курячого посліду дорівнює 0,06 Па·с. При зменшенні вологості з 95 до 84% в'язкість різних видів гною зростає в 10... 50 разів. У діапазоні вологості 84... 78% зростання в'язкості приводить до втрати текучості маси.

Однією з характеристик безпідстилкового гною є його *фракційний склад* – розподіли частинок за лінійними розмірами.

Середньозважений розмір часток знаходять за допомогою гранулометричного фракційного аналізу партії насипного матеріалу (гною), який являє собою кількісний розподіл складових часток матеріалу за їхньою величиною. Величина частки визначається за її більшим розміром.

Застосовуючи методику фракційного аналізу на ситах з промиванням визначено фракційний склад гною ВРХ, свиней і курячого посліду (табл. 3.1, 3.2).

Приведені дані показують, що безпідстилковий рідкий гній ВРХ містить найбільшу кількість твердих частинок (до 30 %) з розмірами – 2 мм. Крупних частинок (більше 5 мм) свинячий гній містить близько 3%, а гній ВРХ і курячий послід менше – 1%.

На ситах з розмірами отворів 0,5 мм можна затримати близько половини зважених твердих частинок рідкого гною, а на ситах з розмірами отворів 0,08х0,08 – (70-85%).

Залежно від виду тварин, властивостей і видів кормів в екскременти потрапляють солома, силос, недоїдки коренеплодів, різні сторонні предмети, які ускладнюють роботу насосного устаткування, розкидачів.

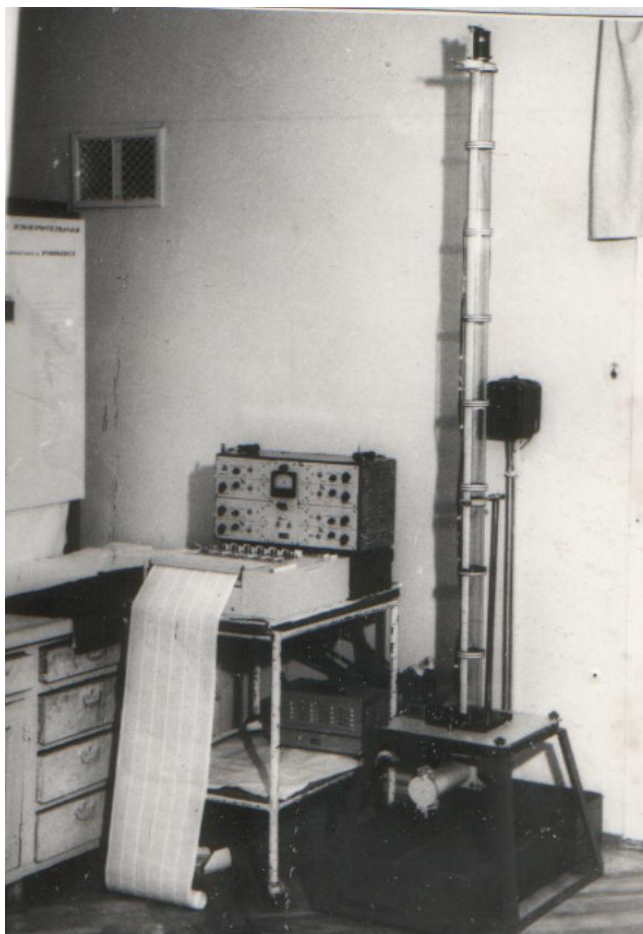


Рис. 3.1. Загальний вид індукційно-кулькового віскозиметра.

Таблиця 3.1 – Фракційний склад екскрементів сільськогосподарських тварин і птиці.

Вид гною	Вміст частинок, %	Розміри частинок, мм							
		5	3	2	1	0,5	0,25	0,08	< 0,08
Гній ВРХ	Від загальної маси частинок	0,93	4,45	9,04	18,8	10,78	12,8	43,2	
	Від загальної маси сухої речовини	0,67	3,2	6,5	13,3	7,73	9,20	31,1	28,1
Гній свиней	Від загальної маси частинок	3,13	3,2	3,8	3,89	15,2	15,1	20,5	
	Від загальної маси сухої речовини	2,84	2,75	3,27	33,5	13,1	13,0	17,54	14,0

Пташиний послід	Від загальної маси частинок	0,7	1,2	2,5	18,2	33,5	22,8	21,1	
	Від загальної маси сухої речовини	0,41	0,75	1,55	11,21	20,46	14,02	12,99	33,61

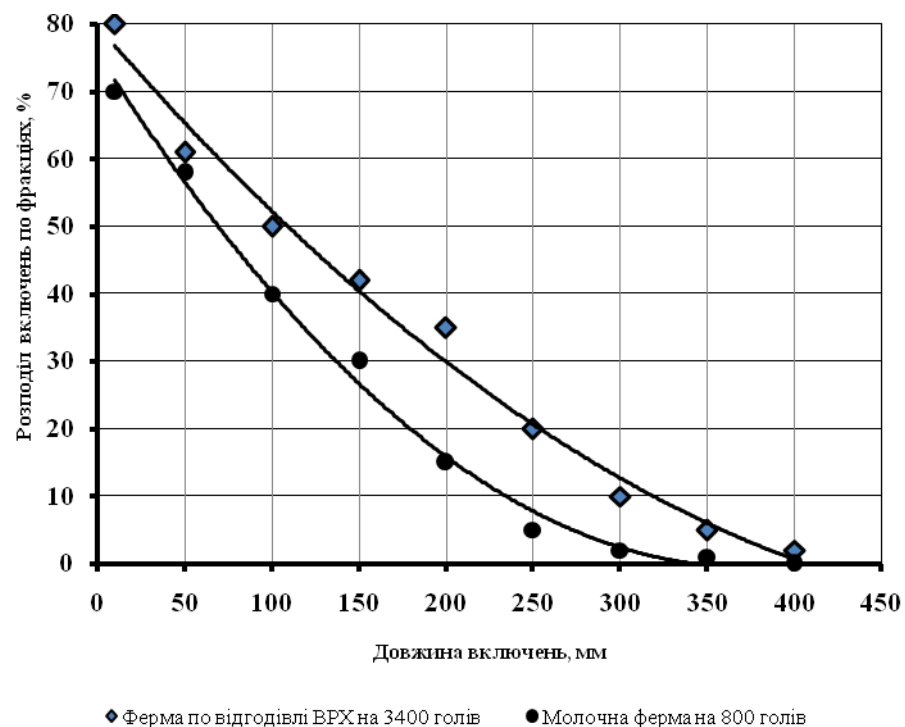


Рис 3.2. Розподіл включень по фракціях:

Дослідами встановлено, що включень розміром до 100 мм в гнойовій масі знаходиться до 50%, максимальна довжина включень досягає 400... 450 мм.

На рис. 3.2 приведені інтегральні криві розподілу включень в гною ВРХ на двох фермах: ферма по відгодівлі ВРХ на 3400 голів, молочна ферма ВРХ на 800 голів.

Середньозважений розмір партії матеріалу визначають за формулою:

$$d_o = 1 / \sum_{i=1}^n (\Delta_i / d_i), \quad (3.2)$$

де Δ_i – масова доля часток; d_i – розмір i -тої фракції у суміші.

Якщо частки проходять через сито з розміром отвору d_1 , а на ситі з розміром отвору d_2 залишаються, то розмір для фракції визначають за формулою:

$$d_1 = \sqrt{d_1 d_2} . \quad (3.3)$$

У тому випадку, коли форма частки суттєво відрізняється від кулеподібної, розмір d_1 , визначають за формулою:

$$d_1 = \sqrt[3]{6V/\pi} , \quad (3.4)$$

де V – середньоарифметичне значення об'єму однієї частки у даній вузькій фракції, яке не можна визначити за кількістю часток у пробі n_{np} і масою проби g_{np} . При відомій щільності твердих часток ρ будемо мати:

$$V = g_{np} / (n_{np} \rho) . \quad (3.5)$$

При проектуванні фільтрувальних апаратів, особливо фільтрувальних перегородок, необхідно враховувати гранулометричний склад екскрементів великої рогатої худоби і свиней (табл. 3.1, 3.2). Відомо, що 87 % гранулометричного складу гною великої рогатої худоби становлять частки середнім діаметром від 1,0 до 4,0 мм, 7% – до 1,0 мм і 9% – більші 4,0 мм.

Таблиця 3.2 – Гранулометричний склад напіврідкого гною свиней.

Розміри частин, мм	Більше 10	7...10	5...7	3...5	2...3	1... 2	Менше 1
Кількість частинок в об'ємі, %	1,5	3,0	5,0	8,0	12,5	37,5	32,5

Під час визначення *вологопоглинаючої здатності твердих екскрементів тварин* за критерій оцінки була прийнята кількість рідких екскрементів (у процентному відношенні від твердих), поглинених твердими екскрементами, який визначався за формулою:

$$V_m = \frac{m_{mk} - m_{mn}}{m_{mn}} 100\% , \quad (3.6)$$

де m_{mn} – маса твердих екскрементів до вантаження їх у ванну з рідкими екскрементами; m_{mk} – кінцева маса твердих екскрементів після виймання з ванни.

Для проведення досліджень були виготовлені місткості, що вміщують порцію ви-ділень твердих екскрементів, рівну середньому разовому виділенню тварини (1,5 кг). Стінки місткості були виконані з сітки з розмірами отворів 0,

2.. 0,3 мм. У місткості поміщалися тверді екскременти різної початкової вологості в межах 71... 89%.

Ємності з твердими екскрементами занурювалися у ванну з рідкими екскрементами тварин з періодом витримки їх 12 годин, експериментальні дослідження виконувалися протягом 5 діб.

Результати експериментальних досліджень приведені на рис. 3.3, 3.4. З аналізу одержаних залежностей випливає, що тверді екскременти великої рогатої худоби найінтенсивніше поглинають рідкі екскременти протягом перших двох діб контакту, після чого процес стабілізується і показник вологопоглинаючої здатності наближається до певної межі (залежно від первинної вологості твердих).

Так, при початковій вологості твердих екскрементів 71% дана межа складає 9%, 76% – 6,5%, 83% – 5,8%, 89% – 3,5%.

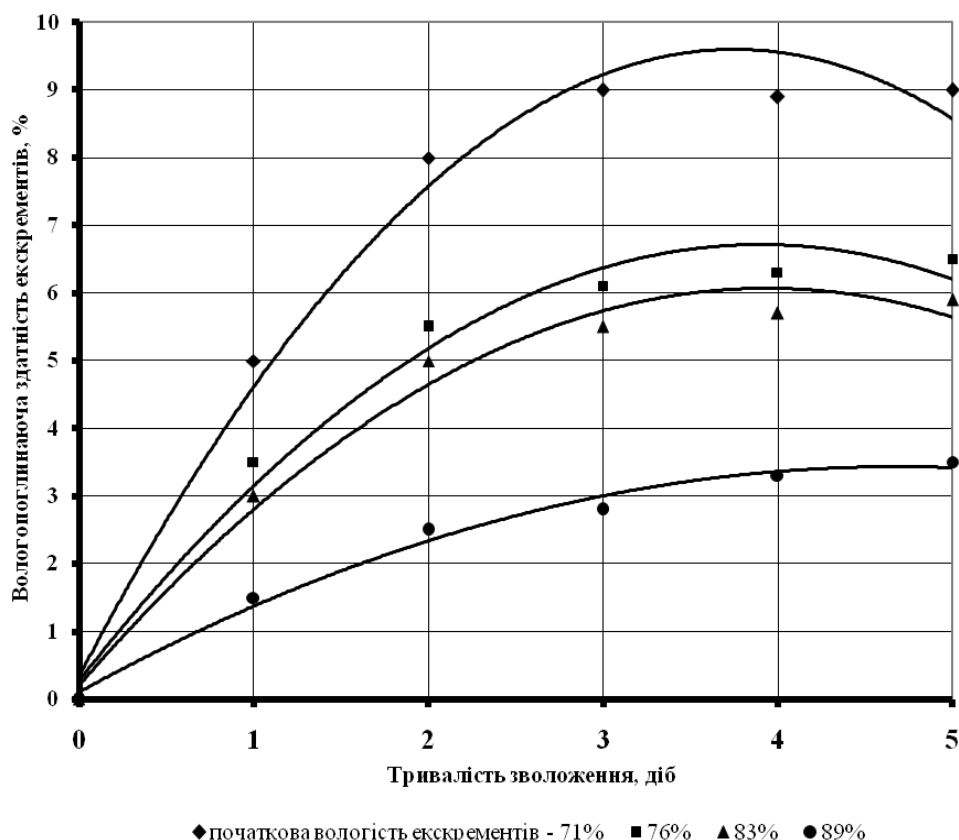


Рис. 3.3. Залежність вологопоглинаючої здатності твердих екскрементів різної вологості від часу:

1 - при початковій вологості екскрементів 71%; 2 – 76%; 3 – 83%; 4 – 89%.

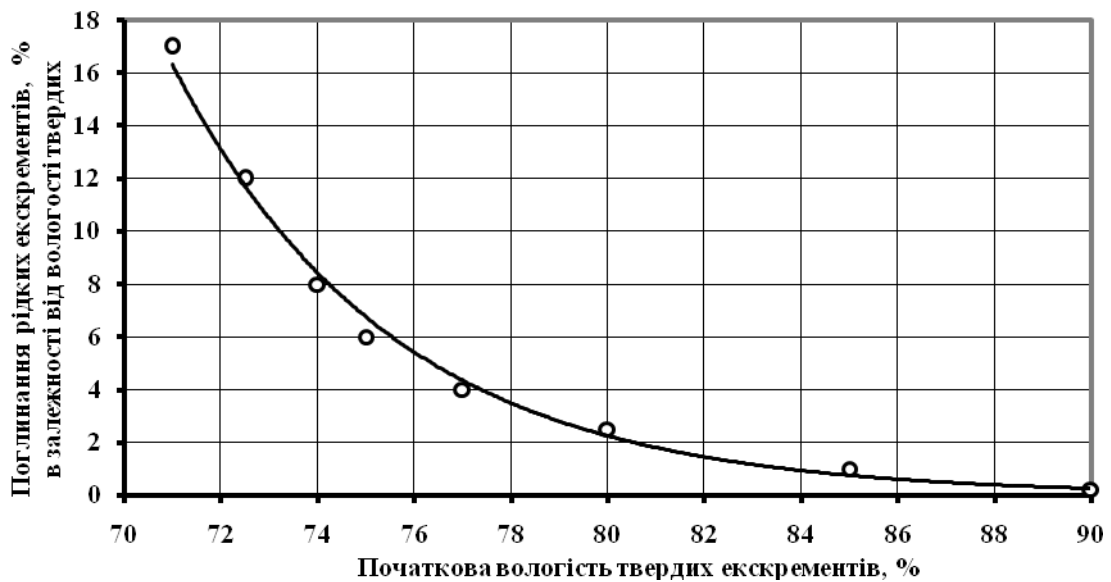


Рис. 3.4. Залежність кількості поглинутих рідких екскрементів твердими від початкової вологості твердих екскрементів.

Для визначення зміни вологості твердих екскрементів тварин в процесі їх контакту з рідкими була визначена вологість останніх до початку і в кінці досліджу.

Кількість поглинутих рідких екскрементів (%) від первинної вологості твердих екскрементів визначені за формулою:

$$V_{\text{м}}^{\text{I}} = \frac{100(W_{\text{мн}} - W_{\text{mk}})}{W_{\text{mk}} - 100}, \quad (3.7)$$

де $W_{\text{мн}}$, W_{mk} – відповідно початкова і кінцева вологість твердих екскрементів тварин, %.

З графіка залежності кількості поглиненої рідини твердими екскрементами тварин від їх початкової вологості, побудованого відповідно до рівняння (3.7) і приведенного на рис. 3.4, встановлено, що чим більша початкова вологість твердих екскрементів, тим менше вони поглинають рідких при контакті з ними.

При найбільш вірогідній вологості твердих екскрементів великої рогатої худоби, що знаходиться в межах 80...84%, кількість поглинутих ними рідких екскрементів знаходиться в межах 2...3%, що є незначною величиною.

Швидкість осідання рідкого гною залежить від його гранулометричного складу (табл. 3.3). Швидкість осідання свинячої шерсті 21,6 мм/добу

Таблиця 3.3 – Швидкість осідання твердих частин гною свиней в залежності від розміру частин:

Розміри частин,мм	До 0,5	1	2	3	4	5
Швидкість осідання, мм/добу	1,5	21,0	28,0	36,0	44,0	52,0

Об'ємна маса або щільність гною залежить від ущільнення і ступеня розкладання, а також від вологості (табл. 3.4, 3.5). Маса 1 м³ свіжого не ущільненого гною в середньому складає 400 кг, ущільненого - 700, напівперепрівшого - 800 та перепрівшого - 900 кг.

Таблиця 3.4. Щільність гною в залежності від його вологості

Вологість,%	Щільність,кг/м ³	Вологість, %	Щільність, кг/м ³
Вихідна гнойова маса		Рідка фракція	
86,2	908	92,0	1018
88,2	918	96,0	1010
89,1	981	98,0	1005
90,0	100	99,2	1001

Таблиця 3.5. Об'ємна маса твердих органічних добрив.

Добриво	Об'ємна маса, кг/м ³
Свіжий гній великої рогатої худоби	400 – 700
Свіжий кінський гній	400 - 500
Перепрілий гній великої рогатої худоби	800 – 900
Напівперепрілий гній	700 – 800
Свіжий гній на солом'яній підстилці	300 – 700
Ущільнений свіжий солом'яний гній	500 – 700
Гній із вигульних майданчиків великої рогатої худоби	1000 - 1100

В результаті математичної обробки експериментальних даних одержана така емпірична залежність вологості твердої фракції від її щільності:

$$W_T = (0,691 + 0,125\rho)100, \quad (3.8)$$

де W_T – вологість твердої фракції (табл. 3.4), % ; ρ – щільність твердої фракції, т/м³.

Із збільшенням вологості зменшується не тільки в'язкість, але і щільність органічної маси:

$$\rho = 1000 + 2,4C_2, \quad (3.9)$$

де C_2 – відносна масова частка сухої речовини в органічній масі ($C_2 = 100 - W$), %.

Коефіцієнт динамічної в'язкості гною великої рогатої худоби вологістю 90 -98% визначають за формулою:

$$\eta_z = \eta_6 \left[1 - 0,25 \left(C_6 + \frac{C_2 - 2}{8 - 0,7C_2} \right) \right], \quad (3.10)$$

де η_6 – коефіцієнт в'язкості води, Н/см; C_2 – відносна масова частка сухої речовини у гню, %.

Коефіцієнт динамічної в'язкості відфільтрованої рідкої фракції гною свиней залежить від вмісту сухої речовини у вихідній гнойовій масі:

$$\eta_z = 1 + 783 \cdot 10^{-5} (C_2^2 - 4C_2), \quad (3.11)$$

Показник консистенції, або індекс текучості безпідстилкового гною визначається за формулою:

$$I_T = (W - W_p) / (W_T - W_p), \quad (3.12)$$

де W – відносна вологість гною, %; W_p – вологість, при якій гній втрачає свою пластичність ($W_p = 78-80\%$); W_T – вологість, при якій гній переходить в текучий стан ($W_T = 91-92\%$).

При накопиченні безпідстилкового гною у каналах або сховищах його структурні характеристики і щільність змінюються в залежності від температури навколишнього середовища і тривалості зберігання. З підвищенням температури від 10 до 20°C структурна в'язкість і межа текучості зменшуються на 25 – 40%.

Важливими характеристиками реологічних властивостей є структурна в'язкість і граничне напруження зсуву (межа текучості). Ці характеристики залежать від вологості безпідстилкового гною, його гранулометричного складу, температури та інших факторів (табл. 3.6, 3.7).

Таблиця 3.6 – В'язкість, гранична напруга зсуву і густина гною свиней і дійних корів [88].

Вологість гною, %	Гній свинячий			Гній дійних корів		
	щільність, кг/м ³	в'язкість, Н·с/м ²	гранична напруга зсуву, Н/м ²	щільність, кг/м ³	В'язкість, Н·с/м ²	Гранична напруга зсуву, Н/м ²
86	1054,4	0,70	50,0	1034,2	1,30	75,0
87	1050,4	0,52	30,0	1032,2	1,20	60,0
88	1046,4	0,40	20,0	1029,6	1,00	50,0
89	1042,4	0,32	15,0	1026,9	0,80	40,0
90	1038,4	0,28	9,0	1024,4	0,60	37,0
91	1034,4	0,22	5,0	1021,8	0,30	14,0
92	1030,3	0,20	1,8	1019,1	0,45	5,0
93	1026,3	0,15	1,6	1016,5	0,10	2,5
94	1022,3	0,10	0,9	1013,9	0,08	1,0
95	1018,5	0,02	-	1011,3	0,05	-
96	1014,3	-	-	1008,7	0,035	-
97	1010,1	-	-	1006,1	0,03	-

Процес витікання гною характеризується залежністю між напруженням зсуву, що виникає при переміщенні гною, а також швидкістю, яка змінюється перпендикулярно до напрямку руху (градієнт швидкості). Властивість текучості, яка розглядається, характеризується квазіпластичністю:

$$\tau = \tau_0 + \kappa D^n, \quad (3.13)$$

де τ – напруження зсуву, Н/м²; τ_0 – граничне напруження зсуву (межа текучості), Н/м²; D – градієнт зрізу, с⁻¹; κ – жорсткість, Н·сⁿ; n – структурний показник (табл. 3.8).

Таблиця 3.7 – Властивості безпідстилкового гною [74].

Вологість, %	Гній свиней			Гній дійних корів		
	Щільність, кг/м ³	В'язкість, Па·с	Межа текучості, Н/м ²	Щільність, кг/м ³	В'язкість, Па·с	Межа текучості, Н/м ²
86	1054,4	0,90	66	1034,2	4,6	140
87	1050,4	0,80	50	1032,2	4,0	100
88	1046,4	0,60	38	1029,6	3,6	70
89	1042,4	0,40	32	1026,9	3,0	45
90	1038,4	0,30	30	1024,4	2,4	27
91	1034,4	0,24	10	1021,8	1,6	18
92	1030,3	0,20	1,8	1019,1	1,4	11
93	1026,3	0,18	1,6	1016,5	1,1	9
94	1022,3	0,10	0,9	1013,9	0,9	7
95	1018,5	0,02	-	1011,3	0,7	-
96	1014,3	-	-	1008,7	0,2	-

Таблиця 3.8 – Показники текучості гною [74].

Вміст сухої речовини, %	Щільність, г/см ³	Межа текучості, Н/м ²	Жорсткість, Н·с/м ²	Структурний показник
Велика рогата худоба				
23,8	1,031	62,7	134,1	0,230
8,20	1,023	4,12	10,40	0,280
4,34	1,011	0,249	0,92	0,315
Свині				
17,40	1,051	6,66	137,20	0,211
10,67	1,044	1,37	5,20	0,361
7,38	1,030	0,157	0,66	0,404
Кури				
18,54	1,072	74,5	174,50	0,246
15,59	1,063	27,4	79,30	0,300
13,77	1,050	12,7	39,7	0,319

Важливим показником при конструюванні технічних засобів і проектуванні є *коефіцієнт тертя* матеріалів органічного походження по різних поверхнях (гладеньких, перфорованих, сталевих, дерев'яних, бетонних та ін.).

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані залежності коефіцієнта тертя гною по перфорованій і гладенькій поверхнях у вигляді таких рівнянь [74]:

$$f_1 = 0,58 / \left(1 + 1,28e^{-\frac{0,2379}{W_T^{8,7}}} \right), \quad (3.14)$$

$$f_2 = 0,29 / \left(1 + 2,53e^{-\frac{0,2346}{W_T^{8,7}}} \right), \quad (3.15)$$

де f_1, f_2 – коефіцієнти тертя відповідно по перфорованій і гладенькій сталевій поверхні; W_T – вологість твердої фракції гною. Ці залежності дійсні у діапазоні нормального тиску від 0,01 до 1,2 МПа, швидкості руху твердої фракції $V_0 = 0,05 \text{ мс}^{-1}$ і її вологості 65-85%.

Внутрішнє тертя – це взаємодія між частками гною, яка значно впливає на стабільність подачі добрив конвейєрами гноєрозкидачів до розподільного

органу машини. Коефіцієнт внутрішнього тертя визначається при статичному навантаженні.

Залежність коефіцієнта внутрішнього тертя від питомого тиску такий: для гною з вологістю 80 – 82 % коефіцієнт внутрішнього тертя знижується при збільшенні питомого тиску до 6 – 7 КПа. При більш високому питомому тиску коефіцієнт внутрішнього тертя практично не змінюється.

Опір розриванню зумовлюється наявністю та станом підстилки, залишків кормів, а також дією молекулярних та капілярних сил зчеплення. Залежність нормального напруження σ_p розриванню твердих органічних добрив від їхньої об'ємної маси ρ визначають за формулою:

$$\sigma_p = \gamma \rho^\delta, \quad (3.16)$$

де γ та δ – постійні коефіцієнти; їхні значення такі: для гною $\gamma = 0,16$, $\delta = 1,9$; для свіжого компосту $\gamma = 0,065$, $\delta = 4,0$; для зрілого компосту $\gamma = 0,025$, $\delta = 4,5$ [74].

Опір гною розриванню (міцність на розривання у горизонтальній та вертикальній площинах) істотно впливає на енергоємність процесу розподілу добрив. Встановлено, що міцність на розривання у цих площинах неодинакова. Результати досліджень з визначення міцності гною на розривання в залежності від виду підстилкового матеріалу наведені в табл.3.9.

Таблиця 3.9 – Міцність злежаного гною на розривання [74]:.

Добриво	Відносна вологість, %	Максимальне напруження, Па	Питома робота на розривання, Дж/м ²	Максимальне напруження, Па	Питома робота на розривання, Дж/м ²
Торфосо-лом'яний гній із співвідношенням торфу до соломи:					
2:1	70 – 75	3000	8	1300	1,0
1:1	85	7000	12	3500	1,6
4:1	72	1800	3	700	0,6
Гній на підстилковій не подрібненій соломі	62	11000	28	1300	0,1

Гній на підстилковій подрібненій соломі	69	63000	16	900	0,4

В умовах обмеженого бічного розшарування залежність між *напруженням і деформацією* при стисканні добрив записують так:

$$\sigma_{cm} = ch^{\mu}, \quad (3.17)$$

де σ_{cm} – напруження стискання, Па; h – величина деформації, м; c і μ – постійні коефі-цієнти (табл. 3.10).

Оскільки органічні добрива належать до пластичних матеріалів, то при стисканні органічних добрив присутні як пружні, так і пластичні деформації.

Величину *пружної деформації* визначають як різницю повної та остаточної деформації.

Напруження, що характеризують пружні властивості добрив, визначають за формулою:

$$\sigma_{np} = \sigma - \sigma_z \quad (3.18)$$

де σ_z – остаточно напруження, що відповідає остаточної деформації.

Властивістю гною є *опір зсуву*. *Дотичну напругу зсуву* (Па) для гною можна визначити за формулою:

$$\tau = c_z + f_{\phi} p, \quad (3.19)$$

де c_z – питома сила зв'язаності матеріалу, Па; f_{ϕ} – коефіцієнт внутрішнього тертя; p – питомий нормальний тиск, Па.

Таблиця 3.10 – Значення коефіцієнтів c і μ залежно від об'ємної маси та вологості добрив [74].

Об'ємна маса γ , т/м	Солом'яний гній W=74 %		Торфогнойовий компост W =68,2 %		Торфогнойовий компост W = 60,3 %	
	c	μ	c	μ	c	μ
0,60	0,07	0,75	0,030	1,40	0,025	1,5
0,70	0,12	0,67	0,035	1,30	0,160	1,1
0,80	0,20	0,60	0,130	0,92	0,900	1,0
0,90	0,40	0,50	0,400	0,66	1,000	0,9
1,00	0,50	0,60	0,600	0,50	1,000	0,9

Дотичне напруження зсуву залежно від об'ємної маси визначають залежністю:

$$\tau = \tau_1 \rho^\lambda, \quad (3.20)$$

де τ_1 і λ – постійні коефіцієнти.

Значення постійного коефіцієнта τ_1 залежить від виду добрива та його вологості (табл. 3.11), із збільшенням вологості добрива значення коефіцієнта τ_1 зменшується, а значення постійного коефіцієнта λ коливається в значних межах – від 2,5 до 25.

Таблиця 3.11 – Значення коефіцієнта τ_1 залежно від виду добрива і його вологості [74].

Солом'яний гній		Торфогнойовий (свіжий) компост		Торфогнойовий (зрілий) компост	
W, %	τ_1	W, %	τ_1	W, %	τ_1
70,3	0,050	68,2	0,043	61,6	0,023
74,8	0,035	71,5	0,031	64,6	0,021
78,8	0,026	78,6	0,018	67,6	-

Для розкидання гною на полі використовують роторні гноєрозкидачі. Гній захоплюється із валка лопатями робочого органу гноєрозкидача і розкидається по поверхні поля. Кожна частка гною, що розкидається, пролітає певний шлях у повітрі, де зустрічає його опір. *Опір повітря* часткам гною, що розкидається, визначається числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{d \vartheta}{\nu}, \quad (3.21)$$

де d – середньозважений діаметр частки, ϑ – відносна швидкість руху частки у середовищі із опором; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості середовища, в якому рухається частка добрив.

При цьому *опір повітря* визначається формулою:

$$R = m k_n \vartheta^2 \quad (3.22)$$

де R – опір повітряного середовища польоту частки гною, Н; m – маса частки гною, кг; k_n – коефіцієнт парусності, 1/м; ϑ – швидкість руху частки гною, м/с.

Як можна бачити із таблиці 3.12 критична швидкість часток збільшується як із збільшенням розмірів часток, так і їхньої вологості.

3.2. Визначення теплотехнічних показників гною

Теплоємність – кількість теплоти, що необхідна для нагрівання одного кілограма гною на один градус Кельвіна. Теплоємність рідкого гною враховують під час розрахунків кількості машин і пристроїв для його утилізації, знезаражування термічними способами та утримування у зимовий період. Теплоємність гною змінюється залежно від його складу, насамперед вмісту в ньому води. Із зменшенням вологості питома теплоємність гною зменшується. Питома теплоємність гною та його складових наведено в табл. 3.13.

Таблиця 3.12 – Швидкість витання часток торфу $v_{кр}$, м/с [74].

Розмір часток, мм	Вологість торфу, %				
	30	35	40	45	50
20 - 16	19,35	11,80	-	13,20	-
15 - 10	9,90	10,02	11,03	10,55	13,31
10 - 7	8,98	9,56	9,14	9,08	10,76
7 - 5	8,07	8,42	3,15	7,51	9,43
5 - 3	4,54	5,19	4,60	5,52	6,86
2 - 1	3,12	3,76	4,91	4,29	5,46
1 – 0,5	2,18	-	3,43	2,75	4,85
0,5	-	-	2,05	1,51	2,09

Розраховують теплоємність рідкого гною різної вологості при відомих теплоємностях сухих речовин у складі гною за формулою:

$$C = C_w W / 100 + C_{cp} (100 - W) / 100, \quad (3.23)$$

де C_w – питома теплоємність зв'язаної води; C_{cp} – питома теплоємність сухої речовини; W – вологість гною.

Таблиця 3.13 – Питома теплоємність складових частин гною [74].

Речовина	Вміст сухої речовини, %	Питома теплоємність, кДж/(кг· К)
Вода	0	4,20
Сеча	4,35	3,27
Рідкий гній	9,49 – 13,8	2,99 – 2,77
Кал	15,34	1,73

Теплопровідність – здатність гною передавати температуру сусіднім шарам. Вона залежить переважно від вмісту води. Теплопровідність рідкого гною змінюється в значних межах (табл. 3.14).

Коефіцієнт теплопровідності стоків λ , Вт/(м·К) обчислюють за формулою:

$$\lambda = 0,87W - 0,5, \quad (3.24)$$

де W – вологість %.

Таблиця 3.14 – Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури та вологості рідкого гною [74].

Вологість рідкого гною, %	Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·К), при температурі, °С		
	25-40	40-55	55-70
98	3,70	3,82	4,77
94	3,20	4,07	5,06
83	2,87	3,90	6,07

Температура замерзання. Встановлено, що температура замерзання різних екскрементів тварин така: сечі – мінус 2,8°С; калу – мінус 2°С; суміші калу і сечі – мінус 1,2 °С. Після розбавлення гною водою температура замерзання наближається до 0 °С. Якщо вологість гною 92%, то він замерзає при температурі мінус 0,41 °С. Під час зберігання розрідженого гною у відкритих приміщеннях при замерзанні утворюється кірка. Коефіцієнт розширення льодової кірки гною менший порівняно з чистою водою. Вода збільшує об'єм при замерзанні на 15 %, сеча – на 9,4 %, а рідкий гній – на 2 %, тому гній при замерзанні майже не скупчується в обмеженому об'ємі [74].

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ БЕЗПІДСТИЛКОВОГО ГНОЮ ІЗ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

4.1. Аналіз існуючих технологій і засобів механізації для видалення безпід-стилкового гною з тваринницьких приміщень з відділенням рідини

В даний час в Україні і за кордоном ведуться науково-дослідні і проектно-конструкторські розробки технологічних схем і агрегатів, що дозволяють здійснити весь комплекс робіт по прибиранню і утилізації гною з мінімальною потребою розбавлення його водою [21, 27, 66, 87, 93, 105, 129, 264, 286].

Комплексний підхід до вирішення питань видалення гною з приміщень і розділення його на тверду і рідку фракції дозволив створити ряд пристроїв для поєднання виконання цих операцій одним агрегатом. Огляд літературних і патентних матеріалів показав, що гнойову рідину можна відокремлювати від маси твердого гною в гноєсховищах, які знаходяться під підлогою, на стаціонарних [105] і мобільних [16] сепаруючих поверхнях, а також безпосередньо в гноєзбірниках, каналах, на нерухомих сепаруючих ґратах [279], рухомому сітчастому конвеєру [111, 118], або на похилій площині [105, 202].

Аналіз існуючих схем видалення безпідстилкового гною з відділенням гнойової рідини показав, що всі вони мають ряд істотних недоліків – складність і недостатня надійність роботи технічних засобів, незадовільна якість розділених фракцій, відсутність високопродуктивних засобів механізації для транспортування фракцій гною з приміщень ферми. Слабким місцем всіх аналізованих схем є фільтруючий елемент, який повинен безперешкодно пропускати рідкі екскременти тварин і не допускати проникнення в канал (місткість) для збору рідини твердих екскрементів.

Як показав попередній аналіз, надійних фільтруючих елементів для гною ще не розроблено, а існуючі фільтри з інших галузей народного господарства складні і малоефективні [105].

Провівши аналіз всіх переваг і недоліків існуючих схем прибирання з відділенням гнойової рідини, визначений ряд вимог, що пред'являються до подібного роду технологічних схем.

Основні пункти вимог включають наступні положення:

- технологічна лінія повинна забезпечити видалення всього гною, що утворився, з тваринницького приміщення, виключаючи його втрати і забруднення приміщення;
- система повинна забезпечити видалення гною при можливо мінімальному його об'ємі, не допускаючи розбавлення його водою;
- система повинна забезпечити якнайповніше розділення початкової маси на рідку і тверду фракції;
- транспортування фракцій гною повинне здійснюватися по різних колекторах і уникнення перемішування їх при транспортуванні;
- канали для гною повинні мати мінімально необхідну глибину, що значно зменшує витрати на капітальне будівництво і спрощує їх експлуатацію;
- всі операції по прибиранню, зберіганню, розділенню гною на фракції і навантаженні його в транспортні засоби повинні виключати застосування ручної праці, бути повністю механізовані і автоматизовані.
- фільтруючі елементи повинні самоочищатися або мати спеціальні пристрої для їх очищення.

4.2. Обґрунтування технологічної схеми процесу видалення рідкого гною з відділенням рідини

На основі аналізу переваг і недоліків існуючих систем прибирання гною з відділенням рідини, наявних в літературних джерелах і патентних матеріалах, нами були запропоновані і досліджені чотири варіанти можливих технологічних схем відділення гнойової рідини в гнойовому каналі. Це варіанти

відділення рідини на сепаруючих ґратах з періодичним видаленням твердих екскрементів (№ 1), накопичення твердих екскрементів в перфорованих місткостях (№ 2), варіант відділення рідини на похилій площині, з постійним видаленням твердих екскрементів (№ 3) і існуючий (базовий) варіант видалення гною самосплавом з подальшим його розділенням на фракції з використанням вібро-грохота ГІЛ-52 (№ 4).

Оцінка досліджуваних варіантів проводилася за допомогою критеріїв технологічності (коефіцієнт технологічного ефекту) [266] і економічності (сума приведених витрат на одиницю продукції) [145], визначених в результаті експериментальних досліджень і техніко-економічних розрахунків (табл. 4.1). Розрахунки проводилися для молочного комплексу на 1000 корів.

Для всіх технологічних схем прийнятий варіант утримання корів на щілиних під-логах з шириною подовжніх каналів 2 м і завдовжки 70 м.

Результати проведених досліджень показали, що всі досліджувані варіанти техно-логічних схем працездатні. Основні недоліки, виявлені в результаті проведених досліджень наступні:

- по варіанту 1 – забивання отворів ґрат твердими екскрементами тварин і недостатній відтік гнойової рідини;
- по варіанту 2 – застій деяких порцій рідких екскрементів тварин, що потрапили в середину місткості, без стоку до периферії і фільтрації через перфоровані стінки;
- по варіанту 3 – затримка твердими екскрементами тварин руху стоку гнойової рідини до фільтру.

Дані, одержані в результаті проведених техніко-економічних розрахунків (табл. 4.1) показують, що всі досліджувані варіанти технологічних схем економічно ефективніші, ніж базова.

Найменші приведені витрати мають місце у варіанті 2, де зниження приведених витрат обумовлене мінімальними витратами праці на виконання операцій технологічного процесу.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники різних варіантів технологічних схем прибирання гною з відділенням рідини.

№ варіанту	Кількість гною, що переробляється, т/рік	Затрати праці, люд.-год		Загальні капітало-вкладення грн	Питомі капітало-вкладення, грн/т	Експлуатаційні витрати, грн/т	Загальна метало-ємність, т	Приведені витрати, грн/т
		на год	на 1 т гною					
1	20075	4018	0,20	797000	77,3	45,9	75	57,4
2	20075	640	0,03	1269000	85,7	38,9	185	51,8
3	20075	4018	0,2	666400	69,9	43,2	22	53,7
4	20075	804	0,04	1009900	132,9	59,6	10	79,6

Таким чином на підставі пошукових експериментальних досліджень і порівняльних техніко-економічних розрахунків визначена схема технологічного процесу відділення гнойової рідини при видаленні безпідстилкового гною з тваринницьких приміщень (рис. 4.1), що має гноєзбірний канал 1, перекритий ґратчастою підлогою 2, на якому міститься тварина, з розміщеними в ньому мобільними перфорованими контейнерами 3. Відокремлювана рідина по схилу днища гноєзбірного каналу стікає в збірник 4, а тверда частина контейнерами 3 вивантажується з приміщення і транспортними засобами відвозиться на майданчик для складування, а рідка фракція подається в систему зрошування. При використанні в системі зрошування, рідка фракція змішується з поливною водою в необхідних пропорціях.

Аналіз пропонованої технологічної схеми з погляду санітарно-гігієнічних вимог показав, що досліджувана система в достатній мірі відповідає санітарно-ветеринарним вимогам пред'явленим системам прибирання і переробки безпідстилкового гною.

На підставі отриманих результатів були сформульовані наступні завдання подальших досліджень:

- обґрунтувати оптимальні режими технологічного процесу видалення безпідстилкового гною з відділенням гнойової рідини і параметри сепаруючої поверхні контейнерів з урахуванням особливостей виду тварин;

- визначити основні техніко-економічні показники технології видалення безпідстилкового гною з відділенням гнойової рідини.

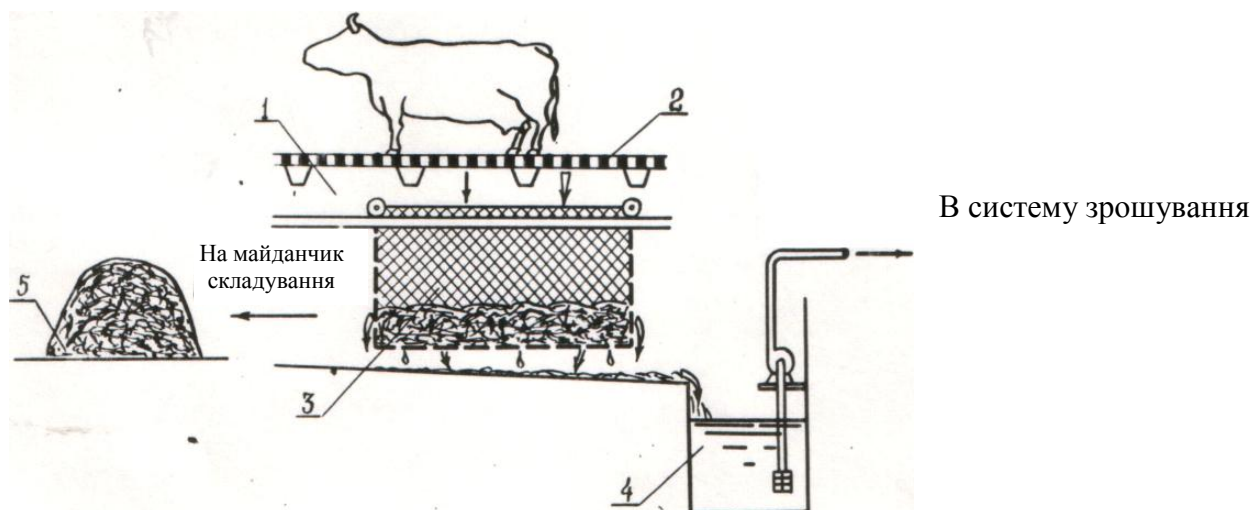


Рис. 4.1. Схема технологічного процесу відділення гнойової рідини при видаленні безпідстилкового гною з тваринницьких приміщень:

1 – гноєзбірний канал; 2 – ґратчаста підлога; 3 – перфорований контейнер; 4 – збірник для гноївки; 5 – майданчик складування твердого гною

4.3. Аналітичні і експериментальні дослідження параметрів сепаруючої поверхні контейнерів

Ґрунтуючись на різниці реологічних властивостей екскрементів, що розділяються, процес руху екскрементів через отвори в днищі контейнера розглядався як перебіг в'язкої неньютонівської рідини (до якої відносяться екскременти ВРХ [156] в круглій циліндровій трубі обмеженої довжини. З метою визначення чинників, що впливають на процес і визначення аналітичної залежності для встановлення максимального допустимого розміру отворів днища контейнера, через які не проходили б порції твердих екскрементів при падінні з певної висоти, була використана математична модель руху неньютонівських рідин в загальному вигляді [249], рішення якої для конкретних умов поставленого завдання одержане у вигляді:

$$\tau_{rz} = \frac{R_1}{2} \left(\frac{dP}{dZ} \right), \quad (4.1)$$

де τ_{rz} – дотичні напруги на стінках отвору; R_1 – радіус отвору в днищі контейнера, м;

$\frac{dP}{dZ}$ – градієнт тиску, Па/м.

Вплив властивостей, реологічних екскрементів ВРХ враховувався за допомогою лінеаризації і аналізу кривих перебігу екскрементів в діапазоні їх вологості 82...88%, на основі яких було визначене їх рівняння реології:

$$\tau^{1/2} = Q^{1/2} + (\eta \frac{dV}{dt})^{1/2}, \quad (4,2)$$

де Q – дотичні напруги в площині зрушення, Па; η – динамічна в'язкість екскрементів, Па, з; $\frac{dV}{dt}$ – градієнт швидкості.

Прирівнюючи (4.1) і (4.2), було одержане рівняння за умови відсутності перебігу екскрементів через отвір радіусом R_1 :

$$[Q^{1/2} + (\eta \frac{dV}{dt})^{1/2}]^2 \geq \frac{R_1}{2} (\frac{dP}{dZ}). \quad (4.3)$$

Величина $\frac{dP}{dZ} = const$ і є відношенням різниці тиску на вході і виході з отвору до товщини пластини з отвором (днища контейнера) і визначається за формулою:

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{m\sqrt{2gH}}{tFl_1}, \quad (4.4)$$

де m – маса падаючої порції екскрементів, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; H – висота падіння, м; t – тривалість удару, с; F – площа отвору м²; l_1 – товщина днища контейнера, м.

Підставляючи (4.4) в (4.3) і замінюючи всі постійні величини, що входять в ці рівняння їх чисельними значеннями, був одержаний вираз для визначення розміру отворів днища контейнера:

$$R_1 \leq 2l_1(7,0 \cdot 10^{-6} \frac{\tau_0}{\sqrt{H}} + f), \quad (4.5)$$

де τ_0 – гранична напруга зрушення екскрементів, Па; f – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Аналіз виразу (4.5) дозволив встановити, що для вологості екскрементів $W = 82...88\%$, $l_1 = 2,0$ мм, $f = 1,45...1,35$, значення діаметру отворів днища контейнера знаходяться в межах 10...12 мм.

З метою визначення оптимального розміру отворів стінок контейнера, через які не видавлювалися б порції твердих екскрементів, розглядався процес тиску шару екскрементів на вертикальні стінки контейнера.

Умова витискування екскрементів через отвір:

$$\tau_{cT} 2\pi R_2 l_2 \geq \pi R_2^2 \sigma_{\theta}, \quad (4.6)$$

де τ_{cT} – дотичні напруги на стінках отвору, Па; R_2 – радіус отвору в стінці контейнера, м; l_2 – товщина стінки контейнера, м; σ_{θ} – бічний тиск, Па.

Вирішуючи рівняння (4.6) для конкретних умов одержано вираз для визначення розмірів отворів в стінці контейнера:

$$R_2 \leq \frac{2l_2\tau_0(\sqrt{1+f^2}+f)}{\rho(\sqrt{1+f^2}-f)-2\tau_0}, \quad (4.7)$$

де ρ – щільність екскрементів, кг/м³; H – висота гною в контейнері, м.

Аналіз виразу (4.7) дозволив встановити, що при вологості екскрементів в контейнері $W = 83...84\%$, $l_2 = 2,0$ мм, для глибини контейнера 1,0 м, значення діаметру отворів стінок контейнера знаходяться в межах 15...22 мм.

З метою перевірки і уточнення оптимальних розмірів отворів сепаруючої поверхні днища і стінок контейнерів, визначених на основі аналітичних досліджень, розроблена програма, методика до виготовленої спеціальної лабораторної установки, що моделюють процеси проходження порцій твердих екскрементів через отвір в днищі і стінках контейнера. Установки дозволили змінювати і фіксувати досліджувані параметри в заданих межах.

З метою скорочення кількості дослідів було використане планування експерименту типу B і $B4$ [181].

Значення змінних при проведенні експериментальних досліджень процесу проходження екскрементів через отвір в днищі контейнера при падінні з певної висоти приведені в таблиці 4.2.

За критерій оптимізації була прийнята маса екскрементів, що пройшла через отвір.

Чисельні значення змінних при проведенні досліджень процесу продавлювання екскрементів через отвір у вертикальній стінці контейнера приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 – Значення змінних величин.

№ п/п	Змінні величини	Позна- чення	Розмір- ність	Значення величини по рівнях		
				-I	0	+1
I.	Діаметр отворів днища контейнера	D_1	мм	5,0	15,0	25,0
2.	Висота падіння порції екскрементів	l_2	м	2,0	2,5	3,0
3.	Вологість екскрементів	W	%	82	85	88
4.	Товщина днища контейнера	l_1	мм	2,0	6,0	10,0

Таблиця 4.3 – Чисельні значення змінних величин.

№ п/п	Змінні величини	Позначення	Розмір- ність	Значення величини по рівнях		
				-1	0	+1
1.	Діаметр отвору стінок	D_2	мм	10	15	20
2.	Товщина стінок контейнера	l_2	мм	2,0	6,0	10,0
3.	Вологість екскрементів	W	%	82	83	84

Як критерій оптимізації прийнято максимальний тиск P , при якому починався процес витискування екскрементів через отвір.

В результаті обробки експериментальних даних методами математичної статистики із застосуванням ЕОМ, одержані математичні моделі у вигляді рівнянь регресії, що адекватно описують досліджувані процеси в наступному вигляді:

— для днища контейнера

$$m = 922,575 - 7,680D_1 - 32,231H - 21,321W + 13,792 l_1 + 0,067 D_1^2 + 0,344D_1H + 0,087 D_1W - 0,231D_1l_1 + 4,742 H^2 + 0,12HW - 0,616H l_1 + 0,126W^2 - 0,157W l_1 + 0,202l_1^2; \quad (4.8)$$

– для стінок контейнера

$$m = -69311,5 - 1979,65D_2 + 5399,50 l_2 + 17245,64W + 8,85 D_2^2 - 20,930D_2l_2 + 20,65 D_2W - 1,20 l_2^2 - 57,27W l_2 - 106,83W_2. \quad (4.9)$$

Для вивчення поверхонь відгуку, що описуються рівняннями одержаними регресії, проводилося канонічне перетворення моделей (4.8) і (4.9) за допомогою двовимірних перетинів (рис. 4.2, 4.3) проводився їх аналіз, який показав, що оптимальний розмір отворів (діаметр) днища контейнера повинен знаходитися в межах $D_1 = 6... 7$ мм, стінок контейнера $D_2 = 13... 15$ мм.

Із рівнянь (4.8) і (4.9) випливає, що чисельні значення діаметру отворів, одержаних експериментальним шляхом на 30...40 % нижче розрахункових значень (по формулах (4.5) і (4.7)). Причина полягає у ряді допущень і спрощень, прийнятих нами при виведенні формул (4.5) і (4.7), тому в практичних обчисленнях необхідно користуватися рівняннями (4.8) і (4.9).

4.4. Виробнича перевірка технологічної лінії видалення гною з відділенням рідини

Для підтвердження достовірності приведених теоретичних і експериментальних досліджень і визначення параметрів і режимів роботи запропонованої технології, була виготовлена виробнича експериментальна установка, схема і загальний вид якої приведені на рис. 4.4.

Установка мала п'ять контейнерів місткістю $2,0 \text{ м}^3$ розмірами $1,0 \times 2,1 \times 1,0$ м, встановлених на каретках на рейковій доріжці.

Контейнери поділені на секції з різними параметрами і площею сепаруючої поверхні. Установка передбачала накопичення гною в контейнерах, збір відокремлюваної рідини, транспортування і спорожнення контейнерів. Установка змонтована в гноєсховищі під підлогою на комплексі по вирощуванню нетелей.

Дослідженнями передбачалося вивчення процесів накопичення маси гною в контейнерах динаміки відділення, втрати поживних речовин з гною в процесі зберігання, вивчався температурний режим і фізико-механічні властивості фракцій, що розділяються.

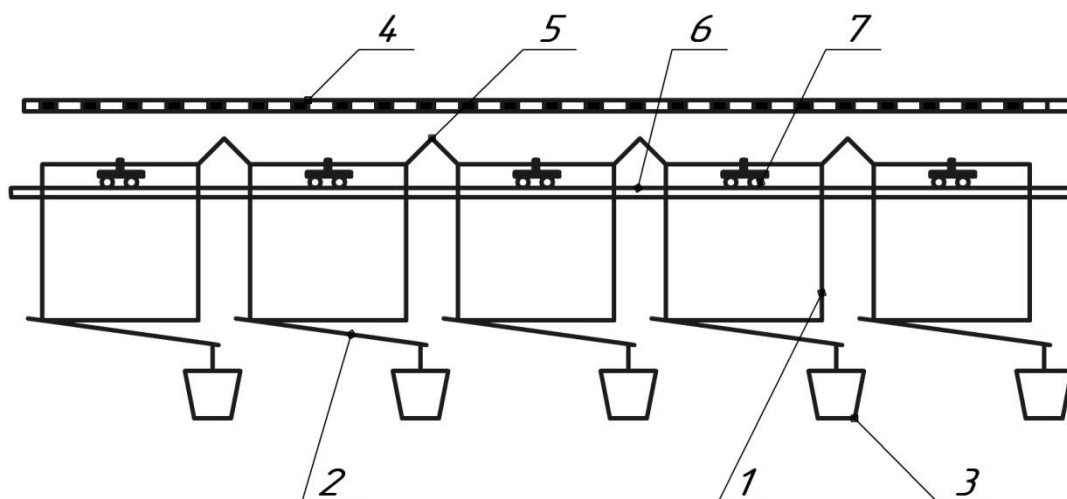


Рис. 4.4. Схема виробничої експериментальної установки:

1 – перфоровані контейнери; 2 – піддони; 3 – місткості для збору рідини;
4 – гратчаста підлога; 5 – козирки; 6 – рейковий шлях; 7 – опорні колеса.

Тривалість виробничої перевірки склала 2 роки.

В результаті проведених досліджень встановлено:

- тривалість заповнення контейнерів залежить від місткості контейнерів, способу утримання, віку тварин і складає 3...5 місяців (контейнери місткістю $2,0 \text{ м}^3$);
- розмір отворів сепаруючої поверхні контейнерів є визначальним чинником, що впливає на процес відділення гнойової рідини і повністю узгоджується з розрахунковими значеннями;
- вологість відокремленої рідини складає $W = 96.97\%$;
- кількість відокремленої рідини складає 25-30% від кількості гною накопичуваного в контейнерах;
- середнє значення вологості гною після заповнення контейнерів знаходиться в межах ($W = 81... 82\%$);
- втрати азоту з гною в контейнерах склали 3,3% від первинного вмісту азоту в екскрементах тварин.

Основні залежності, одержані в результаті досліджень, приведені на рис. 4.5, рис.4.6.

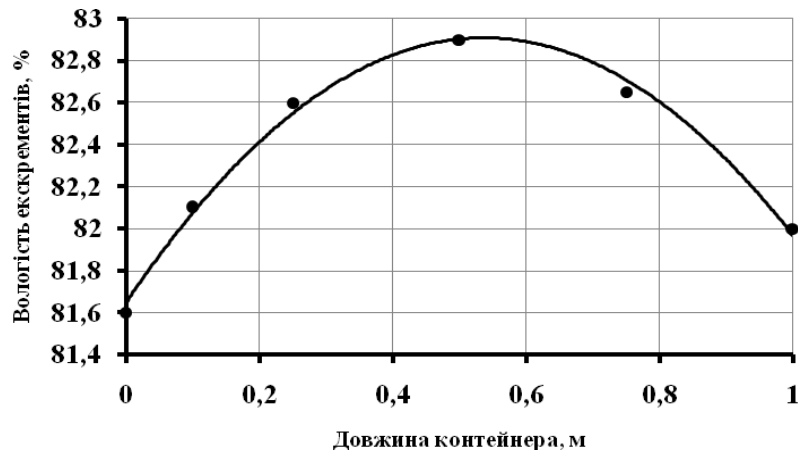


Рис. 4.5. Розподіл вологості екскрементів по довжині контейнера в кінці процесу нагромадження

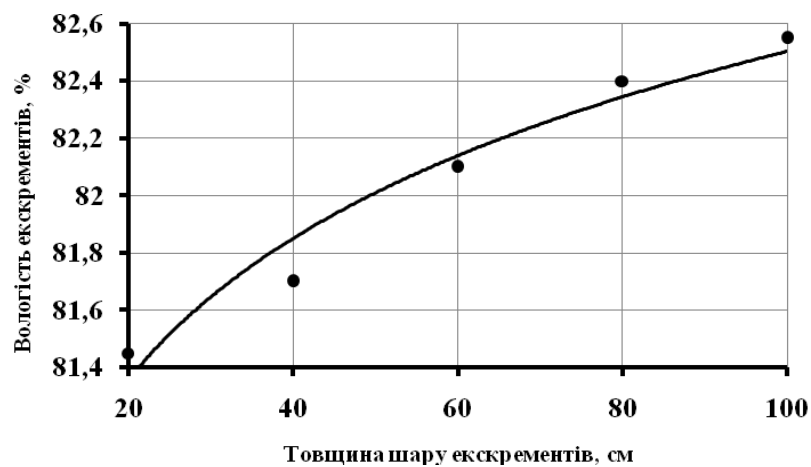


Рис. 4.6. Розподіл вологості екскрементів по висоті контейнера в кінці процесу нагромадження

Виробничі випробування дозволили виявити можливі причини відмови працездатності системи і визначити наступні вимоги, що пред'являються до експлуатації запропонованої технологічної лінії:

- ретельно гідроізолювати днища гноєзбірних каналів;
- забезпечити попадання в контейнери всього гною, що поступає через щілини підлоги;
- ретельно утеплювати гноєзбірні канали в зимову пору року, не допускати замерзання гною в контейнерах і рідкої фракції в каналах;
- не допускати переповнювання контейнерів;
- при розвантаженні обов'язково промивати контейнери дезинфікуючою рідиною;
- не допускати попадання твердої фракції на днища гноєзбірних каналів;

– дотримувати техніку безпеки при розвантаженні контейнерів.

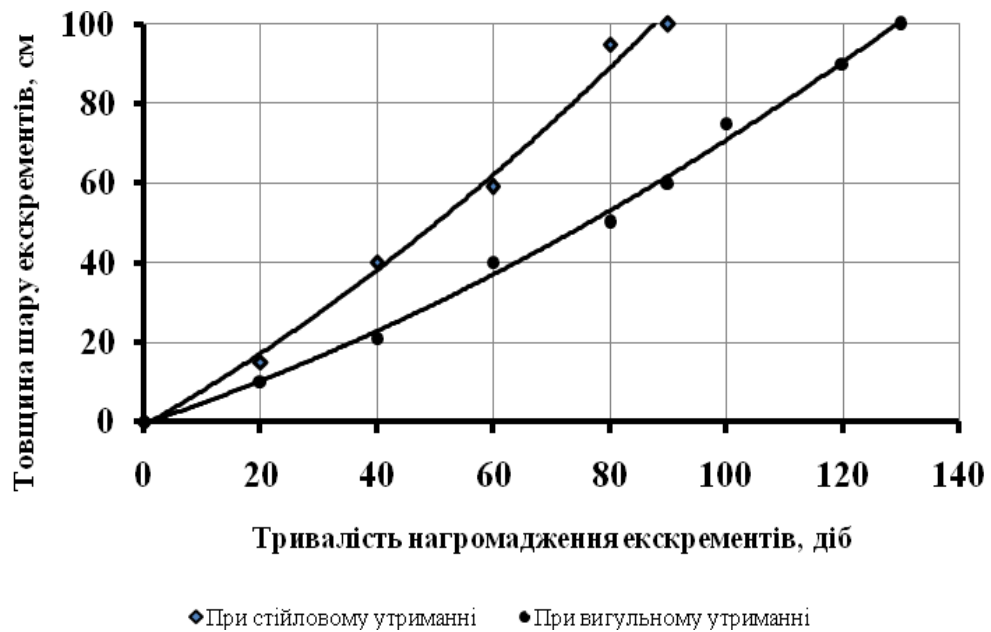


Рис. 4.7. Динаміка нагромадження екскрементів в контейнері

Результати виробничої перевірки показали, що умови проходження досліджуваних процесів повністю відповідають розрахунковим залежностям і параметрам, визначеним аналітичними і експериментальними дослідженнями.

Для визначення економічної ефективності досліджуваного способу видалення гною з відділенням рідини, були виконані розрахунки техніко-економічних показників досліджуваного способу і існуючих систем видалення гною, що включає прибирання гною способом самосплаву і розділення його на фракції віброгрохотом ГІЛ-52 і збором гною в гноєсховищі, що знаходиться під підлогою і розділенням його на фракції віброгрохотом ГІЛ-52.

Критерієм оптимізації відносної ефективності досліджуваних варіантів технологічних схем служила сума приведених витрат. Техніко-економічні розрахунки виконувалися на підставі існуючих методик [145, 264].

Результати проведених розрахунків зведені в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні техніко-економічні показники

№ п/п	Показники	Системи, що існують		Запропонована технологія
		Самосплав + ГІЛ-52	Гноєсховище під підлогою + ГІЛ-52	
1.	Об'єм стоків, що переробляються, т/год	24090	19350	16060
2.	Вологість гною на виході з ферми % твердої фракції рідкої фракції	93...95 88...91 97...98	93...95 88...91 97...98	81...83 97...98
3.	Питомі капіталовкладення, грн./т	12,0	16,0	7,98
4.	Експлуатаційні витрати, грн./т	5,15	6,87	3,43
5.	Затрати праці, люд.-год./т	0,057	0,057	0,023
6.	Приведені витрати, грн/т	69,6	92,7	46,3
7.	Економічний ефект, грн	-	-	930000

Згідно з даними таблиці 4.4, розрахунковий очікуваний економічний ефект (для комплексу на 800 корів) складе близько 930000 грн/рік, проте застосування запропонованої технології дозволить одержати додатковий ефект 29000 грн./рік за рахунок економії наповнювача, необхідного для приготування компосту. Таким чином загальний економічний ефект від впровадження запропонованої технології на комплексі із утриманням 800 корів складе близько 122 тис. грн./рік.

Ефект досягається за рахунок зниження витрат праці на 60% (відсутність необхідності щоденного обслуговування контейнерів), загальних капіталовкладень на 30% за рахунок відсутності в технологічній лінії окремого гноєсховища (зберігання гною здійснюється в контейнерах), приведених витрат на 34% і кількість наповнювача (торфу, соломи) при компостуванні на 60...70%.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ І ТЕХНІЧНІ РОЗРОБКИ ПРОЦЕСІВ ПІДГОТОВКИ БЕЗПІДСТИЛКОВОГО ГНОЮ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ НА ЙОГО ОСНОВІ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ

Безпідстилковий гній великої рогатої худоби і свиней, пташиний послід, органічні відходи комунального господарства і промисловості без попередньої підготовки використовувати як органічні добрива із застосуванням серійної сільськогосподарської техніки в природному вигляді неприйнятно: гнойова маса містить крупні домішки, сторонні вклю-чення, при зберіганні в сховищах остання розділяється на три шари (легкі включення, рідина, тверді включення, що осіли на дно сховища), в безпідстилковому гної міститься патогенні мікроорганізми, насіння бур'янів і інше. У зв'язку з цим розробка технологій і технічних засобів для підготовки безпідстилкового гною до використання як органічне добриво і приготування на його основі твердих органічних добрив є невід'ємною частиною інтенсифікації процесів застосування органічних добрив в сільськогосподарському виробництві.

5.1. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів віддільника крупних включень безпідстилкового гною

Використання безпідстилкового гною в його природному вигляді без попередньої підготовки ускладнене зважаючи на наявність в рідкому гною різного роду домішок у вигляді залишків грубого корму, силосу, качанів кукурудзи, коренеплодів і інших домішок, лінійні розміри яких досягають 100... 150 мм і інше. Наявність подібного роду домішок ускладнює роботу технічних засобів, що здійснюють різні технологічні операції. Тому обґрунтування технологічної схеми і параметрів віддільника крупних включень з рідкого гною є складовою частиною вирішуваних задач по інтенсифікації процесів утилізації безпідстилкового гною.

На підставі виконаних теоретичних передумов і пошукових досліджень [113, 245, 266] вибрана конструкційно-технологічна схема віддільника крупних

включень (рис. 5.1). Висока надійність здійснення процесу відділення крупних домішок досягається за рахунок розміщення колосникових ґрат над барабаном і закріплення до елементів ґрат, знизу, в місці входу граблин барабана одбивачів, виконаних у вигляді призм [113]

У вказаному пристрої найкращим чином поєднується самоочистка граблин від крупних включень і знімання їх з поверхні барабана. Взаємозв'язок між конструкційно-технологічними параметрам і пропускною спроможністю віддільника виражається залежністю:

$$Q = \mu \sqrt{2gH} [mbL_0K_0 + \delta L_{kp}K_3] \quad (5.1)$$

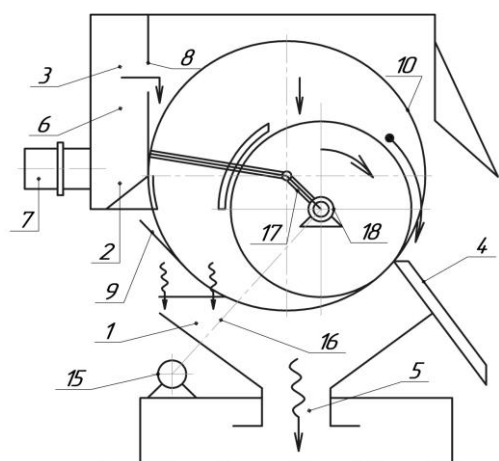
де μ – коефіцієнт проходження гною через щілинні насадки; H – шар гною під ґратами, м; m – число щілин колосникових ґрат; b – ширина щілини, м; L_0 – довжина даної щілини, м; K_0 – коефіцієнт донного ускладнення потоку; δ – зазор між ґратами і поверхнею барабана, м; L_{kp} – довжина колосникових ґрат, м; K_3 – коефіцієнт бічного ускладнення потоку.

Коефіцієнти K_0, K_3 визначаються з виразів:

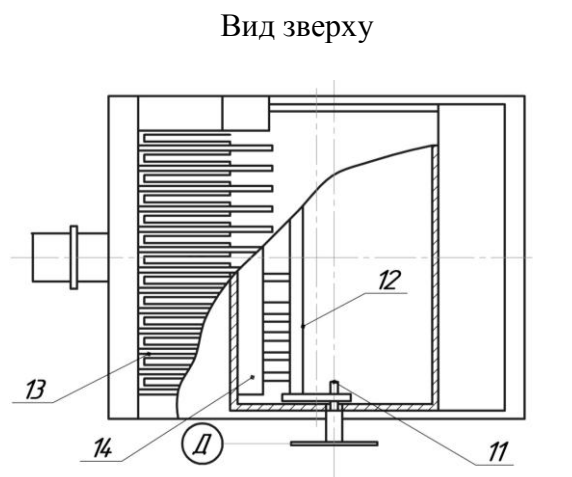
$$K_0 = 1 - \frac{h_0 L_0 M}{2\pi R_r^2}, \quad (5.2)$$

$$K_3 = 1 - \frac{r^2 M}{2R_{kp}b}, \quad (5.3)$$

де h – висота відбивача, м; M – число секцій граблин; R_r – довжина граблин, м; r – радіус перетину граблин, м; R_{kp} – радіус колосникових ґрат, м.



а





б

Рис. 5.1. Схема (а) та загальний вид (б) віддільника крупних включень рідкого гною:

1 – корпус; 2 – стінка; 3 – входне вікно; 4 – відвідний лоток для включень; 5 – відвідний патрубок; 6 – порожнина; 7 – підвідний патрубок; 8 – колосникові ґрати; 9 – відбивач; 10 – барабан; 11 – вісь; 12 – утримувач граблин; 13 – граблина; 14 – втулка; 15 – мотор-редуктор; 16 – ланцюгова передача; 17 – кривошип; 18 – поворотная втулка з важелем.

Номинальна частота обертання барабана з урахуванням концентрації включень в об'ємі гною і часу циклу визначається за формулою:

$$n = \frac{0,5hKHm}{(1-\gamma)\eta R'_{экв} \frac{\rho_{вкл}}{\rho_n} [mbL_0(1 - \frac{h_0L_0M}{2\pi R_r^2} + \delta L_{kp}(1 - \frac{r^2M}{2R_{kp}b})]}, \quad (5.4)$$

де $R'_{экв}$ – еквівалентний опір колосникових ґрат, м; $\frac{\rho_{вкл}}{\rho_n}$ – відхилення

щільності включень до щільності гною.

Експериментальні дослідження виконувалися на лабораторній установці, виготовленій згідно схеми, приведеної на рис. 5.1.

Якісні показники ефективності процесу визначалися шляхом уловлювання в матеріалі солом'яних включень, порції яких були заздалегідь підготовлені.

Експерименти проводили на солом'яних включеннях довжиною 50, 150, 250 мм.

Методика проведення досліджень полягала в наступному. Солом'яні включення заданої довжини в певній кількості закладалися в патрубок

віддільника. Потім включався насос і оброблюваний матеріал по патрубку подавався на робочий орган віддільника через порожнину. При обертанні барабана з певною частотою граблини проходячи своїми вільними кінцями між колосниками ґрат підхоплюють включення, ховаються у верхній частині барабана і очищаються, а солом'яні включення знімаються з поверхні барабана чистиками.

Далі прораховується число уловлених соломин і визначається ефективність процесу відділення по наступній залежності:

$$E = \frac{n_1}{n_2} 100\%, \quad (5.5)$$

де E – ефективність відділення %; n_2 – початкове число соломин, шт; n_1 – число уловлених соломин, шт;

Експериментальними дослідженнями встановлено, що на якісні показники процесу відділення крупних домішок впливає ширина щілини між колосниками і частота обертання барабана. Найбільша ефективність відділення крупних домішок (99,2%) досягається при мінімальній ширині щілини 10 мм; із збільшенням останньої до 70 мм ефективність відділення знижується до 49,5% (рис. 5.2).

Необхідна пропускна спроможність віддільника, виражена залежністю (5.1) обумовлюється раціональним взаємозв'язком основних конструкційних і технологічних параметрів; на неї переважно впливають: ширина між колосниковими ґратами, діаметр барабана і його частота обертання. Так, із збільшенням ширини щілини від 10 до 70 мм пропускна спроможність збільшується в діапазоні 47,1... 82, 14 м³/год ($n = 30 \text{ хв}^{-1}$), а із збільшенням частоти обертання від 10 до 50 - зменшується в діапазоні 52... 46, 6 м³/год ($b = 15\text{мм}$) (рис. 5.3, 5.4).

Технологія відділення крупних домішок застосовується в системах підготовки безпідстилкового гною і пташиного посліду до анаеробного його зброджування, дозволяє по-низити загальні витрати енергії в 2, 4. ..2, 5 рази в порівнянні з подрібненням крупних включень при незначному зниженні виходу

газу. Крім того, відділення крупних домішок з безпідстилкового гною або пташиного посліду дозволяє значно підвищити надійність роботи технологічного устаткування (насосні установки, дозуючі і розподіляючі пристрої).

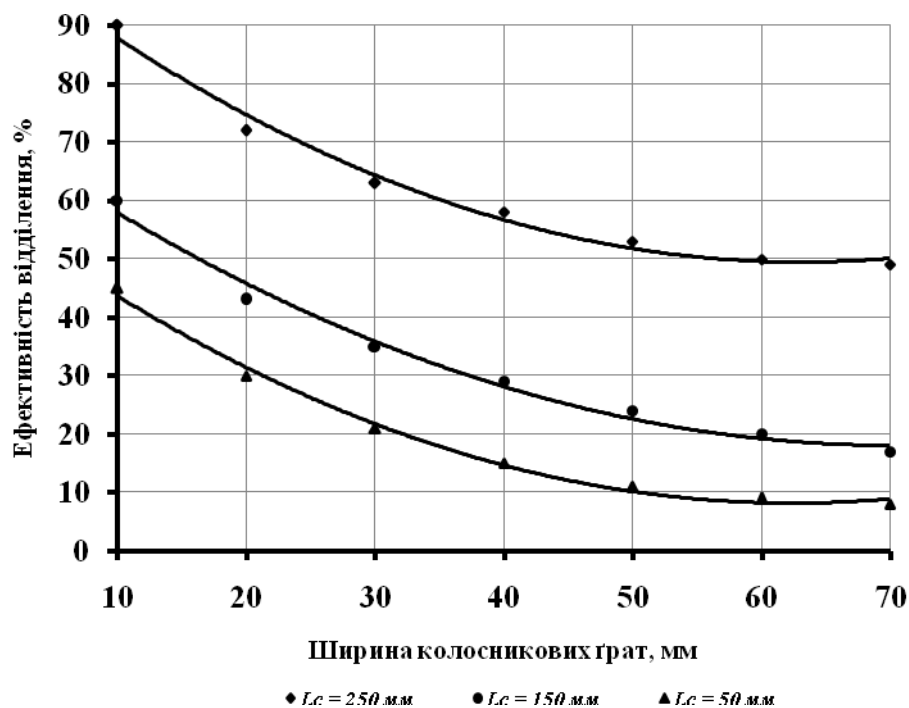


Рис. 5.2. Графіки залежності ефективності відділення E (%) від ширини щілини колосникових ґрат b (мм), при довжині включень: 1 – $L_c = 50$ мм; 2 – $L_c = 150$ мм; 3 – $L_c = 250$ мм і частоті обертання барабана $n = 30$ хв.⁻¹

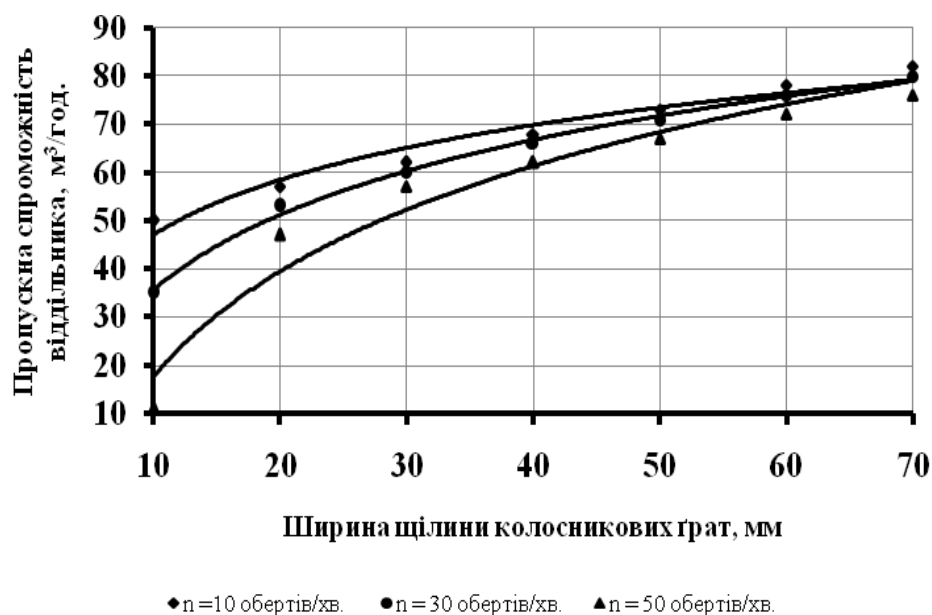


Рис. 5.3. Графіки залежності пропускної спроможності віддільника Q ($\text{м}^3/\text{год}$) від ширини щілини колосникових ґрат b (мм) при частоті обертання барабана n : 1) $n = 10 \text{ хв.}^{-1}$; 2) $n = 30 \text{ хв.}^{-1}$; 3) $n = 50 \text{ хв.}^{-1}$

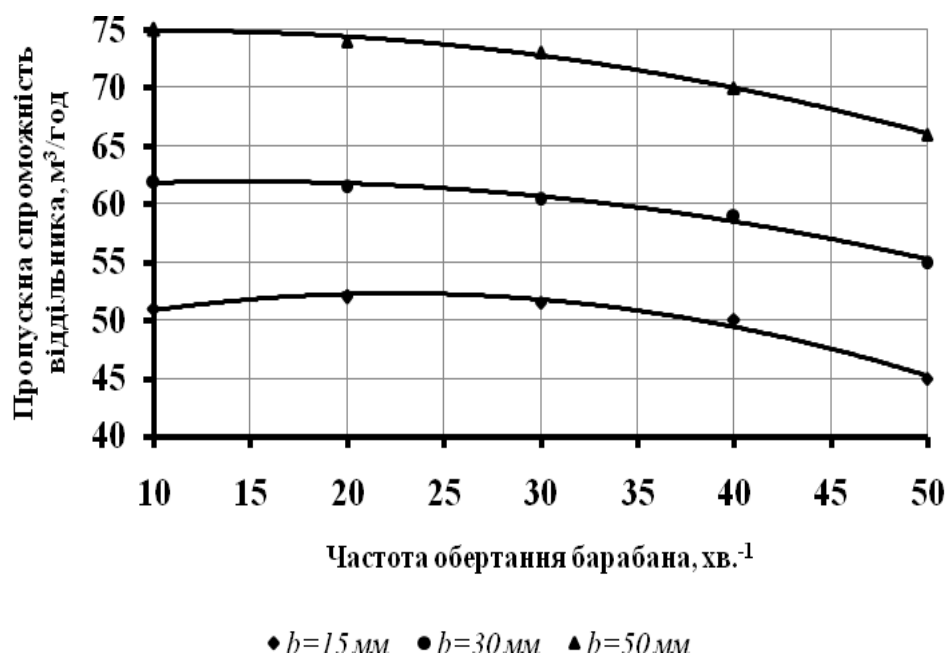


Рис. 5.4. Графік залежності пропускної спроможності віддільника Q ($\text{м}^3/\text{год}$) від частоти обертання барабана n (хв.^{-1}), при ширині щілини ґрат: 1 – $b = 15 \text{ мм}$; 2 – $b = 30 \text{ мм}$; 3 – $b = 50 \text{ мм}$

5.2. Дослідження процесу перемішування безпідстилкового гною у відкритих сховищах лопатевими мішалками

Аналіз матеріалів досліджень, виконаних Азямовою Е. М., Кузьменко І.І., Мільгюсом Л.В., Берглундом С., Зінка Р., Штабі М. і ін. ученими показав, що при перемішуванні гнойової маси в сховищах відкритого типу об'ємом понад 500 м^3 перевагу слід віддавати механічним перемішуючим пристроям, що мають вигідніші якісні і енергетичні показники в порівнянні із застосуванням для перемішування гідравлічних або пневматичних методів [16, 89, 90, 121, 308]. Нами обґрунтований спосіб перемішування гнойової маси, забезпечуючи залучення в цей процес твердих часток гною, що спливли і частинок, що знаходяться на дні сховища. Він забезпечується за допомогою турбінної мішалки, зануреної на половину глибини перемішувачого матеріалу, розміщеної на вертикальному приводному валу.

Виходячи з умови, що на певній глибині під впливом всіх прикладених сил тверда частинка буде знаходитися в зваженому стані, де $\frac{dU}{d\tau}$ відносна швидкість потоку, необхідна для її утримань в зваженому стані визначиться за формулою:

$$U = 3,62K \sqrt{\frac{d(\rho - \rho_{mb})}{\rho K}}, \quad (5,6)$$

де d – діаметр частинок гною, м; ρ, ρ_{mb} – щільність рідини і частинок відповідно кг/м³.

Для турбінних мішалок значення осьової швидкості визначається за формулою:

$$U = \frac{\pi d_m n_m}{1 + \sin^2 \alpha} \sin \alpha \cos \alpha, \quad (5,7)$$

де d_m – діаметр робочого органу мішалки; n_m – частота обертання робочого органу;

α – кут нахилу лопаток.

Прирівнявши рівняння (5.6) і (5.7), а також вводячи коефіцієнт $K=3,4L+1$ запропонований Л.Мільчюсом, що враховує гасіння швидкості потоку на глибині L , одержимо співвідношення, що дозволяє визначити параметри і режими роботи мішалки, що забезпечує транспортування частинки на задану глибину:

$$\frac{\pi d_m n_m}{1 + \sin^2 \alpha} \sin \alpha \cos \alpha = 3,62K \sqrt{\frac{d(\rho - \rho_{mb})}{\rho K}}. \quad (5,8)$$

Аналіз даного співвідношення дозволив визначити оптимальне значення кута нахилу лопатки – 42⁰. Визначений також (для гноєсховищ завглибшки 2, 5... 3,0 м діаметру грудок 0, 009... 0,012 м при частоті обертання робочого органу 2, 5... 5, 0 с⁻¹) діапазон зміни діаметру робочого органу (0, 5... 0, 9 м), що забезпечує оптимальне протікання процесу перемішування.

Отримана залежність для визначення нерівномірності перемішування добрив, виходячи із забезпечення нерівномірності розподілу добрив по ширині і за площею поля:

$$V_{nep} = \sqrt{\frac{V_S^2 + V_X^2}{1 + V_X^2}} - V_{nod}, \quad (5.9)$$

де V_X , V_S – нерівномірність розподілу добрив по ширині і за площею поля (у відносних одиницях); V_{nod} – нерівномірність подачі маси.

Задана початковими вимогами нерівномірність внесення в розмірах 25% може бути досягнута при використанні серійних цистерн-розкидачів, що мають поперечну (22...24%) і подовжню (8...9%) нерівномірності розподілу і мішалки з нерівномірністю перемішування до 5% при їх спільній роботі.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що в початковий період перемішування відбувається вирівнювання концентрації сухої речовини добрив за всім обсягом, тобто відбувається зменшення коефіцієнта варіації. У безпосередній близькості від робочого органу цей процес проходить інтенсивніше в порівнянні з шарами, що знаходяться на деякій відстані від мішалки.

Дослідженнями залежності неоднорідності добрив від тривалості їх перемішування на відстані від осі мішалки 0,5, 1,0, 1,5 м встановлено, що тривалість перемішування рідких органічних добрив, що знаходяться в зоні безпосередньої близькості від ротора мішалки, повинна дорівнювати 40 с. В цьому випадку на відстані 0,5 м від осі мішалки нерівномірність перемішування не перевищує 5%.

З погляду ефективності перемішування вигідніше застосовувати робочі органи великих діаметрів, що працюють на малих швидкостях, ніж робочі органи малих діаметрів, що працюють на високих швидкостях.

Якщо мобільні перемішуючі установки мають частоту обертання робочого органу в межах 2,5...5,0 с⁻¹, то стаціонарні установки – в 5...10 разів менше при відповідному збільшенні діаметру лопатей перемішуючого пристрою.

Так, в дослідному господарстві ННЦ «ІМЕСГ» с. Мар'янівка на молочній фермі з безпідстилковим утриманням тварин на ґратчастих підлогах і

видаленням гною самосплавом була встановлена лопатева стаціонарна мішалка з частотою обертання робочого органу $0,5 \text{ c}^{-1}$ і діаметром 1,5 м.

Дослідженнями встановлено, що по закінченню 30 хв. відбувається розділення добрив на шари з вологістю, яка вже не дозволяє нормально функціонувати насосам, технічних засобам внесення.

З метою визначення періодичності перемішування рідких органічних добрив під час зберігання і перед вивантаженням вивчали процес їх відстоювання і розшарування після перемішування. Для цього за допомогою спеціального пробовідбірника відбирали для аналізу зразки добрив під час відстоювання з раніше перемішаного об'єму з інтервалом відбору проб одна година.

Дані експериментальних досліджень показують, що свинячий гній вологістю 97%, що знаходився тривалий час в гноєсховищі, після перемішування швидко розшаровується.

Встановлено, що вологість шару, що осів, на глибині 2,4 м (100 мм від дна гноєсховища) через 1 годину відстоювання дорівнює 87%, Після двох годин відстоювання вологість цього шару зменшується до 86% і із збільшенням часу асимптотично наближається до 85%. В інших шарах найбільш істотна зміна вологості також відбувається протягом перших двох годин відстоювання. Із збільшенням тривалості відстоювання відбувається зниження вологості верхнього спливаючого шару і утворення монолітної кірки. Після 30 хвилинного відстоювання відбувається розділення гнойової маси на шари з вологістю, яка вже не дозволяє нормально функціонувати насосам, машинам для внесення (вологість шару, що осів, рівна 91%). Тому інтервал між перемішуванням гною і його вивантаженням не повинен перевищувати 30 хвилин для забезпечення повного вивантаження сховища, рівномірного розподілу добрив по поверхні поля.

Під час зберігання гнойової маси в теплу пору року перемішування раціонально проводити через 10...12 днів. У цей період верхній шар, що сплив, ще не утворює міцної монолітної кірки, крім того, протягом цього часу

проростає насіння бур'янів, що потрапили після перемішування в сприятливі умови.

5.3. Підготовка безпідстилкового гною шляхом подрібнення органічних домішок

Стійка робота дощувальних апаратів можлива при розмірі фракції не більше 10... 15 мм, ще жорсткіші вимоги пред'являються до маси використовуваної для внутрігрунтового внесення і біопереробки, розмір фракцій в якій не повинен перевищувати 10 мм [11, 15, 27, 61, 66, 88, 156, 203].

Аналіз конструкторсько-технологічних схем технічних засобів для подрібнення включень в безпідстилковому гною показав, що існуючі технічні засоби не забезпечують необхідної якості підготовки гнойової маси за ступенем подрібнення включень відповідно до початкових вимог. Обумовлено це тим, що у вживаних засобах руйнування включень здійснюється, як правило, одним з наступних принципів: різанням, розривом, зламом, що є малоефективним і недостатнім для руйнування в'язких і еластичних включень безпідстилкового гною [98, 222, 291].

Відповідно до цього нами висунута гіпотеза – досягти необхідної якості підготовки рідкого гною можна за рахунок створення агрегату, який поєднував би в собі вказані принципи руйнування включень за рахунок тривалішого перебування матеріалу, що підлягає обробці, на подрібнюючій поверхні. На підставі аналізу до переваг і недоліків, властивих відомим технічним засобам з подрібнюючими робочими органами, нами була вибрана конструкційно-технологічна, схема насосаподрібнювача для здійснення процесу переробки рідкого гною в однорідну за фракційним складом масу (рис. 5.7).

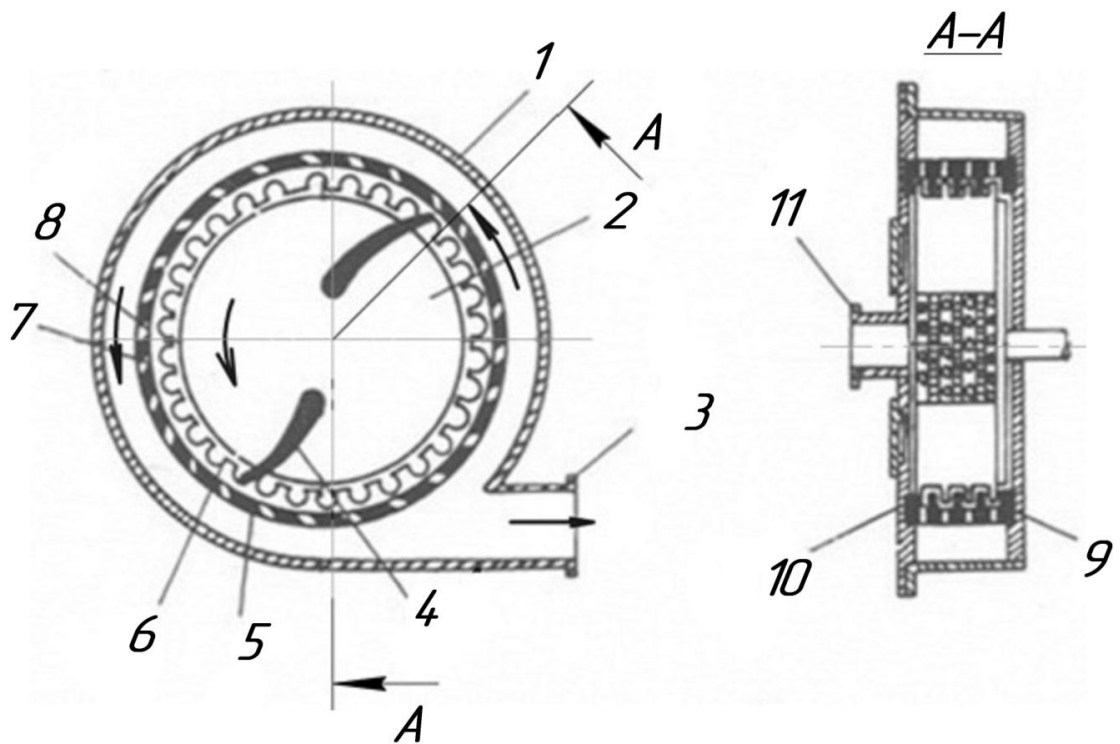


Рис. 5.7. Схема насоса-подрібнювача:

1 – корпус; 2 – робоче колесо; 3 – напірний патрубок; 4 – лопатей; 5 – (фігурне цилін-дрове кільце; 6 – первинний протиріжучий елемент; 7 – отвори; 8 – вторинний протиріжучий елемент; 9 – кільцеві пази; 10 – зуби ножів.

Рідкий гній, поступаючи в робочу порожнину насоса-подрібнювача, відкидається лопатями на первинний протиріжучий елемент, рідка фракція при цьому проходить крізь кільцеві пази і вихідні тангенційні отвори, включення ж затримуються на кільцевих пазах, піддаються подрібненню і далі поступають на вторинний подрібнювальний елемент, де піддаються додатковій обробці.

Включення знаходяться в робочій порожнині до тих пір, поки не досягнуть величини, відповідної з діаметром вихідних отворів. Руйнування включень здійснюється різанням, розривом, зломом, стиранням, плющенням.

Експериментальні дослідження за визначенням впливу змінних чинників на енергетичні і якісні показники процесу, що виконується насосом-подрібнювачем, показали, що залежність $N=f(Q)$, $H=f(Q)$, $\eta=f(Q)$, подібна аналогічним залежностям фекальних насосів, але з різким зменшенням подачі Q , натиску H при одночасному зростанні споживаної потужності N , η зниженні коефіцієнта корисної дії. Це цілком узгоджується з теоретичними висновками [98, 182, 222].

Істотне значення на робочу характеристику насоса-подрібнювача має частота обертання робочого колеса і діаметр вихідних отворів. На рис. 5.8 приведений зведений графік впливу частоти обертання на основні показники насоса-подрібнювача.

З метою визначення оптимальних параметрів і режимів роботи насоса-подрібнювача розв'язувалося компромісне завдання, в якому треба було знайти значення чинників, при яких забезпечується заданий агротехнічними вимогами ступінь подрібнення при мінімальних витратах потужності. Відповідно до цього як критерії оцінки оптимізації були прийняті потужність і ступінь подрібнення.

Згідно з результатами досліджень найменші витрати потужності при заданому початковими вимогами ступені подрібнення, досягаються при наступних значеннях змінних чинників: діаметр робочого колеса – 340 мм, діаметр вихідних отворів - 8 мм, частота обертання – $16,48 \text{ с}^{-1}$. Подача насоса-подрібнювача при цьому складає $0,033 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

При даних параметрах насоса-подрібнювача забезпечуються наступні якісні показники процесу (табл. 5.1).

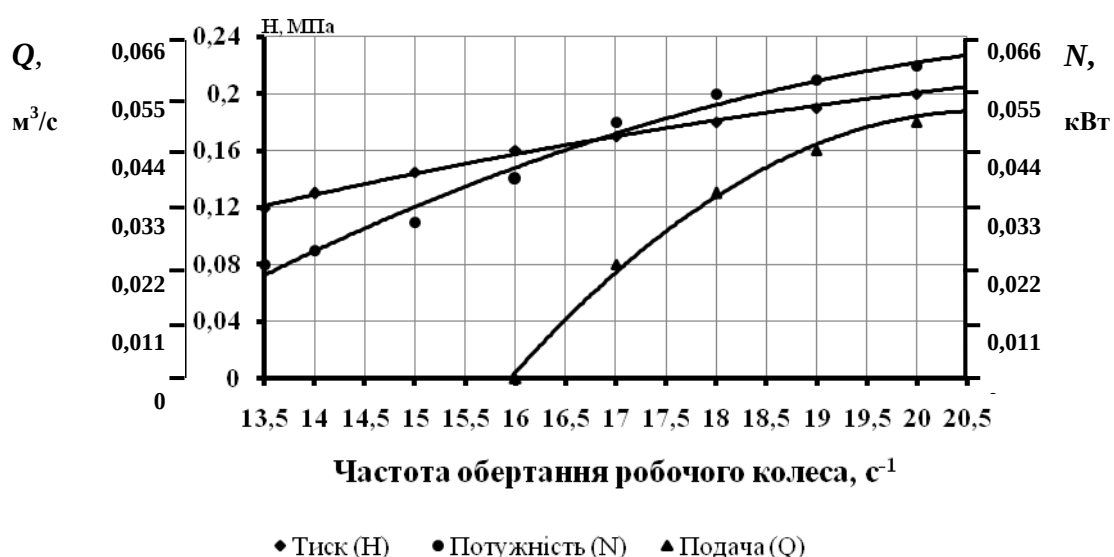


Рис. 5.8. Залежність потужності (N), тиску (H) і подачі (Q) від частоти обертання робочого колеса при діаметрі робочого колеса – 340 мм, діаметрі вихідних отворів – 8 мм, вологості маси – 94%. Потужність і тиск визначалися при подачі $0,022 \text{ м}^3/\text{с}$, подача при тиску $0,16 \text{ МПа}$. Діаметр робочого колеса –

340 мм. Діаметр вихідних отворів – 8 мм. Вологість маси – 94 %. N, H при $Q=0,022\text{м}^3\cdot\text{с}^{-1}$, Q при H=0,15МПа.

Таблиця 5.1 – Якісні показники роботи насоса-подрібнювача.

Розмір частинок, мм	До 5 мм	6-10 мм	10-15 мм	15-20 мм
Процентний вміст, %	64,82	34,82	0,73	0,03

Як видно з таблиці 5.1, в загальній масі частинки до 10 мм складають 34,42%, до 5 мм - 64,82%. Проте в загальній масі є включення 15...20 мм. Це тонковолокнисте (розщеплені уздовж волокон) включення, що не перевищують товщину шерсті тварин; але їх відсоток порівняно малий. Загальний вид органічних включень до і після подрібнення приведений на рис. 5.9, 5.10.

У початковій масі гною, включення завдовжки 100...150 мм (що є в основному причиною забивання технічних засобів, використовуваних при різних технологіях застосування беспідстилкового гною) складають 40...50% від їх загальної кількості.

Під час випробувань перевірялася можливість здійснення процесу у виробничих умовах, визначалася працездатність агрегату, виявлялися можливі причини відмов, знімалися робочі характеристики агрегату, фіксувалася якість підготовки маси.

Виробнича перевірка насоса-подрібнювача показала, що нормальне протікання процесу забезпечується при вологості маси не нижче 91,65%, ступінь подрібнення при цьому не перевищує 10 мм.

Результати дослідження були основою при обґрунтуванні початкових вимог на розробку подрібнювача беспідстилкового гною ИН-Ф-50, який за результатами приймальних випробувань рекомендований в серійне виробництво.



Рис. 5.9. Органічні включення безпідстилкового гною до подрібнення



Рис. 5.10. Органічні включення безпідстилкового гною після

подрібнення

При впровадженні технології використання безпідстилкового гною в його природному вигляді, з ретельно подрібненими кормовими залишками, забезпечується безвідмовна робота практичних всіх технічних засобів по його утилізації, причому в даному випадку рідка і тверда фракції використовуються спільно.

Під час обробки безпідстилкового гною в біоенергетичних установках, повнота розкладання органічної частини істотно залежить від ступеня подрібнення рослинних включень. Якщо для дощування або внутріґрунтового внесення достатньо кускове дроблення рослинних включень, то при метановому зброджуванні в біоенергетичних установках, з метою досягнення активного обміну речовин і високого ступеня біохімічних процесів необхідно підтримувати і безперервно оновлювати максимально можливу величину граничних поверхонь між твердою і рідкою фазами. Тому в цьому випадку основна мета їх подрібнення додати волокнистій масі певну структуру відносно розмірів по довжині і товщині за рахунок руйнування включень як упоперек так і уздовж волокон, тобто одержати масу з певним ступенем гідрації – розвиненою поверхнею, що дозволить закрити процес її розкладання в реакторах біогазових установок.

Вищезгаданий характер руйнування рослинних включень в рідкому середовищі забезпечується при обробці гною за допомогою роторно-пульсаційного дисмембратора (рис. 5.11).

Працює дисмембратор наступним чином. Безпідстилковий гній подається через патрубок 5. В результаті обертання ротора з деякою частотою отвори 10 і 11 відкриваються (у момент збігу) і закриваються. Рослинні включення потрапляють в отвори дробляться кусковий робочими гранями ротора і через патрубок 9 разом з рідкою фазою поступають в порожнину, 8, де під дією відцентрових сил ротора, що обертається, і підпору маси, що поступає, потік поступає в радіальні канали у момент їх поєднання. При русі маси в каналах включення піддаються дії виступів і западин, внаслідок чого відбувається розрив їх оболонок як уподовж, так і упоперек волокон, завдяки чому вони набувають розпушеної, добре розвиненої (активованої) поверхні. Далі під дією відцентрових сил, що виникають при обертанні ротора і пульсацією тиску в каналах, оброблена маса витісняється в патрубок 14.

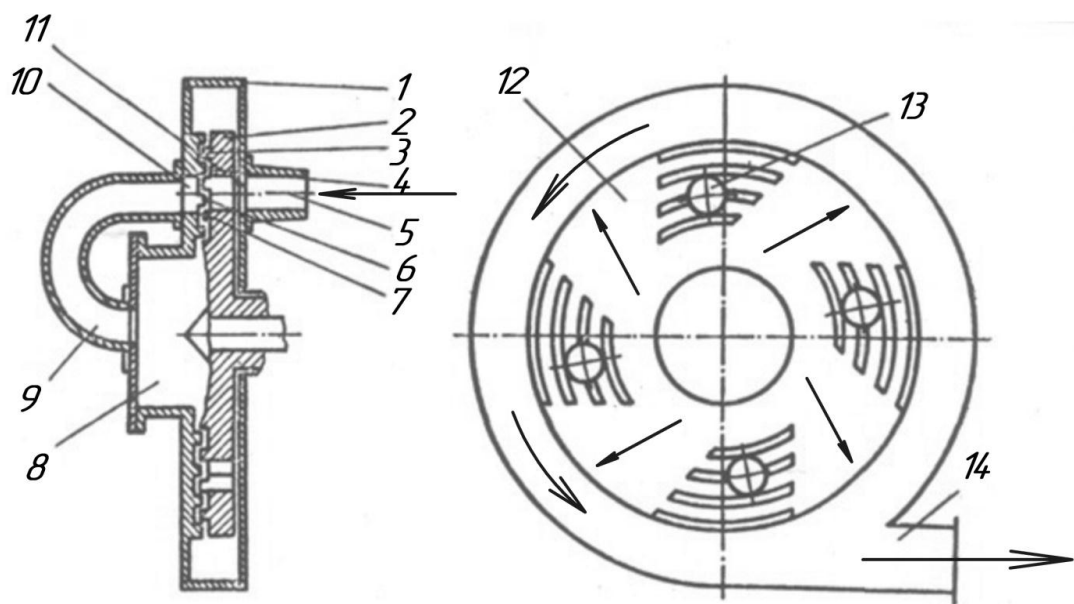


Рис. 5.11. Конструкційна схема дисмембратора:

1 – корпус; 2 – ротор; 3 – кільцевий виступ; 4 – западина; 5 – вхідний патрубок; 6 – виступ; 7 – западина; 8 – порожнина; 9 – патрубок; 10,11 – отвори; 12 – радіальні канали; 13 – отвір; 14 – вихідний патрубок.

При діаметрі ротора і статора 380 мм, ширині кільцевих пазів 7 мм, товщині виступів 6 мм, числі радіальних каналів – 4, ширині радіальних каналів (вхід і вихід мм – 30 x 50 мм), висоті каналів 15 мм, частоті обертання –

16,6 с⁻¹ – потрібна потужність складає 28 кВт, продуктивність до 50 м³/ч, середньозважена довжина включень – 6,5 мм.

Для визначення середньозваженої довжини різки може бути використана формула:

$$l = Q / KSn \quad (5.10)$$

де l – середньозважена довжина різки, м; Q – витрата оброблюваної маси, м³/с; K – число радіальних каналів; n – частота обертання ротора, с⁻¹; S – сумарний прохідний перетин каналів, м².

5.4. Дослідження і обґрунтування засобів механізації для розділення рідкого гною на фракції

Проведений аналіз показує, що для розділення рідкого гною на тверду і рідку фракції доцільно застосовувати способи з використанням механічних робочих органів, оскільки останні є продуктивнішими і ефективнішими ніж гравітаційні [77, 78, 90, 111, 160]. Ефективність сепаруючих пристроїв оцінюється узагальненим коефіцієнтом ефективності:

$$\lambda = \frac{N}{QE}, \quad (5.11)$$

де N – споживана потужність, кВт; Q – продуктивність, т/ч; E – критерій сепарації.

Критерій E визначається за формулою:

$$E = 1 - (K_{жс} \frac{100 - W_{жс}}{100 - W_0} + K_T \frac{W_T}{W_0}), \quad (5.12)$$

де $K_{жс}$, K_T – дольовий вихід відповідно рідкої і твердої фракцій; W_0 , $W_{жс}$, W_T – відповідно вологість початкового гною, рідкої і твердої фракцій.

Результати порівняння вживаних засобів механізації для розділення рідкого гною на фракції показали, що кращими є пристрої з вібраційним зніманням твердої фракції (табл. 5.2).

З урахуванням переваги вищезгаданих типів робочих органів обґрунтована принципова схема універсального сепаратора рідкого гною, кінематика руху робочого органу якого забезпечує високу ефективність процесу сепарації і безперервне самоочищення перфорованої поверхні [102, 111, 266]. Робочим органом сепаратора служить перфорований барабан, який при цьому обертається навколо власної осі з швидкістю, що не залучає гнойову масу до кругового руху, а переміщається в просторі таким чином, що його вісь описує конусоподібну поверхню (рис. 5.12).

Для визначення зони подачі від зони дообезвожування в барабані встановлена кільцева перегородка, забезпечена кишнями, одна з яких має виступи для захоплення твердої фракції.

Таблиця 5.2 – Порівняльна характеристика машин і апаратів для розділення рідкого гною.

Розділювачі	Вологість, %			Ефективність розділення, E	Продуктивність по вихідній масі, Q м ³ /год	Потужність приводу, N кВт	Узагальнений коефіцієнт ефективності, λ кВт-год/т
	Вихідного гною, W_0	Твердої фракції, W_T	Рідкої фракції, $W_{ж}$				
Динамічний фільтр Джі-ей-джі	95,6-99,3	78,0-87,0	97,5-99,7	0,40-0,55	5,6-8,0	1,0	0,44-0,22
Віброгрохот ГИЛ-55	96,0-98,0	84,0-85,0	99,0	0,62-0,47	80-130	10,0	0,20-0,16
Сепаратор «Сафіте»	90,2	75,0	96,2	0,49	4,0-6,0	1,3	0,88
Центрифуга ОГШ-502К-4	95,7-97,6	65,0-79,6	98,2-99,5	0,56-0,73	20-25	32,0	2,85-1,75
Центрифуга РЗ400 (ВД)	94,2-99,2	80,6-90,2	97,8-99,8	0,52-0,70	12,0	22,0	3,52-2,61
Центрифуга УОН-966М	91,7-94,6	76,5-86,8	93,7-95,4	0,24-0,10	12,0-15,0	7,5	2,60-5,0

Рідкий гній подають через насадку плоским струменем на внутрішню бічну поверхню барабана. При цьому процес сепарації протікає також, як на дугових ситах. Потім загущена маса захоплюється кишнями і перевантажується в зону дообезвожування, де в результаті струшування додатково виділяється волога. Такого типу робочі органи до теперішнього часу недостатньо вивчені.

Грунтуючись на теорії руху твердого тіла навколо нерухомої крапки, визначені залежності кінематичних параметрів робочого органу від геометричних:

– сумарна кутова швидкість обертання барабана ω □:

$$\omega = \sqrt{2\omega_n(\omega_n \pm \omega_b)(1 - \cos \theta)\omega_b^2}; \quad (5.13)$$

– розмах коливань точок барабана m_n

$$m_n = 2 \sin \theta \sqrt{Y_i^2 + R_\delta^2}; \quad (5.14)$$

– кут спрямованості коливань по довжині барабана :

$$\beta = 90 - \arcsin(R_\delta / \sqrt{Y_i^2 + R_\delta^2}), \quad (5.15)$$

де ω_b – кутова швидкість обертання барабана навколо його подовжньої осі, с⁻¹; ω_n – кутова швидкість процесії, с⁻¹; θ □ – кут нутації ($\theta = \text{const}$); Y_i – подовжня вісь барабана, м; R_δ – радіус барабана, м.

Як впливає із залежності (5.14 і 5.15) амплітуда і кут спрямованості коливань збільшуються у міру віддалення від точки обертання.

Максимальна швидкість обертання барабана відповідає умові, при якій частинка опиниться на краю стінки кишені у момент його верхнього положення, тобто при

$$\omega t = \pi/2 - \alpha_n \quad \text{і} \quad X = R_\delta - L \quad (5.16)$$

де L – висота стінки кишені по якій сповзає загущена маса, м; t – час, с; α_n – кут початку сходу маси.

Радіус барабана визначається виходячи із залежності:

$$R_\delta = S/2\pi L \quad (5.17)$$

де S – загальна перфорована поверхня барабана, м²; $S = Q/3,6g$; Q – загальна продуктивність м³/год; g – питома пропускна спроможність; L – загальна довжина барабана, що складається з двох ділянок L_1, L_2 , м; L_1 – (зона подачі і згущування) і L_2 (зона дообезводжування).

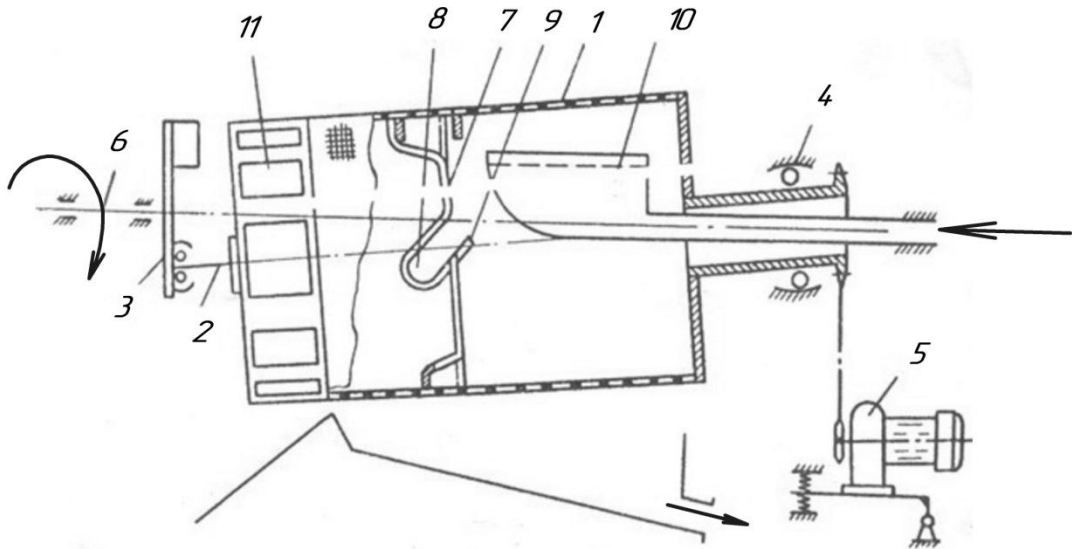


Рис. 5.12. Схема сепаратора:

1 – барабан перфорований; 2 – вісь; 3 – кривошип; 4 – опора; 5 – привід; 6 – вал кривошипа; 7 – кільцева перегородка; 8 – кишеня; 9 – виступ; 10 – насадка; 11 – вікна вивантажні.

Загальний об'єм перевантажувачів визначається із загальної продуктивності по згущеній масі, швидкості обертання барабана і коефіцієнта заповнення перевантажувачів:

$$V = \frac{QK_T}{nK_3}, \quad (5.18)$$

де Q – продуктивність сепаратора по вихідній масі, м³/с; K – пайовий вихід згущеної маси $K_T = 0,08...0,4$; n – частота обертання барабана, с⁻¹; K_3 – коефіцієнт заповнення перевантажувачів, $K_3 = 1$.

Експериментальна установка (рис. 5.13) була виготовлена, виходячи з розробленої функціональної схеми сепаратора, зображеної на рис. 5.12.

Швидкість процесу і частота обертання барабана встановлювалися незалежними приводами. Для вивчення впливу висоти кільцевої перегородки на пропускну спроможність барабана установка була укомплектована набором змінних перегородок.

Робота сепаруючих пристроїв характеризується показниками пропускної спроможності поверхні, енерговитратами, якістю сепарації. З цією метою визначили вплив амплітуди, частоти коливань, діаметру отвори перфорованої поверхні, вологості початкової маси на якість сепарації, пропускну спроможність робочої поверхні, потрібну потужність. Чисельне значення змінних при проведенні експериментальних досліджень змінювалися в наступних межах:

- амплітуда коливань $A = 2 \dots 10$ мм;
- частота коливань $n = 5 \dots 16,6$ Гц;
- діаметр отворів решіт $d_0 = 1,5$ мм.
- вологість початкового гною $W_0 = 91,8, 97,8\%$

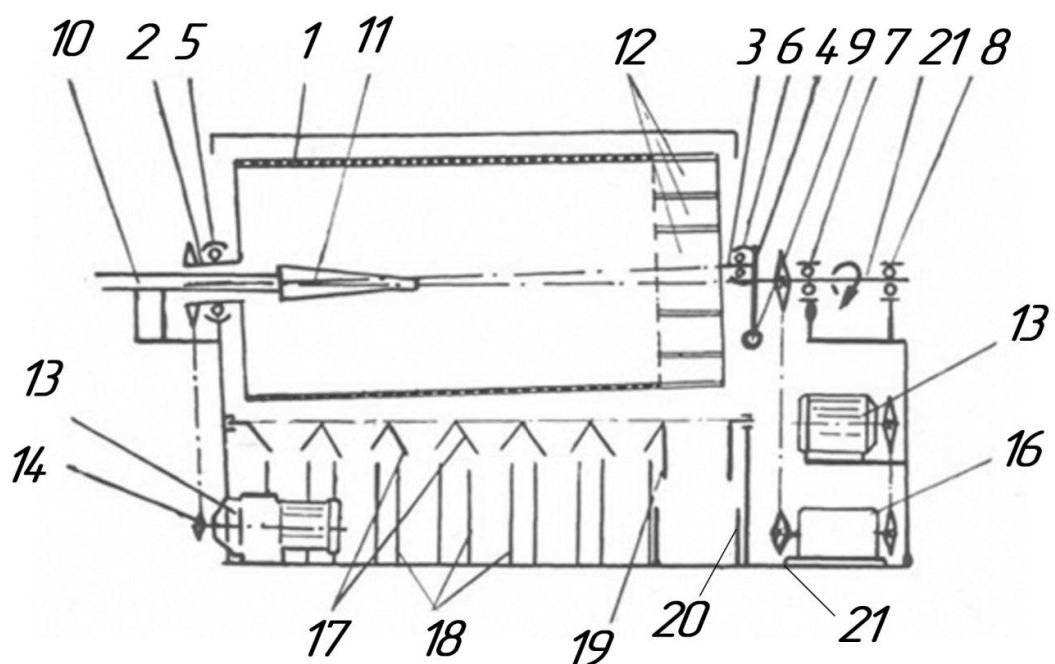


Рис. 5.13. Схема експериментальної установки:

1 – перфорований барабан; 2 – порожнистий вал; 3 – суцільний вал; 4 – кривошип; 5, 6, 7, 8 – сферичні підшипники; 9 – противага; 10 – подаюча труба; 11 – щілинна насадка; 12 – вивантажні вікна; 13 – мотор-редуктор; 14 – зірочка змінна; 15 – електродвигун; 16 – варіатор; 17 – лотки для рідкої фракції; 18 – мертві місткості; 19 – лоток поворотний для твердої фракції; 20 – деко; 21 – рама.

У безпідстилковому гною постійно проходять біохімічні процеси, тому фізико-механічні властивості його з часом змінюються.

У зв'язку з цим виникає необхідність проведення експериментів в обмежений період, відповідний визначеним властивостям матеріалу, що сепарується. План експерименту слід вибирати так, щоб в процесі експериментальних досліджень в короткий термін отримати максимальну кількість інформації.

Для цієї мети була використана методика оптимального планування експериментів розроблена в ННЦ «ІМЕСГ» [266].

Дану методику можна застосовувати в тих випадках, коли прийнятий інтервал зміни крайніх значень змінних величин обмежений, чинники змінюються через рівні інтервали (дискретно), приймаючи умовні значення рівнів 1; 0,5; 0; – 0,5; – 1.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що величина частки твердої фракції збільшується у міру зменшення розміру отворів перфорованої поверхні барабана і зменшення вологості початкового рідкого гною (рис. 5.14). Максимальна величина частки твердої фракції дорівнює 0,425 (при $d_0 = 1$ мм $W_0 = 91,8\%$, $n = 13,7$ Гц, $A = 8$ мм). Максимальна величина частки твердої фракції зоні згущування при тих же параметрах дорівнює 0,55.

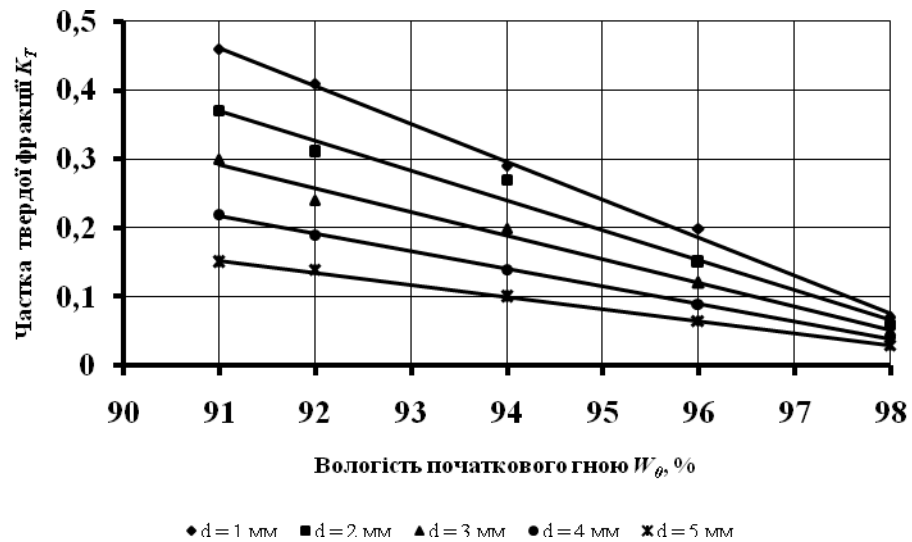


Рис. 5.14. Залежність величини частки твердої фракції K_T від вологості початкового гною W_0 при різних діаметрах отворів решіт, $n = 13,7$ Гц.

Частота коливань на ефективність розділення впливає несуттєво, так при збільшенні частоти в 3,3 рази ефективність розділення знизилася всього на 10%. Найбільша частота, при якій значення ефективності не виходить за межі вищезгаданої норми, становить 16,6 Гц.

Встановлено, що пропускна спроможність сепаратора збільшується із зростанням частоти коливань (рис. 5.15).

В результаті експериментальних досліджень визначені оптимальні параметри і режими роботи барабанного сепаратора рідкого гною - амплітуда коливань 6 мм, частота коливань 16,6 Гц, кінематичний режим обертання барабана 0,2, діаметр отворів перфорованої поверхні 1 мм, кращі показники ефективності розділення при початковій вологості рідкого гною 94,3...96,1%, тверда фракція після сепарації має вологість 88%.

Для протікання біотермічних процесів тверда фракція після сепарації гною повинна мати вологість в межах 65...70%. З цією метою тверда фракція після сепарації додатково обезводжується в гвинтових пресах (ПНЖ-68) або дренується в спеціальних бункерах накопичувачах.

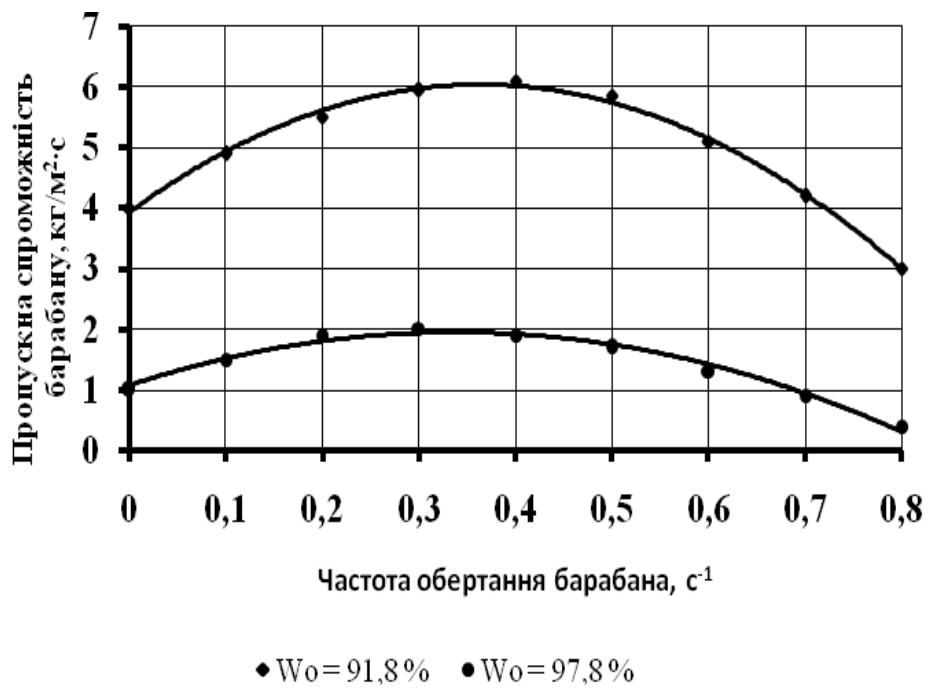
Процес дренування вільної вологи в твердій фракції гною ВРХ практично закінчується через 1 годину, а в твердій фракції свинячого гною через 0,5 годин і їх вологість знижується відповідно до 83% і 77% (рис. 5.16).

Результати досліджень виконаних в ННЦ «ІМЕСГ» по розділенню безпідстилкового гною на фракції стали основою для розробки КТІСМ конструкції барабанного сепаратора ГБН-100, а потім модернізованої моделі ГБН-Ф-100.

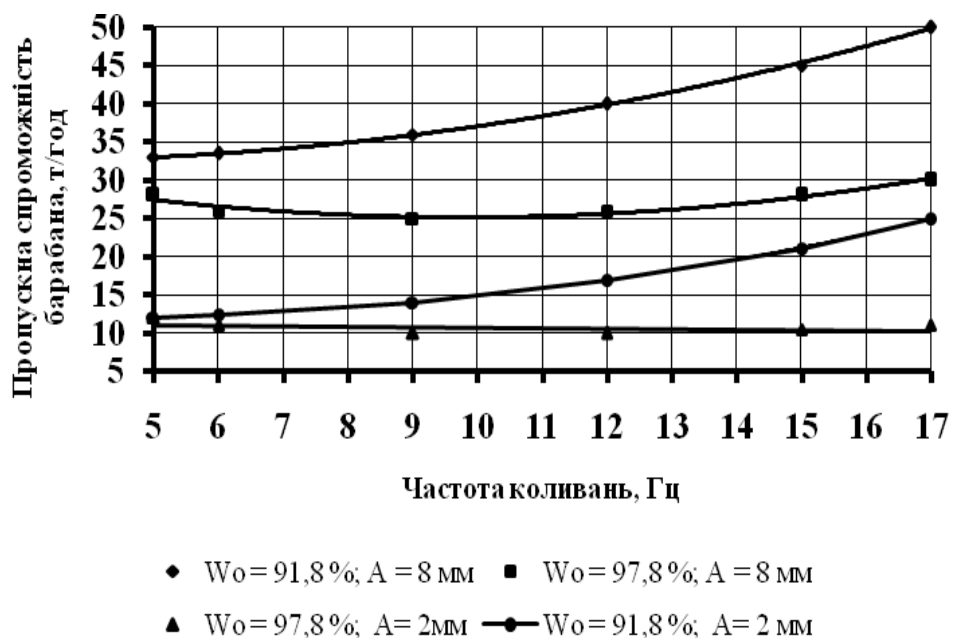
Основним недоліком сепаратора ГБН-100 є неврівноваженість частин, що обертаються, що викликає підвищений шум і вібрацію рами. Цей недолік усунений в схемі двохбарабанного сепаратора (рис. 5.17). Барабан 1 змонтований на валу 3. Вал 3, встановлений в підшипниках 17 і 4, спирається на ексцентрики 5 і 18, встановлені на валу 7, який спирається на підшипники б і 16. На валу 7 закріплені противаги 15.

Привід барабанів складається з редуктора 10, ремінної передачі 11 і шківів 12. Подача рідкого гною здійснюється через трубопровід 2 з рукавами.

Для прийому рідкої фракції призначені місткості 9 і 13, а для прийому твердої – лотки 8 і 14. Рідкий гній подається на внутрішню перфоровану поверхню барабана і шаром розподіляється по поверхні, не захоплюючись в круговий рух. Рідка фракція фільтрується і подається в місткості 9 і 13, а тверда під дією кругових коливань транспортується до відкритих торців барабанів на лотки 8 і 14. При обертанні барабана його верхня частина не навантажена масою і самоочищається від прилиплих і застряглих частинок. Працюючи паралельно, але в протилежних фазах кругових коливань, барабани взаємно врівноважуються, що дозволяє повністю збалансувати механізми віброгрохота, що обертаються.



a



б

Рис. 5.15. Залежність пропускної спроможності барабана, $d_o = 1 \text{ мм}$:
 а) від частоти обертання барабана
 б) від частоти коливань.

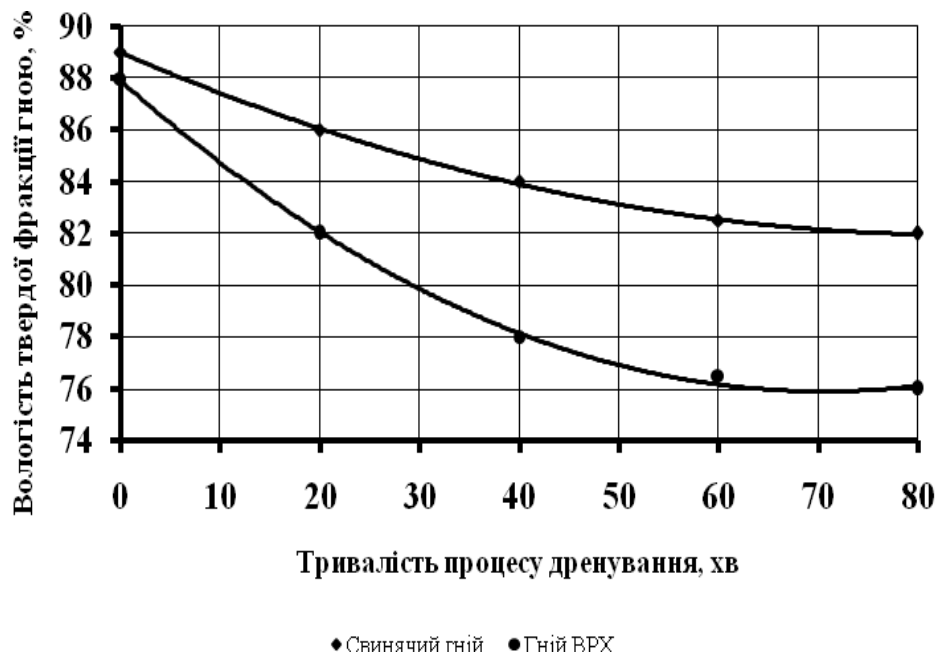


Рис. 5.16. Залежність зміни вологості твердої фракції гною від тривалості процесу дренування.

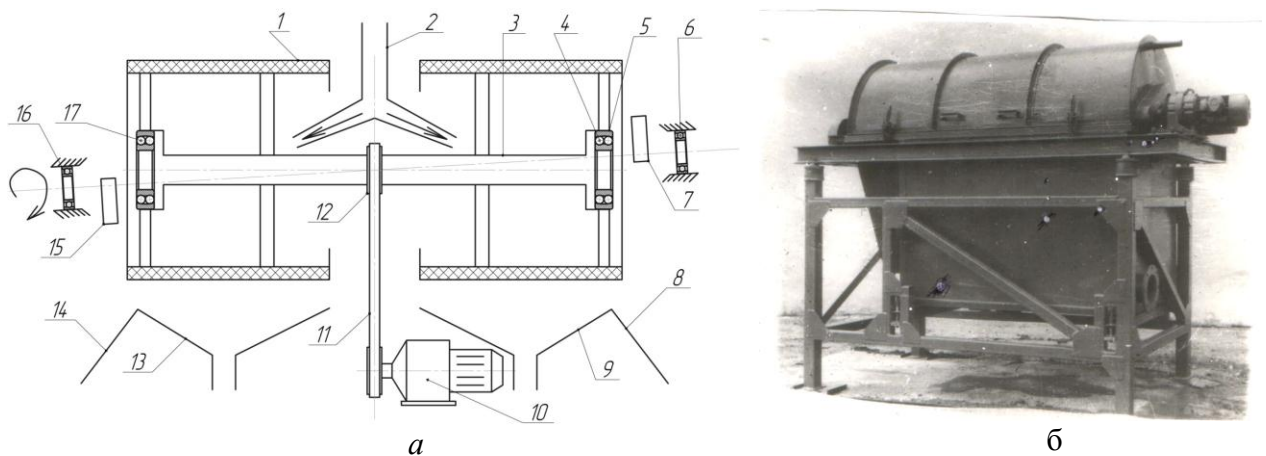


Рис. 5.17. Схема двохбарабанного віброгрохота (а), барабанний віброгрохот ГБН-100 для розділення безпідстилкового гною на фракції:

1 – барабан; 2 – подаюча труба; 3 – вал; 4, 6, 16, 17 – підшипники; 5, 18 – ексцентрики; 7 – вал; 8, 14 – лотки; 9, 13 – місткості; 10 – редуктор; 11 – ремінний привід; 12 – шків; 15 – протизваги.

Двохбарабанний віброгрохот розраховується аналогічно віброгрохоту ГБН-100.

Використання двох машин на виконанні однієї операції (розділення початкової маси на тверду і рідку фракції) підвищує матеріалоемкість і енергоємність процесу. На основі вивчення вітчизняного і зарубіжного досвіду

розділення рідкого гною на фракції, а також обробки і аналізу патентно-ліцензійної літератури розроблена конструктивнотехнологічна схема фільтр-преса в якому поєднані операції згущування і віджимання гнойової маси в прямоточному режимі. При розробці фільтр-преса за основу взято прес з підпірно-вивантажним механізмом [40]. Схема фільтр-преса наведена на рис. 5.18. Безпідстилковий зброджений гній подається в камеру згущування 1, де під дією надмірного тиску рідка фракція проходить через отвори перфорованого корпусу, а тверда фракція чистиками очищається з поверхні перфорованого корпусу і лопатками зміщується у напрямі стримуючих дисків, забезпечених вікнами. У момент збігу вікон тверда фракція проштовхується в камери II і III. При досягненні значення тиску між останнім витком пресуючого шнека і першим витком підпірно-вивантажного шнека більше сумарних сил тертя маси по перфорованій поверхні і опори пружини шнек зміщується уздовж його осі, при цьому диски 6 і 8 зближуються до зчеплення зачепів, внаслідок чого підпірновивантажний шнек починає обертатися, вивантажуючи віджату тверду фракцію.

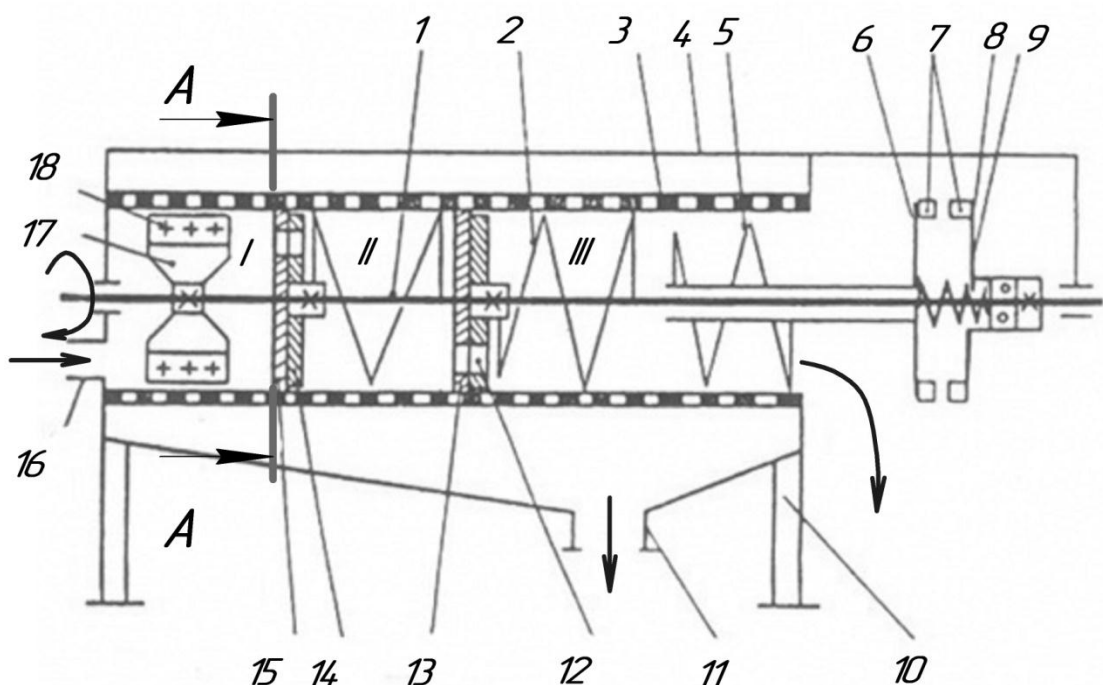


Рис. 5.18. Схема фільтр-преса:

1 – вал; 2 – пресувальний гвинт; 3 – перфорований корпус; 4 – кожух; 5 – підпірно-вивантажний гвинт; 6, 8 – диски; 7 – зачепи; 9 – пружина; 10 – рама;

11 – патрубок злива рідкої фракції; 12, 13, 14, 15 – утримувачі дисків з вікнами; 16 – ввідний патрубок; 17 – лопатки; 18 – чистики.

Продуктивність фільтр-преса, виражена через конструкційні і технологічні параметри можна визначити по наступній залежності:

$$M = \frac{4,76 \cdot 10^3 n_0 (R^2 - \Gamma_0^2) (W_{c2} - W_{T\Phi})}{W_{Ж\Phi} - W_{T\Phi}} \left[4,5 \frac{\rho_{T\Phi}}{\rho_{c2}} - 6 \frac{\rho_{T\Phi}}{\rho_{c2}} \left(\frac{100 - W_{T\Phi}}{100} \right) + \right. \\ \left. + S \left\{ \left[\frac{R_{\phi n}^2 (W_{ucx} - W_{c2})^2}{\Gamma_0^2 (W_{Ж\Phi} - W_{ucx})^2} + \frac{6,28 \rho_{\max} - 4,28 \rho_{\min} (W_{ucx} - W_{c2})}{\mu \Gamma_0 (W_{Ж\Phi} - W_{ucx})} \right] - \frac{R_{\phi n} (W_{ucx} - W_{c2})}{\Gamma_0 (W_{Ж\Phi} - W_{ucx})} \right\} \right], (5.19)$$

де n_0 – частота обертання пресуючого шнека, хв^{-1} ; R – радіус шнека, м; Γ_0 – радіус валу шнека, м; $W_{Ж\Phi}$, W_{c2} , $W_{T\Phi}$ – вологість відповідно рідкої, згущуючої і твердої фракцій; $\rho_{жн}$, ρ_{c2} , $\rho_{T\Phi}$ – густина рідкої, згущуючої і твердої фракцій, кг/м^3 ; $R_{\phi n}$, $R_{T\Phi}$ – опір відповідно фільтруючої перегородки і шару твердої фракції, м^{-1} ; μ – в'язкість рідкої фракції, $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$.

Результати досліджень експериментального зразка фільтр-преса показали, що продуктивність його по початковій масі складає $15\text{-}80 \text{ м}^3/\text{год}$, ефективність розділення $15\text{-}25\%$, вологість твердої фракції - 78% , споживана потужність - $3,4 \text{ кВт}$.

Результати досліджень технології обезводнення безпідстилкового гною на фільтр-пресі викладені в роботах [112, 182]. Основні дослідження процесу розділення рідкого гною на фракції виконані Шкодкіним І.І. [266].

5.5. Електрофізичні способи обробки рідкого гною і продуктів його переробки

5.5.1. Очищення гнойових стоків свинокомплексів вапняною суспензією активізованою ультразвуком

Сучасні дорогі технології обробки рідкого гною і стоків не гарантують необхідного ступеня їх очищення і знезараження.

Це завдання принципово можливо вирішити електрофізичним і хімічним методами [72].

Дослідженнями учених Бондаренка Л.П., Кузьменка І.І. і інших доведено, що в результаті обробки гнойових стоків вапном можна досягти високої ефективності їх очищення [22, 97, 202]. З практики ветеринарної санітарії добре відомо знезаражувальна і дезидоруюча дія вапна. Проте це потребує досить великих витрат реагенту, що стримує широке розповсюдження цього методу очищення у виробництві. Інтенсифікувати даний процес можна електрофізичними методами, серед яких найбільш ефективним є ультразвук. За допомогою ультразвуку можна підвищити реагентну активність вапна і тим самим понизити питому його витрату [2, 7, 22, 96].

В цьому випадку за рахунок невеликих енерговитрат можна досягти істотного здешевлення процесу очищення.

Для процесу очищення стоків важливо, щоб реагент мав хорошу розчинність з речовинами, що знаходяться в стоках. Інакше непрореаговані частинки вапна йдуть в осад не беручи участь в процесі коагуляційного очищення.

Встановлено, що об'єм вапняної суспензії, необхідний для обробки 1 м^3 гнойових стоків, визначається формулою:

$$V_{y\partial} = D \left(\frac{1-K}{K\rho_v} + \frac{1}{\rho_n} \right), \quad (5.20)$$

де D – доза вапна (по CaO), кг; ρ_n – щільність негашеного вапна, кг/м^3 ; ρ_v – щільність води, кг/м^3 ; K – концентрація суспензії (по масі CaO), у відносних величинах.

Доза вапна в свою чергу залежить від початкового вмісту сухої речовини в гно-йових стоках і режиму ультразвукової активації. Відомо, що розчинність вапна дуже слабка (всього 0,15%). Це є основною причиною недовикористання її реагентнокоагуляційних властивостей при очищенні гнойових стоків.

Аналіз умов утворення одно- і двохзарядних іонів кальцію, синтезу його гідридів і дисоціації оксиду на іони, а також цілого ряду інших явищ показує,

що всі вони можуть ма-ти місце при дії на вапняну суспензію ультразвуком в режимі кавітації.

У загальному вигляді технологічний процес очищення гнойових стоків вапняною суспензією активізованої ультразвуком включає наступні операції: приготування водної суспензії порошкоподібного негашеного вапна, обробка її ультразвуком, введення активізованої суспензії в гнойові стоки, перемішування компонентів, відстоювання і розділення фракцій.

Виконаними дослідженнями встановлено, що під дією ультразвуку в режимі кавітації підвищуються коагуляційні властивості вапняної суспензії і процес очищення стає ефективнішим [136, 163]. Підвищення ефективності за рахунок ультразвукової активності відбувається шляхом поглинання енергії лише протягом оптимального періоду який визначається за формулою:.

$$T_a = 4,4K \exp(0,2 f^{0,5} - y^{0,46}), \quad (5.21)$$

де K – концентрація вапняної суспензії, від. од; f – частота ультразвуку, кГц; y – інтенсивність ультразвукових коливань, 104 Вт/м^2 .

Даний вираз апроксимується результати експерименту з точністю до 0,93 для інтенсифікації ультразвуку від 2 до $16 \dots 104 \text{ Вт/м}^2$ в смузі частот $15 \dots 44 \text{ кГц}$.

Експериментально визначені режимні, технологічні і конструктивні параметри електротехнологічної установки при яких досягається найбільш висока ефективність очищення з найменшими енерговитратами: смуга частот ультразвуку $35 \dots 40 \text{ кГц}$, інтен-сивність ультразвуку $0,9 \dots 1,25 \text{ Вт/м}^2$, концентрація вапняної суспензії $37 \dots 40\%$ по масі CaO . Встановлено, що кращі результати за ефективністю очищення стоків досягається, коли діаметр випромінюючої поверхні ультразвукового перетворювача відповідає умові:

$$d_u = 3,2 / f, \quad (5.22)$$

де d_u – діаметр випромінювача, м; f – частота ультразвуку, кГц.

При цьому ширина ультразвукової камери повинна дорівнювати двом діаметрам випромінювача під кутом нахилу відбивача до осі камери $\pi/4$. Одночасно з часом, що пройшов після припинення дії ультразвуку на вапняну

суспензію, ефективність очищення знижується, що свідчить про перехід високоактивних форм вапна в стабільніший стан.

Виробнича перевірка показала, що при питомій витраті активізованого вапна $1,5 \text{ кг/м}^3$ залишковий вміст зважених речовин в очищеній фракції складає близько $0,3 \text{ кг/м}^3$, прозорість 3,5 см.

5.5.2. Електрофлотація з хімічною інтенсифікацією очищення фільтрату безпідстилкового гною в безперервному потоці.

В сьогоднішній день знайдено технологічних рішень по очищенню і знезараженню рідкої фракції, яка містить солі, колоїди, високодисперсні домішки і хвороботворні мікроорганізми. Це зумовлює необхідність пошуку нових технологічних рішень і розробку нових технічних засобів для переробки і знезараження гною [21, 52, 63 62, 127, 155, 190].

У ННЦ «ІМЕСГ» розроблено спосіб і апарат для обробки, електрофлотації рідкої фракції рідкого свинячого гною, одержаної після розділення його на фракції вібраційними сепараторами і обладнаними сіткою з отворами діаметром 0,1...0,5 мм [111, 135, 181].

Особливість процесу полягає в тому, що анодний і катодний простір апарату флотації, розділений іонітною мембраною і для вилучення зважених частинок використовується тільки водень, що виділяється на катоді. Очищена від зважених частинок рідина прямує в анодну камеру апарату, де збагачується мілкодисперсними бульбашками кисню і знезаражується, оскільки атомарний кисень і озон, що утворюється на аноді, має зне-заражувальні властивості. Як коагулянт застосована фосфорна кислота H_3PO_4 з розрахунку 2 л на 1 м^3 фільтрату. Схема апарату для очищення, електрофлотації фільтрату, приведена на рис. 5.19.

У експериментах використовували безпідстилковий свинячий гній після розділення його на фракції. Фільтрат є рідкою неоднорідною масою з твердими високо дисперсними і колоїдними частинками з концентрацією $7,0... 6,0 \text{ кг/м}^3$.

Хімічний і бактеріологічний аналізи показали, що при відповідному режимі процесу БПК₅ знижується з 8000 до 1480 мг/л, окислюваність – з 2000 до 800 мг/л, колітітр може бути доведений до 333, а мікробне число з 5...10⁶ і більше – до 3000.

Перед експериментом у фільтрат, що підлягає обробці в електрофлотаційній установці вводили відоме число гельмінтів (яйця аскарид) і порівнювали з тими, що залишилися у фільтраті після обробки. При відповідних режимах обробки наявні яйця гельмінтів флотували в піну, яку потім можна обробити електрогідралічним, хімічним або термічним методами (табл. 5.3).

У очищеному фільтраті опинилося приблизно 0,3% реагенту H_3PO_4 коагулянта. Отже, практично вся фосфорна кислота адсорбується твердою фракцією.

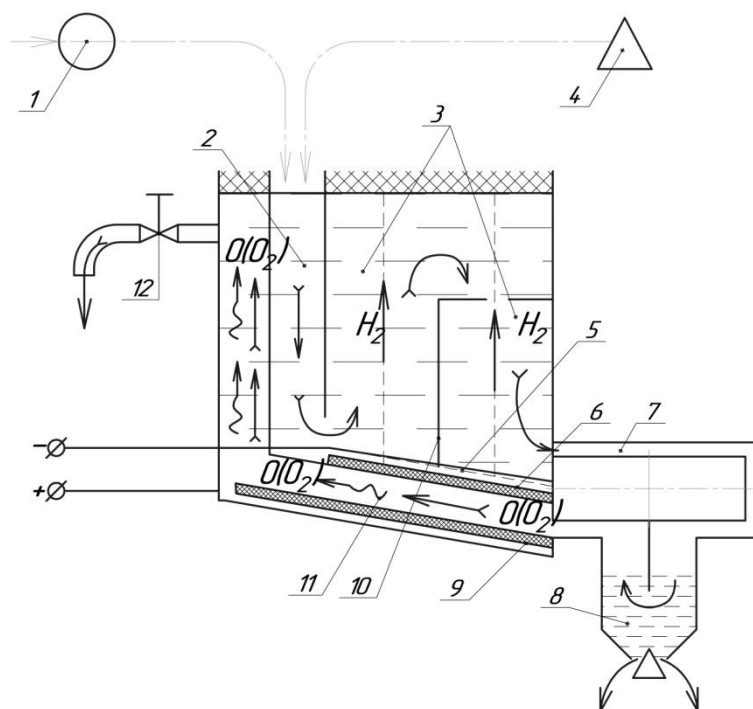


Рис. 5.19. Принципова схема електрофлотаційного апарату для очищення та знезараження фільтрату рідкого гною:

1 – завантажувальний насос; 2 – приймальна камера; 3 – секція камери очищення; 4 – дозатор коагулянта; 5 – сітчастий катод; 6 – мембрана; 7 – канал; 8 – відстійник; 9 – анод (графіт); 10 – перегородка; 11 – анодна камера; 12 – вентиль.

Таблиця 5.3 – Результати обробки фракції гною свиней в установці електрофлотації.

№ дос- ліду	Умови дослідю		Вихідне число гельмінтів, шт	Число гельмін- тів після оброб- ки, шт	рН обробленого фільтрату
	Густина струму, А/м ²	Тривалість очистки, хв.			
1	1600	0	49	49	2,6
		2	50	38	
		4	52	28	
		6	48	18	
2	1000	0	49	49	2,6
		2	50	10	
		4	51	2	
		6	52	-	
3	480	0	50	50	5,6
		2	49	18	
		4	51	2	
		6	49	-	
4	320	0	50	50	5,6
		2	52	1	
		4	51	-	
		6	48	-	
5	160	0	51	51	2,5
		2	50	14	
		4	49	-	
		6	51	-	

Встановлено [104, 133], що тверда фракція, після збагачення фільтрату свинячого гною фосфором, електрофлотації і термічної обробки, є темно-коричневою із слабким специфічним запахом, склад якої, з розрахунку на 1 кг продукту наступний: вода – 76 ...78%, суха речовина – 24...28%, зола – 2,5...4,0%, протеїн – 5,0...9,0%, жир – 1,0...1,5%, клітковина – 4,0...6,0%, кальцій – 0,2...0,3 г, фосфор – 38...40 г, калій – 0,3...0,4 г, натрій – 0,1...0,15 г, магній – 0,4...0,5 г, залізо – 250...300 міліграм, марганець – 35...45 міліграм, цинк – 1,5...2,5 міліграм, нікель – 0,8...1,5 міліграм, хром – 1,2...2,8 міліграм, молібден – 0,1...0,2 міліграм, мідь – 8,0...15,0 міліграм.

Наявність високого вмісту протеїну, фосфору і інших мінеральних речовин дає підставу вважати отриманий продукт цінним добривом.

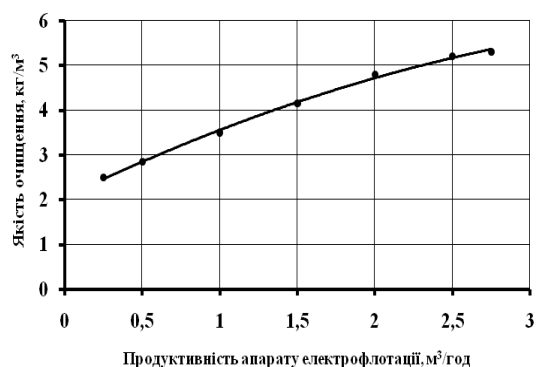
При роботі експериментального апарату електрофлотації в безперервному режимі було встановлено, що зміна концентрації зкоагульованих домішок у фільтраті рідкого гною переважно залежить від швидкості штока фільтрату в електролізері і щільності струму.

Мінімальною щільністю струму, забезпечуючи достатнє очищення ($2,6...2,7 \text{ кг/м}^3$) є 160 А/м^2 . Як при порційному очищенні, так і при очищенні фільтрату в потоці вважаємо щільність струму 480 А/м^2 оптимальною величиною процесу електрофлотації. Порівняння порційного і безперервного режимів очищення показало, що при безперервному режимі очищення, протікає повільніше, тобто час перебування фільтрату в електролізі збільшується. Це можна пояснити зменшенням вірогідності зіткнення зкоагульованих частинок з газовими бульбашками внаслідок їх руху в електролізері разом з потоком.

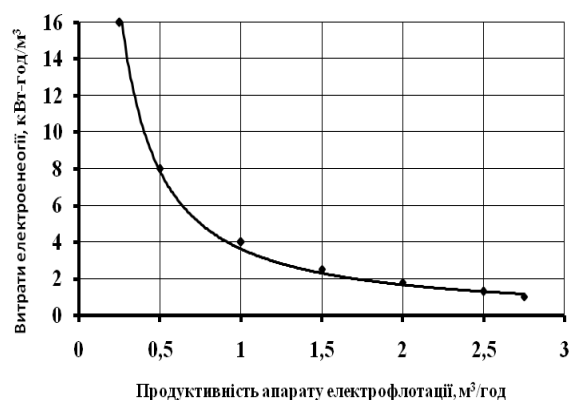
На рис. 5.20 показано зміну витрат електричної енергії (крива 1) і концентрації домішок у фільтраті (крива 2) залежно від продуктивності апарату електрофлотації. Графік показує, що при великих потужностях знижується витрата електроенергії, але погіршується якість очищення. Аналізуючи одержані дані можна зробити висновок, що продуктивність апарату електрофлотації, в середньому дорівнює $0,5 \text{ м}^3/\text{год}$. При цьому необхідно враховувати, що продуктивність апарату за інших рівних умов, залежить від кількості зважених частинок, що містяться у фільтраті рідкого гною.

Знаючи продуктивність апарату і перетин потоку фільтрату в електролізері, можна визначити його швидкість.

Якщо ширина і висота потоку фільтрату, що обробляється в електролізері апарату електрофлотації, залишаються незмінними при одному і тому ж режимі процесу електро-флотації, то швидкість потоку, при якій досягається задане очищення фільтрату (у нашому випадку $2,6...2,7 \text{ кг/м}^3$), залежить від довжини електролізера (v) і є оптимальною. Із збільшенням довжини електролізера оптимальна швидкість потоку фільтрату збільшується (рис. 5.21). Це пояснюється тим, що для того, щоб об'єм фільтрату на виході мав однаковий рівень очищення у електролізерів різної довжини, його швидкість із збільшенням довжини також збільшується за умови, що режим процесу електрофлотації, залишається незмінним. Межею зростання оптимальної швидкості очевидно є така її величина, при якій ламінарний рух фільтрату починає переходити в турбулентний.



a



б

Рис. 5.20. Залежність якості очищення (*a*) і витрат електроенергії (*б*) від продуктивності апарату електрофлотації.

Початкова концентрація домішок у фільтраті – 6,5 кг/м³; щільність струму – 480 А/м²; концентрація коагулянта – 2 кг/м²; температура фільтрату – 200 °С; РН – 5,7; відстань між електродами – 0,015 м; висота шару очищення – 0,7 м; довжина електролізера – 1,0 м.

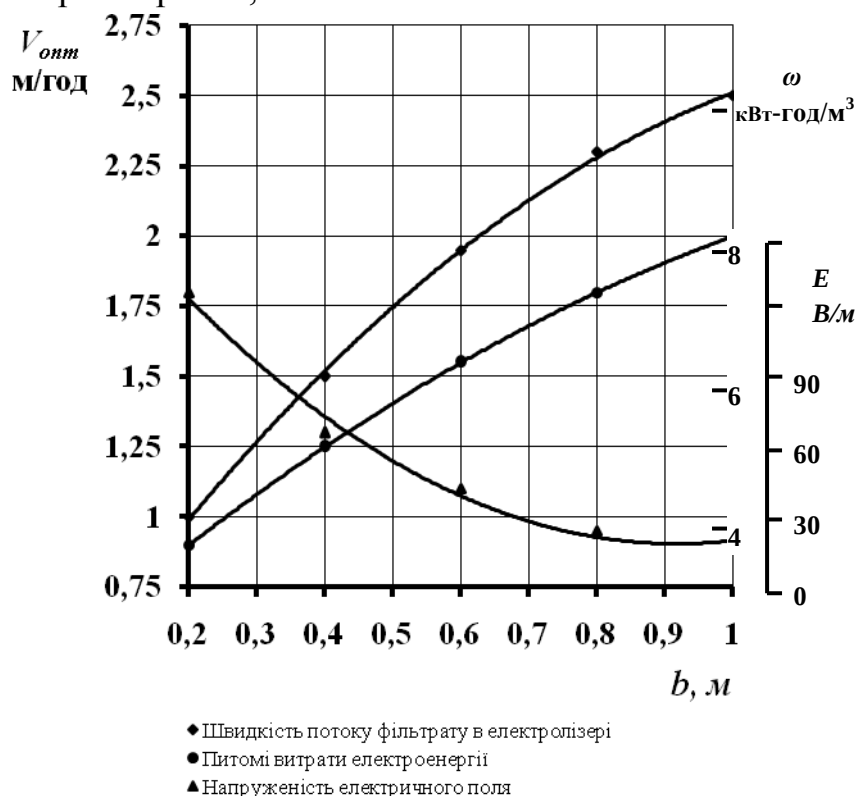


Рис. 5.21. Залежність оптимальної швидкості потоку фільтрату в електролізері ($V_{опт}$), питомої витрати електроенергії (ω) і напруженості електричного поля (E) від довжини електролізера (b).

Початкова концентрація домішок у фільтраті – 6,5 кг/м³; концентрація домішок після очистки – 2,7 кг/м³; щільність струму – 480 А/м²; концентрація коагулянту – 2 кг/м³; температура фільтрату – 23 °С; РН – 5,6; висота шару

очищення – 0,7 м; ширина електролізера – 0,3 м; відстань між електродами – 0,015 м.

З огляду на те, що напруга електролізу, щільність струму, висота шару фільтрату, конструктивні параметри електролізера визначені умовами процесу очищення і тому є величинами постійними, зміна питомої витрати електричної енергії на очищення фільтрату залежить від часу обробки його в електролізері.

Із збільшенням довжини електролізера час обробки фільтрату, як показали результати досліджень, збільшується. Це можна пояснити тим, що із збільшенням швидкості потоку фільтрату, а, отже, і зкоагульованих частинок – агрегатів, вірогідність прилипання до них газових бульбашок зменшується. Це погіршує умови флотації, внаслідок чого час процесу очищення збільшується, що і обумовлює збільшення питомої витрати електричної енергії (рис. 5.21).

Оскільки протягом електрофлотації напруга на електродах не міняється, а величина його визначена умовами процесу очищення, то із збільшенням довжини електролізера напруженість електричного поля зменшується.

Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок, що очищення фільтрату рідкого гною найбільш ефективно у тому випадку, коли швидкість потоку фільтрату в електролізері оптимальна. Для того, щоб оптимальна швидкість фільтрату в електролізері залишалася постійною повинна виконуватися наступна умова: відношення продуктивності апарату до перетину потоку фільтрату повинне бути для даного електролізера (мається на увазі, що $v = const$) величиною постійної, рівної оптимальної швидкості. Звідси випливає, що зміна продуктивності установки зумовлює за собою зміну перетину потоку фільтрату і навпаки. Висота шару фільтрату в електролізері величина фіксована, тому зміна продуктивності можлива лише за рахунок зміни ширини електролізера.

В результаті експериментальних досліджень була побудована номограма для визначення конструктивних, експлуатаційних і енергетичних показників апаратів електрофлотації безперервної дії.

Так, наприклад, з номограми (мал. 5.22), видно, що електрофлотатор, продуктивність якого (Q) – $6,3 \text{ м}^3/\text{год}$, ширина електролізера (a) – $3,0 \text{ м}$, повинен мати довжину електролізера (b) – $1,22 \text{ м}$, питомі витрати електроенергії на обробку фільтрату – (ω) $8,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, постійний струм (I), необхідний для роботи електрофлотатора в заданому режимі – 1500 А .
Електрофлотатор продуктивністю (Q) – $1,7 \text{ м}^3/\text{год}$, шириною електролізера (a) – $1,0 \text{ м}$ повинен мати довжину електролізера (b) – $0,9 \text{ м}$, питомі витрати електроенергії на очищення фільтрату (ω) – $7,3 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, постійний струм (I) для роботи електрофлотатора в заданому режимі – 1000 А .

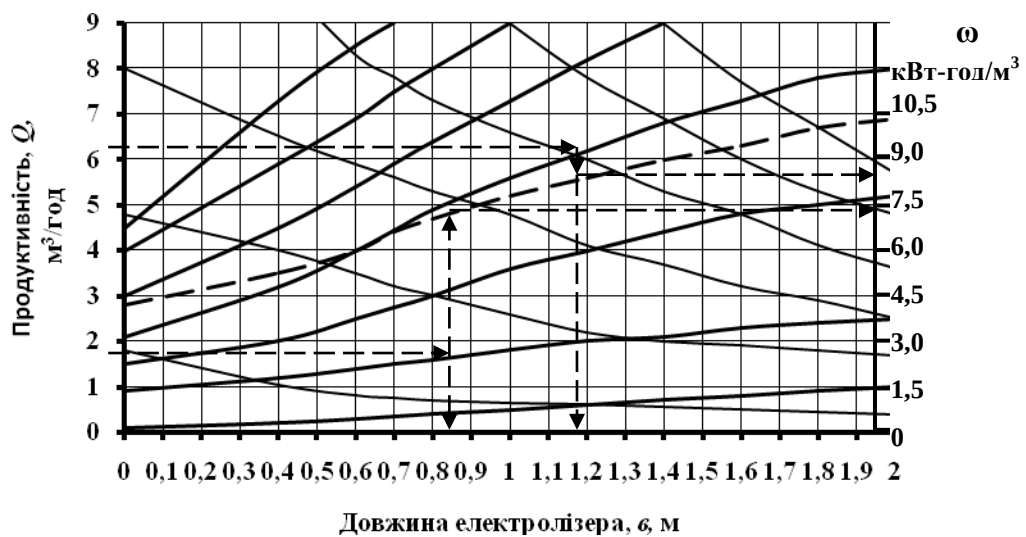


Рис. 5.22. Номограма для розрахунку електрофлотаційних апаратів безперервної дії.

Номограма застосовувалась при обробці фільтрату з початковою концентрацією домішок $6,0 \dots 6,5 \text{ кг}/\text{м}^3$; концентрацією коагулянта, що вводиться – $2,0 \text{ кг}/\text{м}^3$, висоті шару оброблюваного фільтрату в електролізері – $0,7 \text{ м}$, щільності струму – $480 \dots 500 \text{ А}/\text{м}^2$. Окрім цього потік фільтрату в електролізері повинен бути ламінарним.

Оброблений фільтрат з електролізера видаляється через щілиновидний отвір, перетин якого можна визначити за формулою:

$$\omega_{\text{щ}} = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gh}}, \quad (5.23)$$

де $\omega_{\text{щ}o}$ – перетин щілинного отвору, м^2 ; Q – продуктивність установки, $\text{м}^3/\text{с}$; μ – коефіцієнт витрат; g – прискорення сили тяжіння $\text{м}/\text{с}^2$; h – висота шару оброблюваного фільтрату, м .

З іншого боку перетин щілиновидного отвору дорівнює отвору його ширини (a') і висоти (h'), рівної відстані між електродами, тобто

$$\omega_{\text{щ}o} = a'h' . \quad (5.24)$$

Відстань між електродами визначається умовами мінімальної витрати електроенергії і конструктивною складністю виготовлення електролізера, будучи для даного електрофлотатора величиною фіксованою. Тому, перетин для виходу обробленого фільтрату визначається його вширшки і може бути обчислено за формулою:

$$a' = \frac{Q}{h'\mu\sqrt{2gh}} \quad (5.25)$$

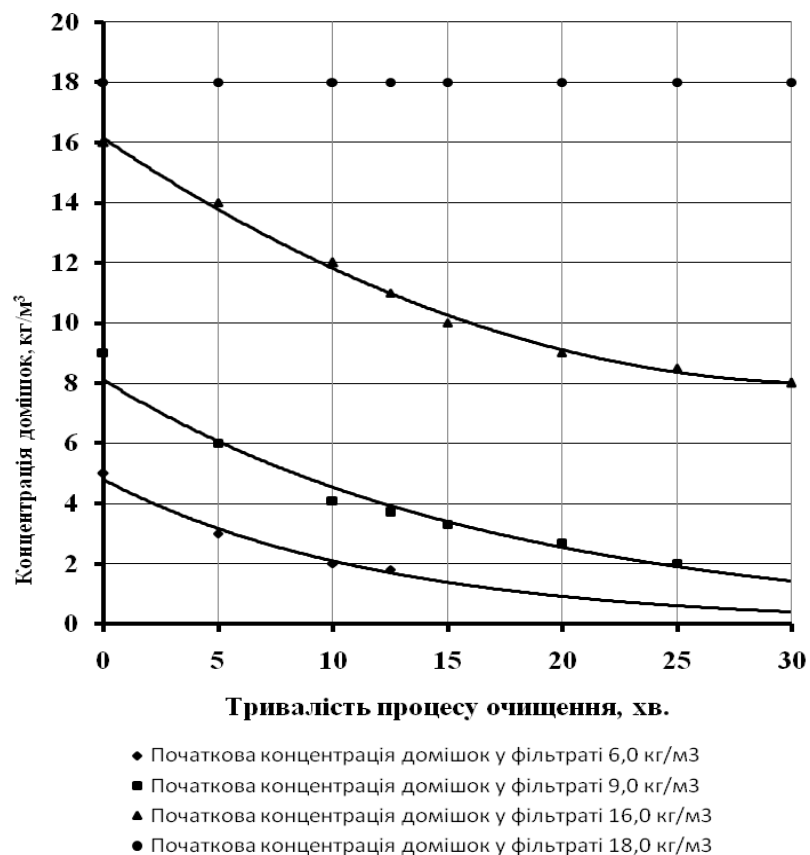


Рис. 5.23. Зміна концентрації домішок у фільтраті залежно від тривалості процесу очищення.

З графіка на рис. 5.23 витікає, що з підвищенням початкової концентрації домішок у фільтраті час, витрачений на очищення фільтрату з початковою концентрацією домішок $6,0 \text{ кг/м}^3$ знадобиться приблизно 12 хв. а для фільтрату з початковою концентрацією домішок 9 кг/м^3 – 28 хв. процесу очищення, щоб понизити концентрацію домішок у фільтраті до $2,0 \text{ кг/м}^3$. Збільшення часу процесу із зростанням початкової концентрації домішок у фільтраті можна пояснити наступним. По-перше, із зростанням концентрації домішок збільшується час на коагуляцію (за умови постійної концентрації коагулянта, що вводиться), по-друге, на витягання більшого числа скоагульованих частинок природно потрібно витратити і більший час.

Концентрація коагулянта – $2,0 \text{ кг/м}^3$; висота шару фільтрату в електролізері – 0,7 м; початкова температура фільтра – 20°C ; щільність струму – 480 А/м^2 ; відстань між електродами – 0,015 м; РН – 5,6; ширина електролізера – 0,3 м.

Фільтрат з початковою концентрацією домішок 18 кг/м^3 практично вже не очищується, оскільки концентрація коагулянта в цьому випадку є недостатньою для того, щоб викликати коагуляції домішок.

Експериментальні дані дозволяють зробити висновок, що початкова концентрація домішок у фільтраті, що поступає в апарат електрофлотації повинна бути не вище $10...12 \text{ кг/м}^3$. При необхідності фільтрат слід розбавляти очищеною рідиною.

5.5.3. Інтенсифікація обробки і утилізації біомаси активного мулу стічних вод методом електроосмосу

В процесі біологічного очищення стічних вод в аеротанках утворюється активний мул, що є колоїдною суспензією з великою адсорбуючою здатністю. Вологість біомаси активного мулу навіть після попереднього ущільнення не нижча 97% [52], а об'єм його складає 10% від загального об'єму стоків, що очищаються.

Основними шляхами утилізації біомаси активного мулу є використання його як органічне добриво, а також для отримання білкової кормової добавки. Проте в даний час утилізація біомаси активного мулу вимагає ємких сховищ і пов'язана з великими транспортними витратами. У зв'язку з цим вивчення властивостей і розробка нових методів обезводнення біомаси активного мулу є актуальним завданням.

Кожна колоїдна частинка біомаси активного мулу несе на собі заряд, що виник в результаті утворення на її поверхні подвійного електричного шару. Виникнення останнього пов'язане або з адсорбцією іонів з рідкої фази, або з дисоціацією поверхневих молекул частинок твердої фази в рідкому середовищі на іони. При цьому один з іонів переходить в дисперсійне середовище, а на поверхні колоїдної частинки залишається іон протилежного знаку [72]. Сили кулонівського відштовхування забезпечують рівномірний розподіл колоїдних частинок за всім обсягом суспензії.

При пропусканні постійного електричного струму через біомасу активного мулу відбувається поляризація колоїдних частинок, що приводить до порушення рівноваги подвійного електричного шару і перенесення електроосмосу рідини в об'ємі суспензії.

Розгляду електроосмотичного перенесення рідини присвячені багато робіт. Найбільш повно основи електроосмосу перенесення рідини викладені в монографії [72], проте в даний час в науковій літературі відсутні дані по обезводненню, електроосмосу біомаси активного мулу і рідкого гною.

Для опису процесу обезводнення, електроосмосу, коли безперервно відбувається відведення рідини з між електродного простору, було запропоноване наступне рівняння [188].

$$V_e = V_0 \left[1 - \exp \left(-K_e U \tau / l^2 \right) \right], \quad (5.26)$$

де U – напруга на електродах, В; V_e – об'єм рідини, що виділяється з вологого матеріалу, м³; V_0 – об'єм вологого матеріалу, відповідний первинному вологовмісту, м³; K_e – коефіцієнт електроосмосу, м³/В·с; τ – час обезводнення, електроосмосу, с; l – відстань між електродами, м.

Це рівняння якнайповніше описує процес електроосмосного обезводнення різних матеріалів. Проте при електроосмосному обезводненні доцільно визначати не об'єм виділеної рідини, а ступінь електроосмосного обезводнення, тобто відношення об'єму виділеної рідини до первинного об'єму біомаси активного мулу, оскільки цей показник характеризує доцільність застосування того або іншого способу обезводнення. Допустимість застосування цього показника зумовлена тим, що відокремлювана в процесі електроосмосного обезводнення біомаса активного мулу рідина містить незначну домішку зважених речовин (ефективність очищення складає 99%). Як критерій оцінки енергоємності процесу електроосмосного обезводнення застосовуються питомі енерговитрати на обробку біомаси активного мулу або питомі витрати енергії на виділення рідини, зв'язані між собою співвідношенням:

$$E_o = E_g C_{eo}, \quad (5.27)$$

де E_o – питомі витрати електроенергії на обробку біомаси активного мулу, кВт·год./м³; E_g – питомі енерговитрати на виділення рідини кВт·год./м³; C_{eo} – ступінь електроосмосного обезводнення, відносних одиниць.

Формула для розрахунку питомої енергоємності має наступний вигляд [191]:

$$E_g = \frac{U}{K_g \rho} \quad (5.28)$$

де ρ – питомий електричний опір оброблюваного матеріалу, Ом·м.

Інтенсифікація обробки і утилізації біомаси активного мулу методом електроосмосу пов'язана з додатковим споживанням електроенергії. Це збільшує вартість його обробки, проте, з іншого боку, при використанні електроосмосного обезводнення, об'єм активного мулу, що підлягає подальшій переробці, зменшується, а отже, зменшуються капітальні вкладення і загальні експлуатаційні витрати на обробку і його утилізацію.

При утилізації біомаси активного мулу як білкової кормової добавки технологія обробки включає ущільнення, електроосмосне обезводнення і

термічну сушку. Ця технологія повністю виключає забруднення навколишнього середовища та дозволяє одержати цінну білкову кормову добавку. Застосування електроосмосного обезводнення в цій технології дозволяє значно інтенсифікувати обробку біомаси активного мулу шляхом зменшення витрат енергії, оскільки виділення рідини при обезводненні, електроосмосу, не пов'язане з енергоємним фазовим перетворенням води, що має місце при термічному сушінні.

Річні приведені витрати містять постійну складову, не залежну від параметрів електроосмосного обезводнення і змінну складову, що включає питому енергоємність і ступінь електроосмосного обезводнення, які в свою чергу, як видно з формул (5.26) і (5.28), залежать від напруги на електродах. Тому напруга на електродах є визначальним параметром при електростатичному методі інтенсифікації обробки і утилізації біомаси активного мулу.

Продиференціювавши вираз приведених річних витрат по напрузі і прирівнявши до нуля значення перших похідних, одержимо вираз для визначення оптимального значення напруги на електродах, при якому річні приведені витрати будуть мінімальними. Цей вираз при обробці і утилізації біомаси активного мулу на органічне добриво має вигляд:

$$U = \frac{K\Pi}{2d} \rho_e, \quad (5.29)$$

де Π – приведені витрати на обробку і утилізацію біомаси активного мулу на органічне добриво без застосування електроосмічного обезводнення, руб/м³; d – вартість 1 кВт·год. електроенергії, грн/кВт·год.; ρ_e – об'ємний коефіцієнт електроосмосу, м³/А·с;

K – коефіцієнт перерахунку = 36 х 10⁵ Вт·с/кВт·год.

При обробці і утилізації біомаси активного мулу як білкової кормової добавки, вираз для визначення оптимального значення напруги має наступний вигляд:

$$U = \frac{KE}{2d} \rho_e, \quad (5.30)$$

де E – питомі експлуатаційні витрати на рідке паливо при сушці біомаси активного мулу без застосування обезводнення, електроосмосу, грн./м³

Залежність річних приведених витрат на обробку і утилізацію біомаси активного мулу на органічне добриво, із застосуванням електроосмосного обезводнення, від напруги на електродах приведена на рис. 5.24. Видно, що із зростанням напруги приведені витрати спочатку зменшуються, оскільки при цьому зменшуються капітальні витрати на будівництво мулосховищ і транспортні витрати на вивіз біомаси активного мулу на поля, а потім збільшуються, оскільки при цьому збільшуються витрати електроенергії на обезводнення, електроосмосу.

Залежність річних приведених витрат на обробку і утилізацію біомаси активного мулу як белкової кормової добавки із застосуванням обезводнення електроосмосу, від напруги на електродах приведена на рис. 5.25. При цьому зменшення приведених витрат із збільшенням напруги пояснюється зменшенням витрат рідкого палива на термічну сушку біомаси активного мулу після електроосмосного обезводнення. При подальшому збільшенні напруги на електродах приведені витрати також починають збільшуватися, що пов'язано із збільшенням витрат електричної енергії.

Оптимальні значення параметрів процесу обробки і утилізації біомаси активного мулу з використанням обезводнення, електроосмосу, приведені в табл. 5.4.

Загальна технологічна схема переробки активного мулу із застосуванням електроосмосного обезводнення приведена на рис. 5.26. Враховуючи те, що в процесі електроосмосного обезводнення, не вдається досягти необхідного ступеня обезводнення відокремлюваної рідини, вона подається на повторне біологічне очищення.

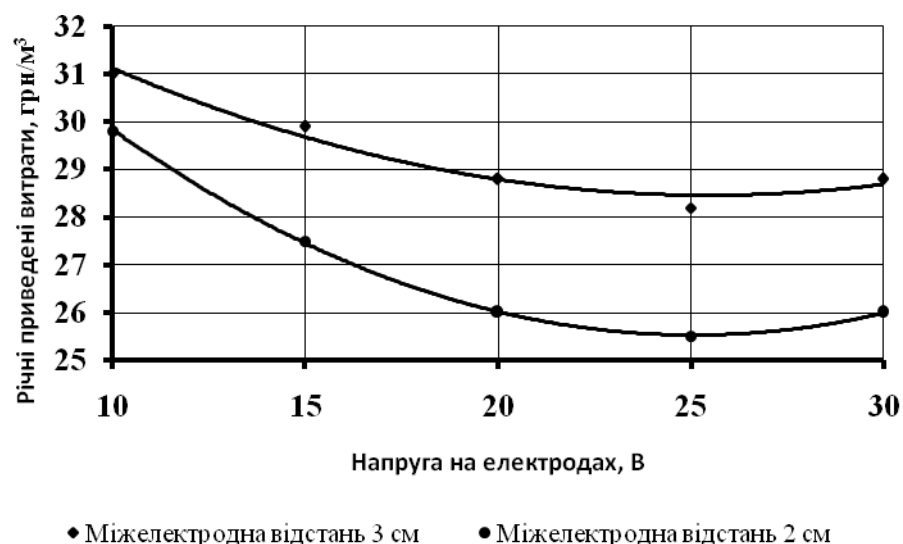


Рис. 5.24. Залежність річних приведених витрат на обробку і утилізацію біомаси активного мулу із застосуванням електроосмотичного обезводнення в поєднанні з біологічним обеззараженням від напруги на електродах при міжелектродній відстані 3 см і 2 см.

Таблиця 5.4 – Оптимальні параметри процесу обезводнення, електроосмосу біомаси активного мулу.

Параметри	Утилізація біомаси активного мулу		
	органічне добриво		білкова кормова добавка
	$l = 0,03 \text{ м}$	$l = 0,02 \text{ м}$	
Напруга на електродах, В	25,4	24,9	28,0
Ступінь обезводнення, відн. од.	0,52	0,80	0,91
Питома енергоємність електроосмотичного обезводнення, кВт·год./м³	186,1	183,5	199,6
Питома енергоємність обробки біомаси, кВт·год./м³	96,8	146,8	181,6
Значення напруги на електродах, приведеної теоретичним шляхом, В	24,7	24,7	28,8
Відхилення теоретичного значення напруги на електродах від експериментального, %	2,7	0,8	2,8

Лабораторно-виробнича перевірка електроосмосного обезводнення активного мулу показала, що обезводнення електроосмосу дозволяє одержати 98% ефективності очищення відокремлюваної рідини і скоротити приведені витрати залежно від умов і режимів обробки на 6...16%.

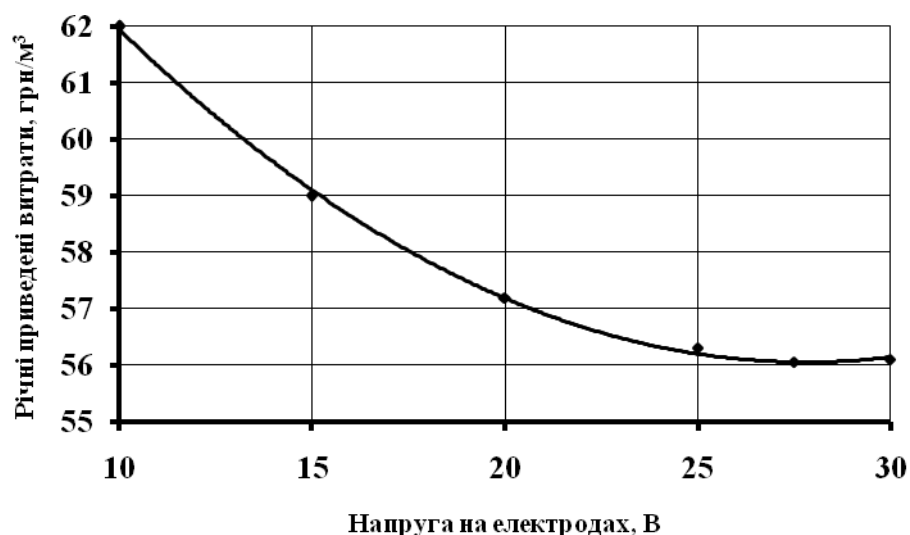


Рис. 5.25. Залежність річних приведених витрат на обробку біомаси активного мулу із застосуванням електроосмосного обезводнення в поєднанні з термічною сушкою від напруги на електродах при міжелектродній відстані 2 см.

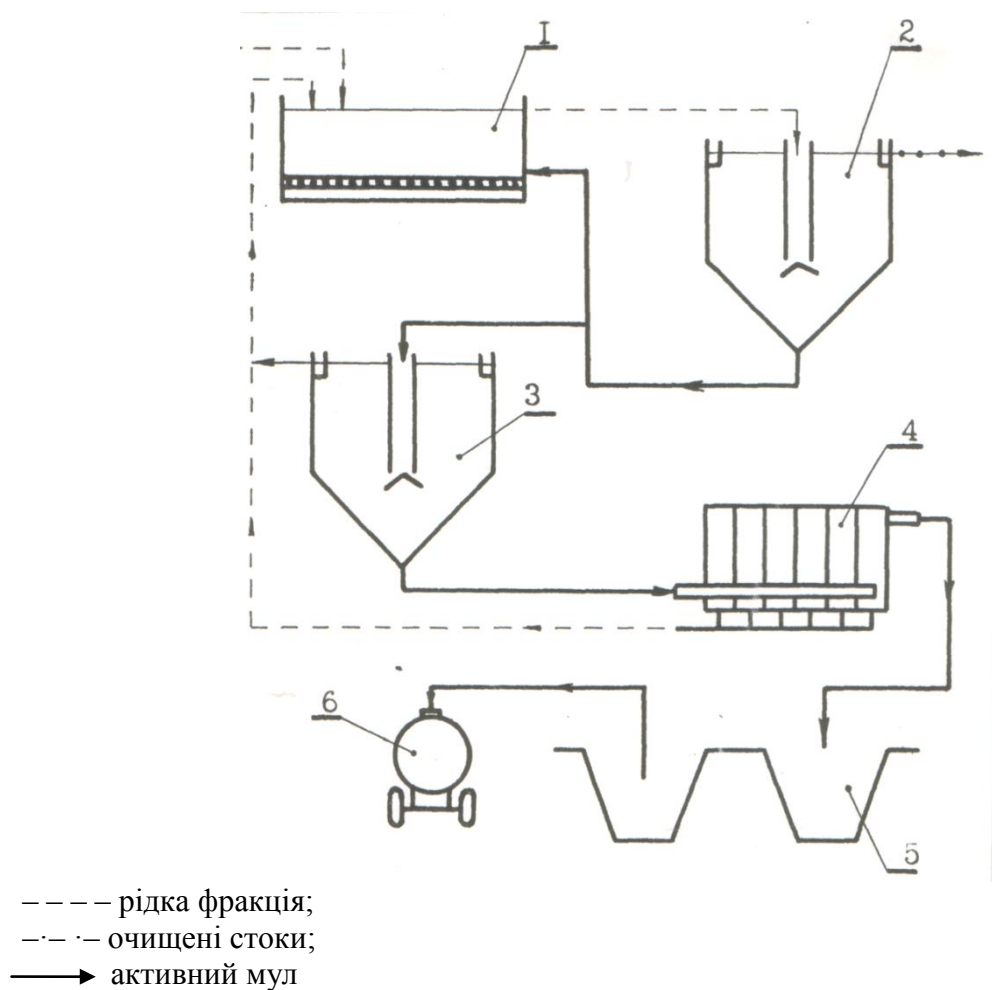


Рис. 5.26. Технологічна схема обробки біомаси активного мулу методом електро-осмосу в поєднанні з біологічним обезводненням:

1 – аеротенк; 2 – відстійник для відділення біомаси активного мулу; 3 – відстійник-ущільнювач біомаси активного мулу; 4 – електрообезводнювач; 5 – мулосховище; 6 – цистерна для вивозу мулу на поля.

5.6. Приготування органічних добрив із заданими фізико-механічними властивостями і збалансованих по поживних речовинах

Основним способом виробництва високоякісних органічних добрив є компостування суміші гною, посліду, осаду міських стічних вод (біологічно активних компонентів) з вологопоглинаючими матеріалами (торф, подрібнена солома, деревні ошурки, листя і ін.) і мінеральними компонентами [34, 27, 305, 115, 121, 133, 138].

При компостуванні органічних речовин вирішується завдання по накопиченню рухомих елементів, знищенню схожості насіння бур'янів, яєць і личинок гельмінтів, а також інвазивної здатності деякої патогенної мікрофлори.

Встановлено, що знищення насіння бур'янів і дегельмінтизація органічних сумішей приготовлених на основі використання гною і осаду міських стічних вод, найефективніше відбувається в термофільному режимі, тобто при температурі 53...55 °С, а накопичення рухомих форм поживних елементів – при мезофільному режимі, тобто при температурі 25...35 °С [15, 26, 35, 62]. Це зумовлює проведення компостування в двох режимах: спочатку в термофільному, а потім в мезофільному. За умови досягнення рівномірної температури 55 °С повна дегельмінтизація відбувається через 4 доби, а втрати схожості насіння бур'янів – через добу. Внаслідок температури по перетину бурта, в реальних умовах, час дегельмінтизації збільшується до одного місяця влітку і до двох місяців взимку при періодичному перемішуванні. За цей час в умовах змішаного режиму закінчується накопичення поживних елементів суміші в необхідній кількості [6, 115, 133, 129, 160, 221].

У разі протікання біотермічних процесів тільки в мезофільному режимі суміш дегельмінтизується тільки через 4...6 місяців компостування, а схожість насіння бур'янів залишається.

У зв'язку з цим всі операції приготування твердих органічних добрив повинні бути спрямовані на отримання сумішей, що забезпечують на першому етапі технологічного процесу інтенсивну життєдіяльність термофільних мікроорганізмів.

Для отримання оптимальних біотермічних процесів в термофільному режимі вологість компостованої суміші повинна знаходитися в межах 65... 70%, однорідність змішування компонентів не перевищувати 10% [6, 64, 101, 117, 250].

Основний вплив на процеси компостування сумішей гною, посліду, осадів міських стічних вод з вологопоглинаючими матеріалами має співвідношення вуглецю до азоту. Агрохімічними дослідженнями встановлено, що найбільш оптимальні умови для компостування різних сумішей створюються при співвідношенні вуглецю до азоту від 20 до 30. При надлишку вуглецю сповільнюється розкладання органічної речовини, а надлишок азоту приводить до великих його втрат у вигляді ам'яка.

Кількість вологопоглинаючого наповнювача (торф, солома і ін.) необхідного для приготування органо-мінеральної суміші можна визначити за формулою:

$$Q_m = \frac{\left[100(W_z - W_{cm}) + \sum_{i=1}^m K_j (W_j - W_{cm}) \right] Q_\delta}{100(W_{cm} - W_m) - \sum_{i=1}^m K_j (W_j - W_{cm})}, \quad (5.31)$$

де W_z , W_{cm} , W_m , W_j – вологість відповідно гною (посліду), суміші, вологопоглинаючого матеріалу, мінеральних добавок %; Q_m , Q_δ – маса відповідно вологопоглинаючого матеріалу і гною (посліду), кг; K_j – кількість мінеральних добавок в суміші, %

У разі, коли мінеральні добавки не вводяться в органічну суміш, що підлягає компостуванню формула (5.31) набуває вигляду:

$$Q_m = \frac{(W_z - W_{cm}) Q_\delta}{(W_{cm} - W_m)} \quad (5.32)$$

Аналіз даної залежності показує, що для отримання суміші вологістю 70...75% (вологість заготовлюваного торфу знаходиться в межах 60...65%) вологість гною або посліду повинна бути не вище 90%, інакше одну частку їх необхідно змішувати з більш ніж 2 частками водопоглинаючих компонентів.

Для підвищення інтенсивності життєдіяльності мікрофлори в органічних сумішах застосовують різноманітні мінеральні або органічні добавки, поліпшуючи поживний склад або фізико-механічні властивості суміші.

До першої групи добавок відносяться фосфорна мука і суперфосфат. Їх наявність в компостній суміші (1,5...2% від маси суміші) різко підсилює мікробіологічні процеси, прискорює гуміфікацію суміші і створює умови для активного поглинання аміачного азоту мікроорганізмами, що призводить до зниження його втрат. При приготуванні торфогнойових компостів під картоплю додають 0,5% калійної солі від маси суміші. Часто застосовують при компостуванні органічних сумішей карбонатні форми вапняних добрив – вапняну і доломітову муку, вапняний туф, мул і ін. Втрат азоту з гною при цьому не відбувається.

Друга група добавок представлена органічними матеріалами, які мають крупніші частинки і збільшують пористість суміші: ошурки, деревна кора, солома і інші.

Останнім часом у ряді господарств, відповідно до рецептів районних агрохімлабораторій, взято курс на приготування багатокomпонентних органомінеральних добрив збалансованих за поживними компонентами. Рецепти сумішей складаються з урахуванням агрохімічного стану полів, вирощуваних сільськогосподарських культур і наявності органічних і мінеральних компонентів. Такий підхід до комплексного використання для ґрунту наявних органічних і мінеральних ресурсів дозволяє не тільки забезпечити високу якість добрив, але і зменшити частину робіт по внесенню мінеральних добрив.

Згідно дослідженнями виконаними в Дніпропетровському сільськогосподарському інституті і ННЦ «ІМЕСХ» встановлено, що для

отримання високоякісних добрив на основі осаду міських стічних вод і торфу, необхідно виходити із наступного співвідношення компонентів [101]: осад стічних вод вологістю 87...92% – 48,5%; торф, вологістю 50% – 48,5%; суперфосфат – 1%; каїніт – 1%; аміачна вода – 1%.

При додаванні мінеральних добрив до компостованих компонентів потрібне ретельне перемішування складових компостованої маси.

Безпідстилковий і твердий гній, пташиний послід в більшості з торфом, соломою, деревними ошурками і іншими вологопоглинаючими матеріалами компостують в гноєсховищах, на спеціальних прифермських і польових майданчиках, використовуючи для перемішування компонентів бульдозери, навантажувачі загального призначення, навантажувач безперервної дії ПНД-250, перевантажник органічних добрив ПОУ-40, різні пристосування до серійних сільськогосподарських машин.

Проте на крупних тваринницьких комплексах і птахофабриках, де накопичуються великі об'єми гнойової маси, раціонально компостувати її з торфом і мінеральними добавками на механізованих майданчиках, обладнаних спеціальними стаціонарними або мобільними машинами.

Для змішування органічних і мінеральних компонентів застосовують стаціонарні лопатеві або гвинтові (двогвинтові) змішувачі.

При застосуванні лопатевих змішувачів для приготування органо-мінеральних сумішей їх продуктивність визначається за формулою:

$$Q = 2Knh \cos \alpha \left[2\pi R_{cp} b - \frac{5b^2 \cos \beta}{4 \sin(\alpha - \beta)} \right], \quad (5.33)$$

де K – коефіцієнт, що враховує перекриття лопаток і зворотне осипання суміші; R_{cp} – середній радіус лопаті, м; n – частота обертання лопатей, розрахована за формулою:

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(\sin \beta + \operatorname{tg} \beta \cos \rho)g}{R}}, \quad (5.34)$$

ρ – кут віднесення суміші в змішувачі, град; R – зовнішній радіус лопатей, м; β – кут тертя матеріалу об поверхню лопаті; α – кут установки лопаті; g – прискорення сили тяжіння, м/с²; h – висота переміщуваного шару суміші, м.

При приготуванні органомінеральних сумішей із застосуванням двохгвинтового змішувача-конвейєра оптимальний кут підйому гвинтових ліній, при якому забезпечується максимальна осьова швидкість і продуктивність визначається за формулою:

$$\alpha = 0,5 \arctg \frac{\omega^2 r f_z}{g \cos \gamma} - \frac{\psi}{2}, \quad (5.35)$$

де γ – кут нахилу осі до вертикалі; f_z – коефіцієнт тертя матеріалу об робочу поверхню гвинта; ψ – коефіцієнт тертя матеріалу в русі; r – зовнішній радіус; ω – кутова швидкість.

Граничний кут нахилу осі гвинтів при якому матеріал не транспортується, тобто осьова швидкість матеріалу рівна нулю, визначається за формулою:

$$\delta = 0,75 \left\{ 90 + (\alpha + \psi) + \arcsin \left[\frac{\omega^2 r f_z}{g} \cos(\alpha - \psi) \right] \right\}. \quad (5.36)$$

При куті нахилу осі гвинтів до горизонту $\alpha < \delta$ гвинтовий конвейєр переміщатиме матеріал при будь-якій швидкості обертання гвинтів і незалежно від їх заповнення.

Продуктивність гвинтового змішувача-конвейєра в загальному вигляді можна визначити за формулою:

$$Q = 3600 \gamma F_c V_s, \quad (5.37)$$

де F_c – площа поперечного перетину потоку суміші, м²; γ – щільність маси, кг/м³; V_s – осьова швидкість транспортування маси, м/с; $V_s = K_v S n / 60$ S – крок гвинта, м; n – частота обертання гвинтів, хв.⁻¹; $K_v = 0, 2 \dots 0, 9$ коефіцієнт використання міжвиткового об'єму.

Потужність, що витрачається на подолання опору при змішуванні і транспортуванні компонентів, визначається за формулою:

$$N = KCgI(L + H)\omega_0, \quad (5.38)$$

де $\omega_0 = 1,2 \dots 4,0$ - коефіцієнт опору переміщенню маси; $C = 1,0 \dots 3,0$ при $\beta = 20 \dots 90^\circ$ - коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу шнека; L, H - відповідно довжина транспортування і висота підйому маси.

Згідно експериментальним дослідженням виконаним в ННЦ «ІМЕСГ» (Ярошук В.А., Огородник А.І) оптимальними параметрами гвинтових змішувачів-конвейєрів є: кількість гвинтів – 2 шт.; діаметр гвинтів – 0,8 м; крок витків – 0,4 м; частота обертання – $0,8 \dots 1,0 \text{ с}^{-1}$; кут нахилу гвинтів до горизонту в стаціонарному змішувачі 20° .

Комплекс машин для приготування органомінеральних сумішей з двогвинтовим змішувачем-конвейєром включає дозатор подрібненого торфу, дозатор мінеральних добрив (тукозмішувальна установка УТН-30 або УТС-30) із стрічковим конвейєром, насос безпідстилкового гною або посліду НЖН-200 з краном-дозатором. Завантаження дозаторів торфу і мінеральних добрив здійснюється завантажувачами ПФП-1,2, ПЭА-1,0.

Приготовлену в похилому гвинтовому змішувачі-конвейєрі суміш складають в бургт за допомогою бульдозера, де періодично відповідно до вимог агро-хімічної служби, переміщується навантажувачем безперервної дії ПНД-250 або мобільним змішувачемаєратором з гвинтовими робочими органами.

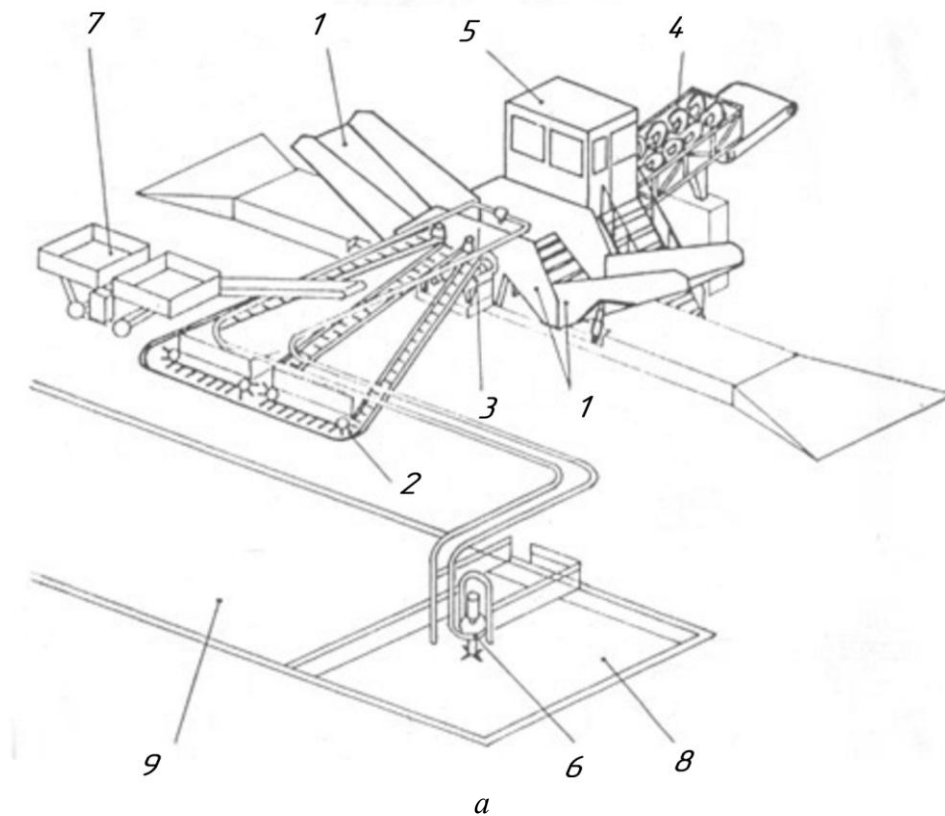
Продуктивність такого комплексу машин складає 500... 600 т суміші за зміну, витрати праці – 0,096 люд.·год на тонну суміші.

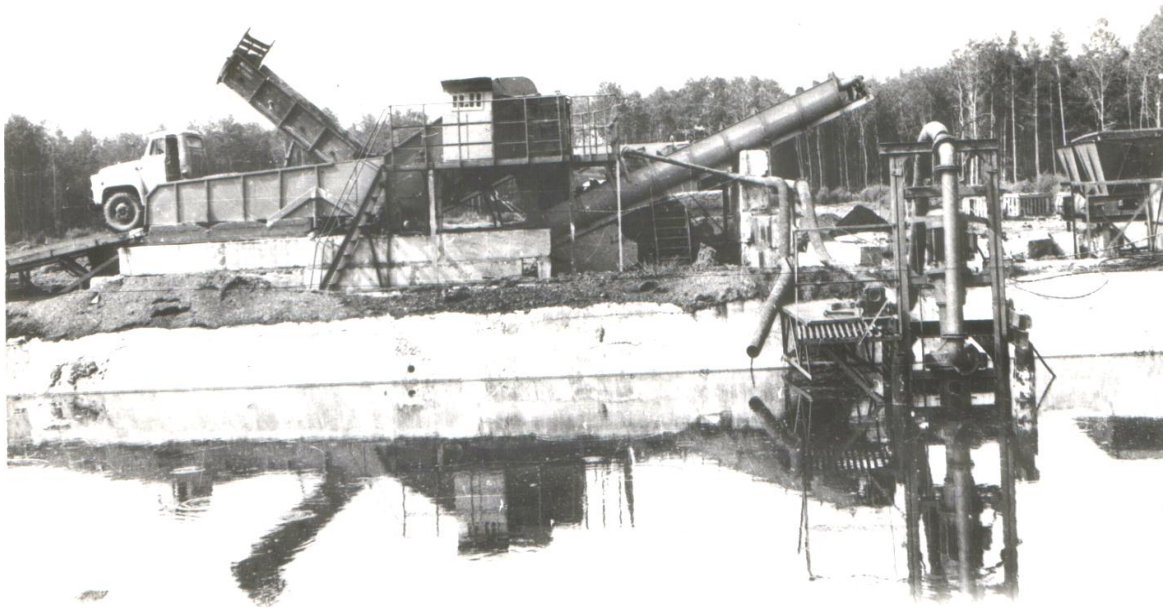
При використанні для приготування компостів декількох органічних компонентів, в технологічній лінії вмонтовується другий живильник і додатковий двогвинтовий змішувач-конвейєр, що встановлюється перед похилим змішувачем (рис. 5.26).

Схема стаціонарного пункту для приготування органічних добрив приведена на рис 5.26.

Для здійснення змішування компонентів компосту в польових умовах доцільно використовувати простіші мобільні способи приготування суміші, які змогли б в максимальній мірі забезпечити агротехнічні вимоги до приготування

компосту (рис. 5.27). З погляду кращого розподілу компонентів в загальній масі прогресивним є принцип пошарового приготування суміші [35,179].





б

Рис. 5.26. Схема (а) та загальний вигляд (б) стаціонарного пункту для приготування органічних добрив;
1,2 – живильники торфу і підстилкового гною; 3,4 – змішувачі; 5 – кабіна оператора; 6 – насос для подачі безпідстилкового гною; 7 – тукозмішувальна установка; 8,9 –гноєсхо-вища для безпідстилкового і підстилкового гною.

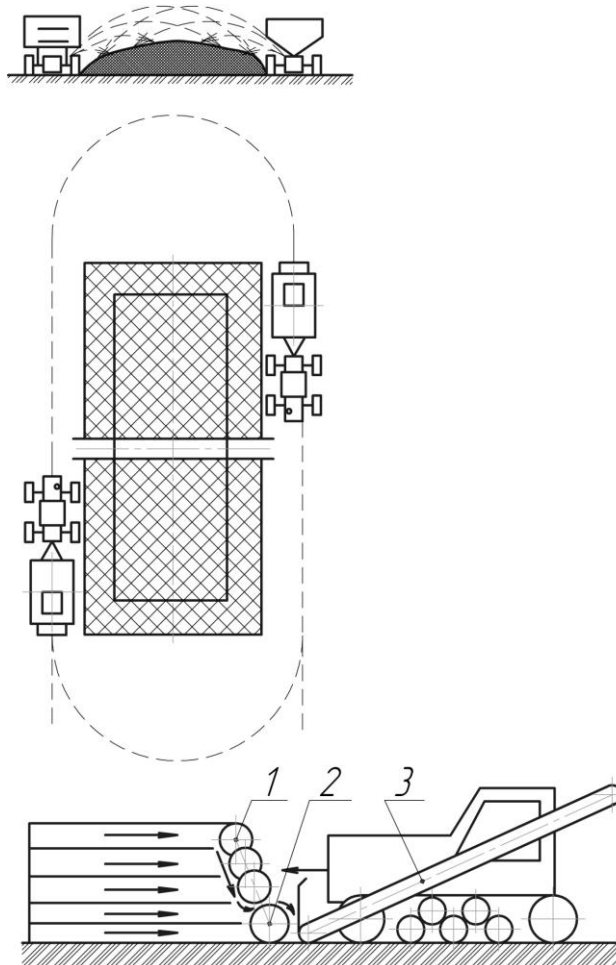


Рис. 5.27. Технологічна схема приготування органічних добрив з використанням мобільних машин:

а) формування бурту з шарів компонентів; б) перемішування шарів компонентів;

1 – заборно-змішуючі робочі органи; 2 – шнек; 3 – стрічковий конвейєр.

Конструкційна схема машини із змінним модулем для пошарового укладання твердих компонентів до кузовних розкидань приведена на рис. 5.28. При використанні соломи в суміші з безпідстилковим гноєм і пташиним послідом остання укладається спеціальним пристосуванням, розробленим до кормороздавача КТУ-10А.

З метою поліпшення якості змішування пошарово укладених компонентів в борт виконане доопрацювання заборно-змішуючого органу навантажувача безперервної дії ПНД-250 (машина МПК-Ф-1), який забезпечує подрібнення матеріалу, захоплення і подачу маси до подовжнього конвейєра по всьому перетину багатошарового бурту. При тако-му захопленні робочим органом маси, що переробляється, досягається подібність процесу перемішування заборно-змішуючими робочими органами навантажувача процесу перемішування в стаціонарних змішувачах.

Технологія приготування органічних добрив перевіряється в господарствах Київської області при виробництві органічних добрив для вирощування овочів в закритому ґрунті.

Слід зазначити, що технологія виробництва органічних добрив з використанням мобільного комплексу машин є більш універсальною і доцільною для застосування в будь-якому господарстві, ніж технологія з використанням стаціонарного комплексу машин і устаткування.

При компостуванні рідкого гною з вологопоглинаючими компонентами розроблена технологічна схема згідно якої передбачається рідку гнойову масу зневоднювати до вологості 88...92%. З цією метою в технологічній лінії при подачі до змішувача гнойової маси передбачена установка сепаратора для її обезводнення (рис. 5.29).

Дана технологічна лінія може працювати і без торфу із збагаченням гнойової маси тільки мінеральними добавками.

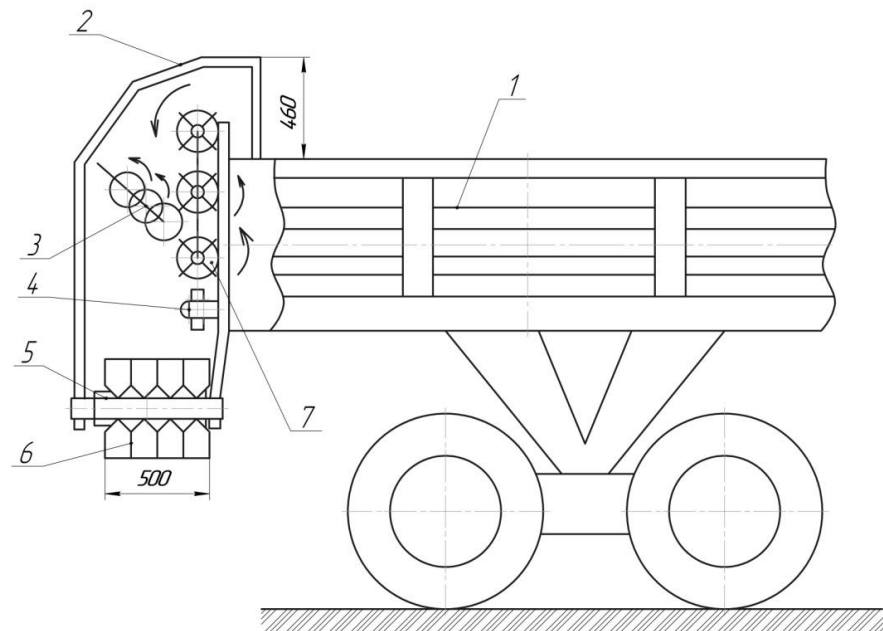


Рис. 5.28. Конструктивна схема машини із змінним модулем для пошарового укладання буртів:

1 - кузов; 2 - каркас модуля; 3 - пайлерні барабани; 4 - конвейєр; 5 - стрічковий конвейєр; 6 - металітник роторний.

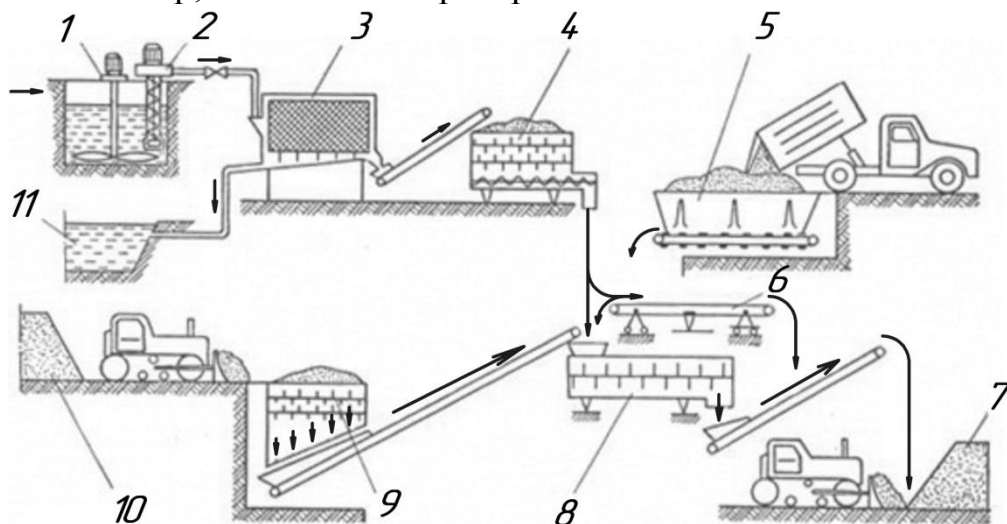


Рис. 5.29. Технологія компостування гнойової маси підвищеної вологості:

1 – змішувач; 2 – насос; 3 – сепаратор безпідстилкового гною; 4 – дозатор твердої фракції; 5 – дозатор мінеральних добрив; 6 – конвейєр змінного руху; 7 – бұрт суміші; 8 – лопатевий змішувач; 9 – дозатор торфу; 10 – бұрт торфу; 11 – сховище рідкої фракції.

Приготовлену органомінеральну суміш за допомогою мобільних або стаціонарних машин укладають в бұрт, а потім перемішують (аерують) за допомогою навантажувача безперервної дії ПНД-250 або спеціального двошнекового змішувача-аєратора, розробленого в ННЦ «ІМЕСГ».

Розроблені технології компостування безпідстилкового гною, пташиного посліду з вологопоглинаючими компонентами (торф, солома, ошурки і ін.) і мінеральними добривами перевірені при приготуванні органічних добрив на основі використання осаду міських стічних вод.

Результати досліджень, виконані в ННЦ «ІМЕСГ», Дніпропетровському сільськогосподарському інституті дозволили УкрНДІагропроект розробити проект експериментального цеху по виробництву органічних добрив на основі використання осаду стічних вод м. Києва (рис. 5.30), продуктивністю 100 тис.т добрив в рік.

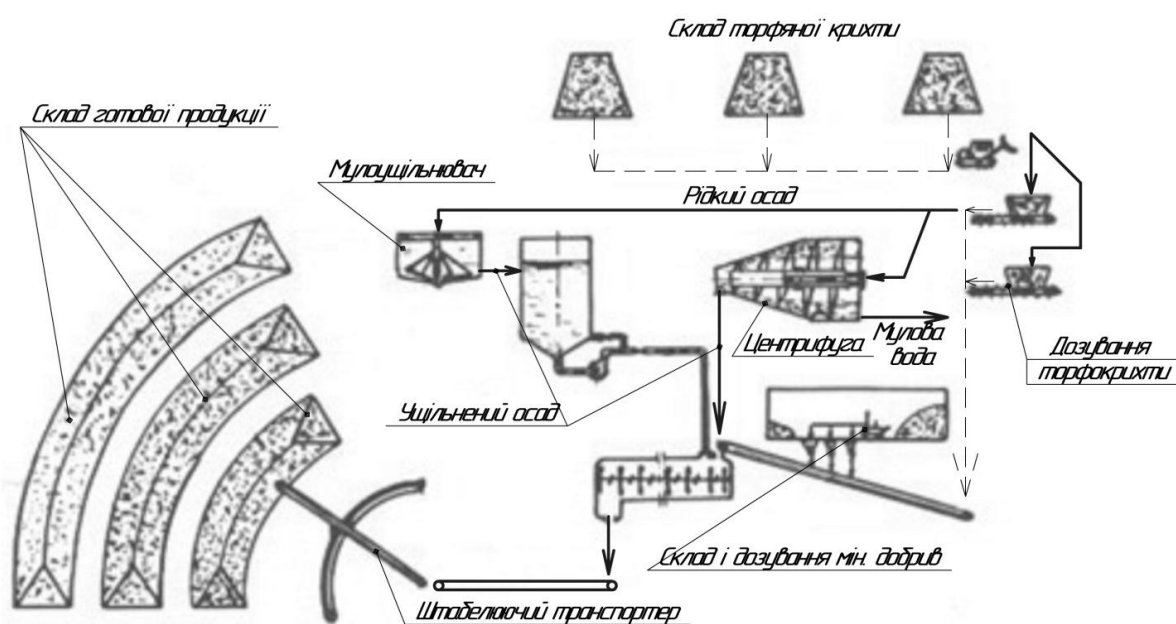


Рис. 5.30. Технологічна схема виробничо-експериментального цеху для приготування торфомулових добрив.

РОЗДІЛ 6. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПОВЕРХНЕВОГО І ВНУТРІГРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

Обґрунтуванню технологічних і технічних рішень поверхневого внесення безпідстилкового гною вологістю 92 % і вище присвячені дослідження С.І. Назарова, Н.М.Марченко, Л.А.Шемелінського і інших учених. На підставі виконаних досліджень розроблені і впроваджені в сільськогосподарське виробництво машини РЖТ-4, РЖТ-8, РЖТ-16, МЖТ-6, МЖТ-10, МЖТ-16, для поверхневого внесення рідкого безпідстилкового гною [131, 132, 151, 223].

Внесення гнойової маси вологістю менше 92 % (напіврідкий гній) до теперішнього часу не вирішено, потрібне також обґрунтування технологічних і технічних рішень процесу внутрігрунтового внесення рідкого гною при основному обробітку ґрунту, на лугах і пасовищах, при підживленні просапних культур, а також внесення твердих органічних добрив роторними розкидачами.

6.1. Обґрунтування технологічних і технічних рішень застосування напіврідкого гною

Досвід експлуатації систем прибирання гною показав, що на фермах з гідравлічним методом видалення екскрементів тварин, як правило, гнойова маса в сховища надходить вологістю 95... 97 %, а у ряді випадків (крупні свинарські комплекси) вологість її досягає до 98...99 %.

Розбавлення безпідстилкового гною водою призводить до збільшення його об'єму в 1,25...5,0 разів (рис. 6.1) і зростанню, приблизно в стільки ж разів витрат на зберігання, транспортування і внесення розрідженого гною. Крім того, в розрідженому гної зміст основних поживних елементів (N, P, ДО) знижується в 2,0...4,5 рази в порівнянні з гнойовою масою вологістю 91...92 % [15, 250].

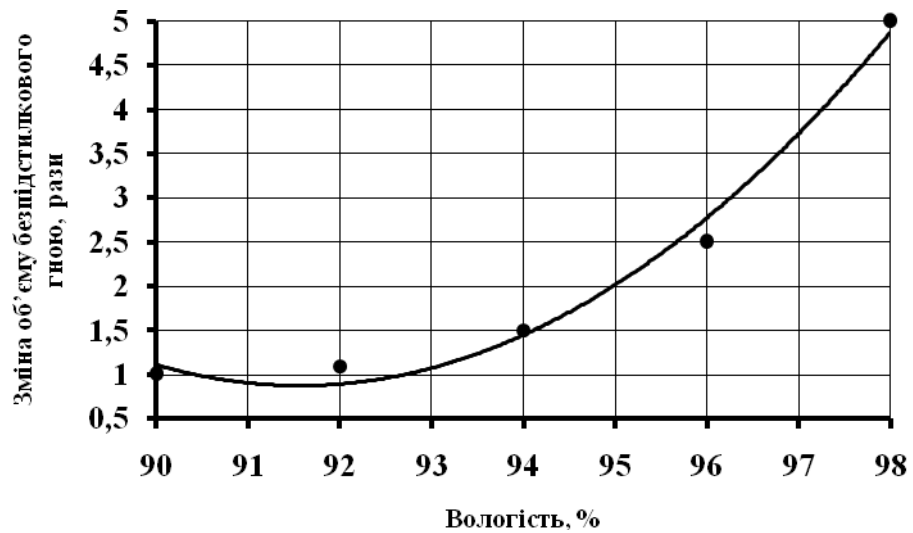


Рис. 6.1. Залежність зміни об'єму безпідстилкового гною від вологості.

У зв'язку з цим останнім часом все більшого поширення набувають технології прибирання гною без додавання води. До них відносяться системи, які передбачають монтаж під ґратчастими підлогами механічних робочих органів (скребкові, скреперні, штангові, гвинтові конвейєри).

Безпідстилковий гній, що видаляється механічними засобами з-під ґратчастої підлоги, має вологість 85...92 % і високу концентрацію поживних речовин. Проте існуючий комплекс машин, розроблений в основному для рідкого гною - насоси НЖН-200, НЦІ-Ф-100, ПНЖ-250, розкидачі РЖТ-8, РЖТ-16, МЖТ-6, МЖТ-10, МЖТ-16 працюють з напіврідкою масою незадовільно як на завантаженні, так і на розподілі маси по поверхні ґрунту. Причиною цьому є низька текучість маси, яка впливає на продуктивність вказаного комплексу (продуктивність знижується в 1,5...2,5 разу) і на надійність технологічного процесу в цілому.

Ґрунтуючись на рекомендаціях агрономічної науки раціональними способами використання напіврідкого гною є наступні (рис. 6.2):

- внесення напіврідкого гною під основний обробіток ґрунту (основне внесення);

– використання напіврідкого гною для приготування компостів з органічними наповнювачами (торф, солома, деревні подрібнені відходи, сапропелі і ін.).

Базовою машиною обох технологічних схем використання напіврідкого гною є спеціальний розкидач, який забезпечує якісний розподіл маси як по поверхні ґрунту, так і по шару органічного наповнювача.

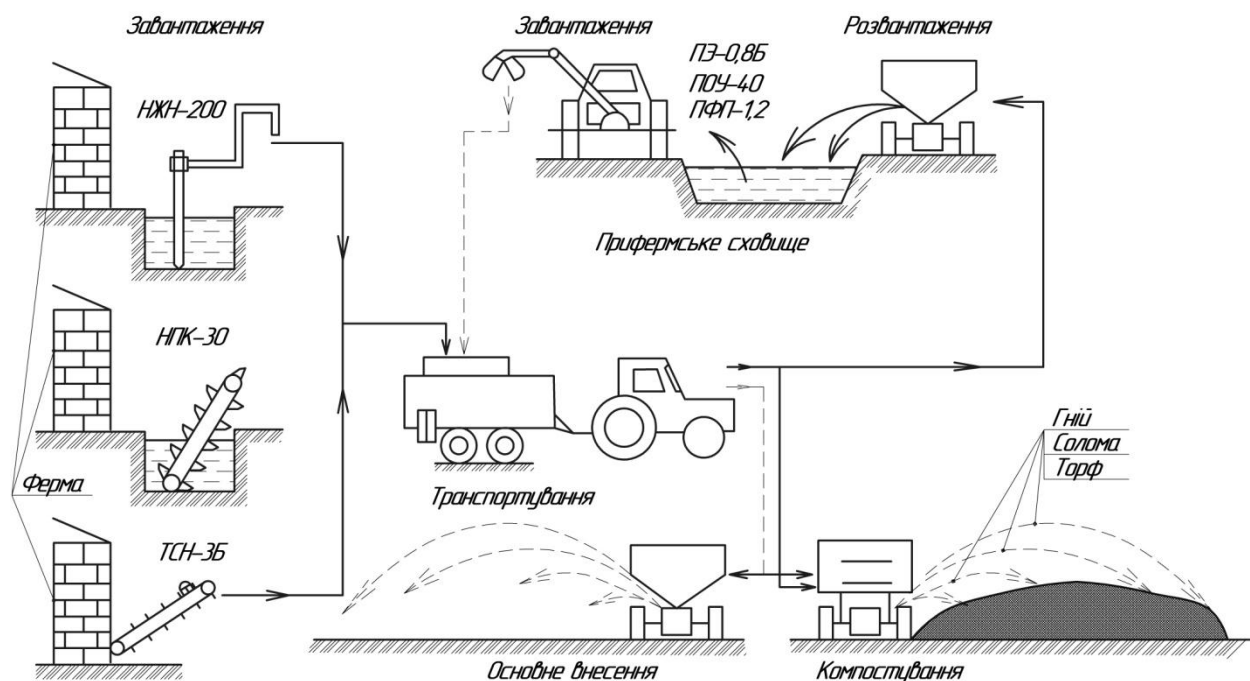


Рис. 6.2. Технологічна схема використання напіврідкого гною.

Враховуючи, що нерівномірність механічного розподілу маси добрив по поверхні ґрунту і нерівномірність розподілу елементів живлення в масі органічного добрива некорельовані, можна записати:

$$\sigma^2[NPK] = \sigma^2[M] + \sigma_M^2[NPK] \quad (6.1)$$

де $\sigma^2[NPK]$ – дисперсія розподілу азоту, фосфору, калію; $\sigma^2[M]$ – дисперсія розподілу маси органічних добрив на поверхні ґрунту; $\sigma_M^2[NPK]$ – дисперсія розподілу азоту, фосфору і калію в масі добрива.

Звідси
$$\sigma^2[M] = \sigma^2[NPK] - \sigma_M^2[NPK] \quad (6.2)$$

З рівняння видно, що органічні добрива слід вносити на поверхню ґрунту з меншою нерівномірністю, ніж допустима нерівномірність внесення мінеральних добрив.

Таким чином при розробці нової техніки для напіврідких органічних добрив з урахуванням перспективи розвитку технології його застосування слід орієнтуватися на тенденцію посилення вимог щодо рівномірності внесення від прийнятого 25 % (по коефіцієнту варіації).

З урахуванням викладених вимог обґрунтована технологічна схема, розроблена конструкція, виготовлені і перевірені в лабораторно-польових умовах макетні зразки розкидання напіврідких органічних добрив, що включають місткість у вигляді трикутної призми з нахилом бічних стінок до горизонтальної площини під кутом 35...40, що забезпечує коефіцієнт спорожнення 0,98... 0,99, пристрої пайлерних барабанів для відділення чужорідних включень ґною в процесі його завантаження ковшовими робочими органами (рис. 6.3).

Оптимальна масова місткість бункерів машин при агрегуванні їх з різними тракторами, отримана мінімізацією приведених витрат на завантаження, транспортування і внесення добрив і визначається із залежності:

$$Q_M = \left\{ \frac{Lf_m G_m^2 \left(\frac{m_n d_n}{K_M} + m_b d_b + \frac{B_n \sum A_n}{K_M T_n} + \frac{B_m \sum A_m}{T} + q U_e q_e N_e \right)}{K_N \tau} \right\}^{0,5} \quad (6.3)$$

$$\left\{ \frac{B_m \sum A_m}{T_M} \left[\frac{Lf_M (1 + \xi)}{K_N \tau} + \frac{1}{W_n} + \frac{1}{W_M} - \frac{0,005 \pi H B^2 V_a}{q_e N_e W_M} \right] \right\}$$

де $K_N = 0,1 N_e q_e (1 - \delta)$; L – радіус транспортування добрив, км; τ – коефіцієнт використання часу зміни; G_M – маса трактора, т; N_e – потужність двигуна, кВт; δ, q_e, f_m, f_M – коефіцієнти буксування, використання потужності двигуна, опору перекочуванню трактора і машин; ξ – коефіцієнт, що враховує відношення маси машини до місткості її бункера; q, U_e – питома витрата, кг/кВт-ч і вартість, грн/кг, пального; H, B – доза, т/га, і ширина, м, внесення добрив; V_a – робоча швидкість навантажувача і машини, т/год; d_n, d_b, m_n, m_b – годинна

оплата, грн/люд.-год, і кількість робітників, люд., на завантаженні і внесенні добрив; T_m , T_M – річне завантаження трактора і машини, год; $\sum A$ – сумарні коефіцієнти відрахування на реновацію, ремонт і зберігання відповідних машин; K_m – число машин, шт., що обслуговуються навантажувачем; W_n , W_M – продуктивність навантажувача і машини, т/год.

На рис. 6.4 представлена принципова схема розподіляючого робочого органу базової машини. Робочий орган складається з двох лопатевих роторів – низькообертового, високообертового і направляючої викиду. є таким, що розподіляє і його Призначення низькообертового ротора забезпечити рівномірний розподіл добрив на першій половині ширини захоплення.

Другий ротор – високооборотний. Призначення високооборотного ротора – забезпечити рівномірний розподіл добрив на другій половині ширини захоплення.

Нерівномірність внесення гною розподіляючим робочим органом вивчалася поетапно. Спочатку вивчалася нерівномірність розподілу гною низькообертовим ротором, потім високообертовим. Причому нерівномірність розподілу визначалася залежно від кута зрізу направляючої викиду.

При дослідженнях машина вантажопідйомністю 12 тонн агрегувалась з трактором Т-150К, а машина, вантажопідйомністю 7 тонн – з трактором МТЗ-82.

Результати обробки експериментальних даних представлені на рис. 6.5 і рис.6.6.

Гістограма розподілу добрив по поверхні поля (рис.6.5) не має спадаючих ланок. Це досягнуто за рахунок застосування в роторі металевих секцій, що забезпечує компактність викиду частини вхідного на робочий орган потоку добрив. Завдяки цьому краї смуги розподілу добрив не мають плавного зменшення дози внесення, що забезпечує можливість точного водіння агрегату уздовж краю смуги розподілу добрив без перекриття робочої ширини суміжних проходів.

Істотно впливає на якість розподілу добрив кромка спрямовуючої викиду під відповідним кутом. Призначення її полягає в доданні вектору початкової швидкості змінного кута щодо горизонту. Виконаними дослідженнями встановлено, що для спрямовуючої, що направляє викид маси низькооборотним роторним метальником оптимальним кутом слід вважати кут 51° , а для спрямовуючої тієї, що направляє викидом високооборотним метальником – 20° (рис. 6.6).

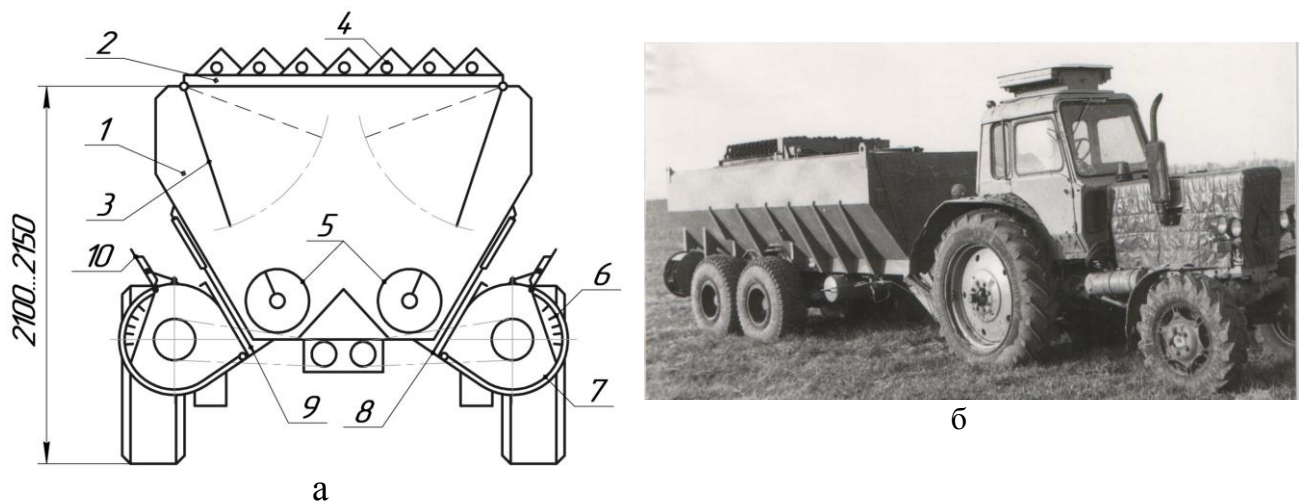


Рис. 6.3. Конструкційно-технологічна схема (а) та загальний вигляд (б) машини для розкидання напіврідкого гною:
 1 – місткість; 2 – завантажувальний люк; 3 – стулки для герметичного закривання люка; 4 – пристрій для відділення чужорідних включень від напіврідкого гною в процесі його завантаження; 5 – подаючі робочі органи; 6 – розподілючий ротор; 7 – направляючий щиток; 8 – задвижковідсікач; 9 – заслінка; 10 – щиток.

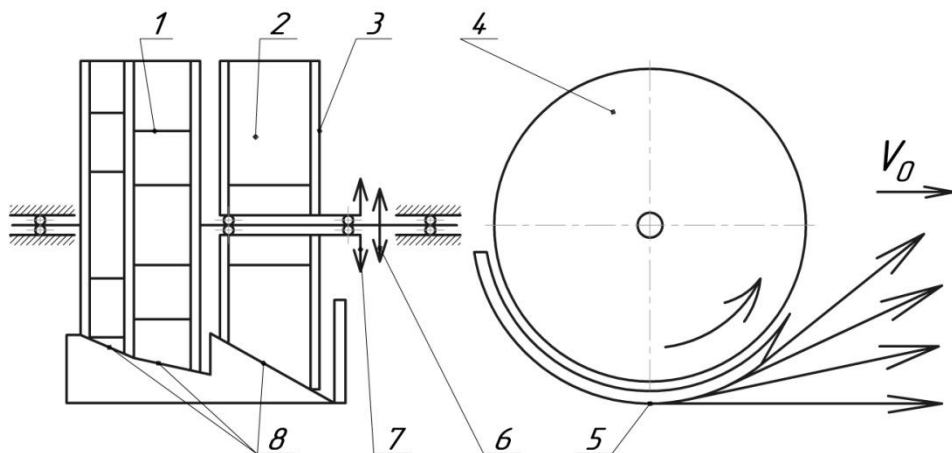


Рис. 6.4. Схема розподільного робочого органу:

1 – лопатки високообертового ротора; 2 – лопатки низькообертового ротора; 3, 4 – диски; 5 – направляюча викиду; 6, 7 – зірочки приводу; 8 – кромки зрізу направляючої викиду

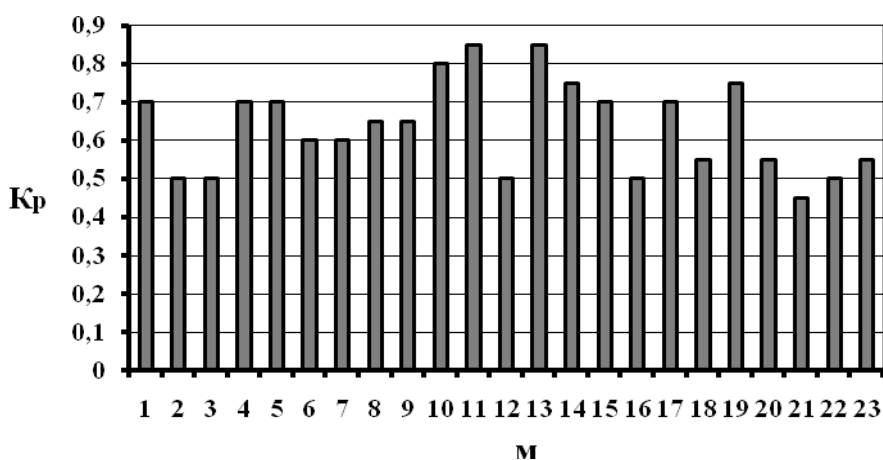


Рис. 6.5. Гістограма розподілу добрив по поверхні

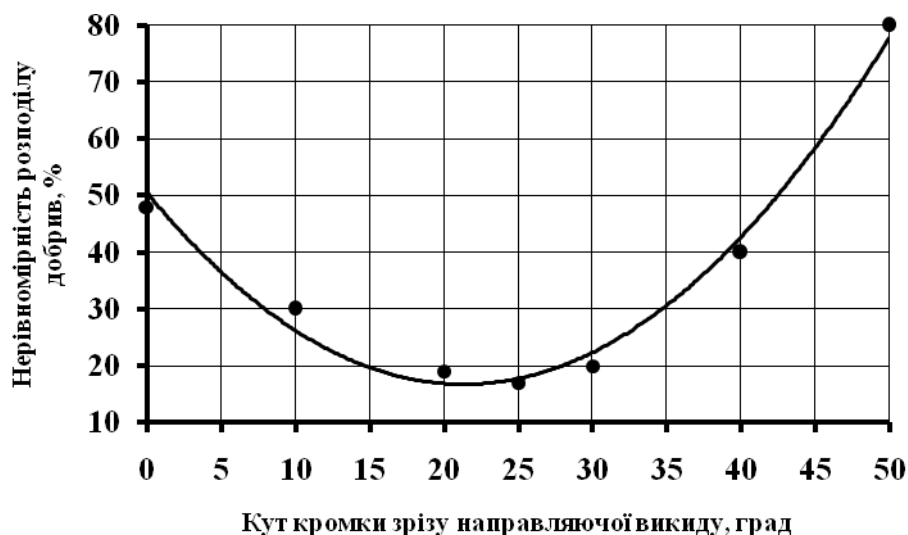


Рис. 6.6. Залежність нерівномірності розподілу добрив від кута кромки зрізу направляючої викиду.

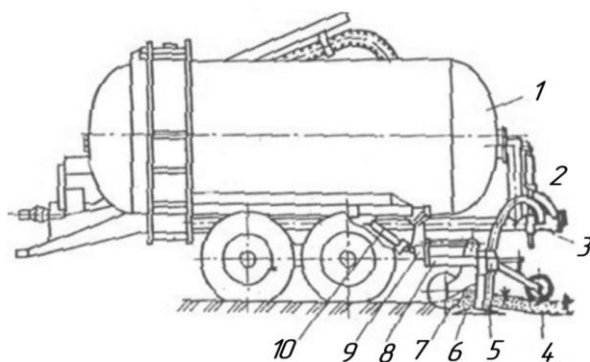
6.2. Внутрігрунтове внесення рідких органічних добрив

З метою зменшення до мінімуму втрат поживних речовин, запобігання розповсюдженню неприємних запахів, зниження рівня патогенних мікроорганізмів гнойову масу доцільно вносити у ґрунт на глибину 10...13 см. Даний спосіб внесення органічних добрив в порівнянні з поверхневим внесенням дозволяє, наприклад, підвищити врожайність лугових трав на 33...35 %, а просапних культур (цукровий, кормовий буряк, кукурудза) – на 10...15 % [20, 134, 161].

У нашій країні і за кордоном в основному застосовується поверхнєве внесення твердих і рідких органічних добрив. Випробування експериментальних зразків машин і пристосувань для внутріґрунтового внесення твердих органічних добрив свідчить про велику енергоємність процесу, необхідності ретельної підготовки гнойової маси, складності механізмів для дозування і транспортування її в шар ґрунту [21, 26, 62, 106, 138].

В даний час на базі цистерни-розкидача МЖТ-10 і пристосування для дозування, подачі і закладення в ґрунт гнойової маси створений агрегат АВВ-Ф-2,8, призначений для внутріґрунтового внесення рідких органічних добрив на лугах і пасовищах, схема агрегату приведена на рис. 6.7. Технологічна схема цього агрегату була використана в агрегатах АВМ-Ф-2,8 і АВО-Ф-2,8 для внутріґрунтового внесення рідких органічних добрив при вирощуванні просапних культур і основному обробітку ґрунту.

Одним з основних вузлів механічного засобу для внутріґрунтового внесення добрив є пристрій з робочими органами, встановлене в задній частині місткості. Процес внутріґрунтового внесення рідких органічних добрив включає наступні операції: вертикальний розріз шару ґрунту дисковим ножом (утворення вертикальної щілини); горизонтальне підрізування і підйом шару ґрунту (дернини) лапою (утворення підлапової місткості); подача добрив і розподіл їх в підлаповій порожнині; закриття розрізаючого шару ґрунту і, при внесенні добрив на лугах і пасовищах, ущільнення її катком (рис. 6.8).



а



б

Рис. 6.7. Схема (а) та загальний вигляд (б) агрегату АВВ-Ф-2,8 для внутрігрунтового внесення рідких органічних добрив на луках і пасовищах:

1 – місткість; 2 – підвідний трубопровід; 3 – розподільний пристрій; 4 – каток; 5 – стійка-трубопровід; 6 – стріласта лапа; 7 – дисковий ніж; 8 – рама; 9 – поперечна балка; 10 – гідроциліндр.

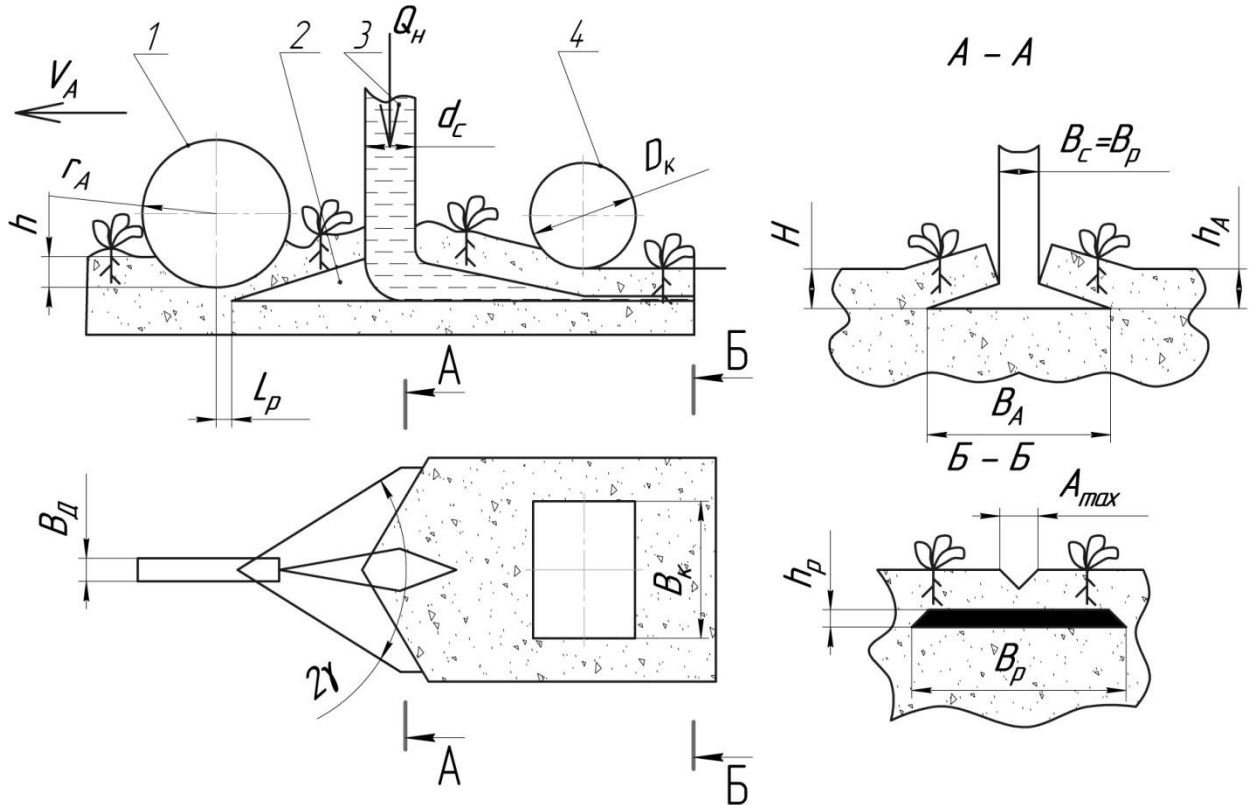


Рис.6.8. Схема до обґрунтування основних технологічних параметрів робочих органів для внутрігрунтового внесення рідких органічних добрив:

1 – дисковий ніж; 2 – лапа; 3 – стійка-трубопровід; 4 – каток.

Дослідженнями встановлено, що величина розхилу дернини (рис. 6.8), а відповідно і ширина стійки, при роботі робочого органу зв'язана прямою залежністю з шириною захвату і висотою підйому лапи:

$$b_c = b_l - \frac{2h_l}{\operatorname{tg}\psi}, \quad (6.4)$$

де b_l – ширина захвату лапи, м; h_l – висота підйому лапи, м; ψ – задній кут підйому крил лапи, град.

Середній діаметр відвідного трубопроводу, що підводить, можна визначити за формулою

$$d_{cp} = \frac{4Q_H \rho_H}{\pi \mu R_e}, \quad (6.5)$$

де ρ_n, μ – щільність і в'язкість органічних добрив; R_e – число Рейнольдса; Q_n – подача рідкого гною через виливний патрубок.

При розподілі рідких органічних добрив в підлаповій порожнині утворюється стрічка добрив, ширина і товщина якої залежить від геометричних параметрів і режимів роботи робочого органу, подачі рідини і фізико-механічних властивостей добрив. Ширина стрічки добрив визначається з виразу:

$$B_p = \frac{2QH}{\pi h_n \sqrt{V_a}}, \quad (6.6)$$

а товщина стрічки добрив після проходу робочого органу в ґрунті, що задернів:

$$h_p = h_n + \frac{4h_n^3 Q_n^2 \rho_n \text{Ctg} \gamma}{3\mu V_a K^2 \pi^2 B_n d_{cp}^4}, \quad (6.7)$$

де K – коефіцієнт, що враховує форму виливного патрубку; $K=0...1.0$; γ – кут розгину крила лапи; V_a – швидкість руху агрегату.

Ґрунтуючись на тому, що тяговий опір знаряддя і тягове зусилля трактора є функціями швидкості агрегату, отримані рівняння для визначення ширини захвату:

$$B = \frac{102 N_{ef} \eta_3 \eta_m - G_a f V_a - \rho_n Q_n P_n}{K_n H V_a} \quad (6.8)$$

і швидкості руху агрегату:

$$V_a = \frac{102 N_{ef} \eta_3 \eta_m - \rho_n Q_n P_n}{K_n H B + G_a f}, \quad (6.9)$$

де N_{ef} – ефективна потужність двигуна, кВт; η_3 – коефіцієнт завантаження потужності;

η_m – механічний коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора; P_n – тиск рідини, Па; K_n – коефіцієнт питомого опору ґрунту; G_a – маса агрегата, кг; f – коефіцієнт перекошування агрегату.

Експериментальні дослідження з визначення параметрів і режимів роботи розподіляючих і закладаючих робочих органів проводилися на польовій експериментальній установці, яка допускала заміну вузлів і зміну основних параметрів і режимів роботи.

Дослідження проводилися на старозораному полі пасовищного використання. Грунт – чорнозем суглинний. Вологість ґрунту глибиною до 25 см становила 25...26 %, а твердість – 1,56... 2,90 МПа.

При визначенні впливу швидкості руху агрегату на постійність глибини на установці були поставлені робочі органи з стійками круглого перетину діаметром 0,065 м і стрілчасті лапи шириною захвату 0,33 м.

Результати дослідів (табл. 6.1), показують, що з підвищенням швидкості руху при встановленій глибині 14 см, глибина ходу робочих органів зменшилася від 16,4 до 12,8 см, а при встановленій глибині 10 см – від 10,7 до 8,5 см. При швидкості руху 7,3 км/ч (2,02 м/с) робочі органи рухаються стійкіше, забезпечуючи встановлену глибину ходу

Таблиця 6.1 – Результати досліджень робочих органів.

Показники	Швидкість руху, м/с						
	0,52	0,88	1,52	2,02	2,58	3,19	3,77
Установлена глибина 10 см							
h_{cp} , см	10,7	9,9	11,2	10,3	8,5	9,1	9,0
σ , см	1,17	1,52	2,42	1,53	1,37	1,37	2,28
V , %	10,9	15,1	21,2	17,3	18,1	15,1	25,5
P , %	2,45	3,38	4,8	3,86	4,04	3,36	5,69
Установлена глибина 14 см							
h_{cp} , см	14,6	14,3	16,4	14,1	13,0	12,8	13,2
σ , см	1,46	1,22	2,42	1,78	1,53	1,37	2,28
V , %	10,0	8,5	4,6	9,6	14,9	12,3	11,7
P , %	2,23	1,9	1,01	2,14	3,33	2,74	2,60

h_{cp} – середньоарифметичне значення глибини ходу лап; σ – середнє квадратичне відхилення; V – коефіцієнт варіації; P – показник точності дослідів.

Ширина щілини в дернині після проходу робочого органу для внутріґрунтового внесення рідких добрив залежить від ширини стійки і швидкості руху (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Ширина щілини при різній ширині стійки робочого органу.

Ширина стійки, м	Показники	Швидкість руху, м/с						
		0,52	0,88	1,52	2,02	2,58	3,19	3,77
0,03	b , м	0,021	0,025	0,036	0,043	0,052	0,057	0,060
	σ , см	0,011	0,026	0,039	0,041	0,022	0,017	0,021
	V , %	55,2	98,4	108,3	96,9	43,8	29,7	35,8
	P , %	4,52	7,94	8,78	7,84	3,56	2,09	2,81
0,05	b , м	0,045	0,053	0,060	0,067	0,080	0,091	0,092
	σ , см	0,028	0,025	0,021	0,018	0,026	0,021	0,027
	V , %	61,9	47,4	35,0	27,1	32,5	23,0	29,3
	P , %	5,02	3,85	2,86	2,22	2,65	1,87	2,39
0,07	b , м	0,064	0,072	0,077	0,086	0,096	0,104	0,106
	σ , см	0,021	0,033	0,040	0,030	0,027	0,031	0,022
	V , %	32,8	45,9	51,8	36,2	28,2	29,8	20,8
	P , %	2,69	3,74	4,21	2,87	2,31	2,48	1,71

На великих швидкостях ширина щілини дещо зменшується. Це пояснюється упругопластичними властивостями дернини.

Форма поперечного перетину стійки робочого органу впливає на ширину щілини і якість закладення рідких добрив (табл. 6.3).

Стійка з капленодібною формою перетину показала кращі результати роботи. Встановлено, що мінімальна щілина, а отже і мінімальне перекидання поверхні дернини (1,3. ..2,8 %) здійснюється при русі робочого органу зі стійкою-трубопроводом каплеподібної форми. Щілина утворюється з рівними краями, а пружні властивості дернини сприяють самозакриттю щілини. Каток, який встановлюється за стійкою, додатково закриває щілину і вирівнює поверхню.

Таблиця 6.3 – Ширина щілини при роботі різними робочими органами.

Форма стійки, м	Показники	Швидкість руху, м/с						
		0,52	0,88	1,52	2,02	2,58	3,19	3,77
Краплеподібна 0,100x0,005 м, $\gamma = 30^\circ$	b , м	0,014	0,013	0,018	0,017	0,022	0,025	0,028
	σ , см	0,010	0,008	0,015	0,014	0,012	0,016	0,016
	V , %	73,5	61,5	83,3	83,5	55,4	67,6	57,4
	P , %	6,00	5,02	6,82	6,83	4,52	5,53	4,68
Кругла $d = 0,065$	b , м	0,023	0,025	0,037	0,038	0,043	0,052	0,055
	σ , см	0,013	0,013	0,019	0,027	0,016	0,019	0,014
	V , %	56,7	52,1	51,2	70,7	37,4	36,6	25,6
	P , %	4,62	4,26	4,16	5,81	3,06	2,94	2,10
Квадратна 0,05x0,05	b , м	0,045	0,051	0,059	0,062	0,067	0,078	0,080
	σ , см	0,025	0,029	0,030	0,031	0,043	0,033	0,045
	V , %	55,6	55,8	50,9	50,0	64,1	42,4	56,1
	P , %	4,54	4,55	4,14	4,08	5,22	3,50	4,57

Велике пошкодження поверхні дернини (4,5... 8,7 %) спостерігалось стійкою квадратної форми. В цьому випадку стінки щілини утворюються з рваними краями, відбувається вивертання дернини і налипання ґрунту попереду стійки в місці з'єднання її з лапою, що значно підвищує тяговий опір робочого органу.

Менше пошкоджує поверхню дернини кругла стійка (2,3...5,5 %), проте повністю уникнути пошкодження країв поверхні щілини і налипання ґрунту в цьому випадку не вдається.

Найбільше задовольняє вимогам при внутріґрунтовому внесенні рідких органічних добрив робочий орган із стійкою-трубопроводом каплеподібною формою поперечного перетину. При цьому, в поєднанні з раціональним режимом роботи забезпечується мінімальне пошкодження поверхні поля (дернини), зниження тягового опору.

Кут нахилу стійки робочого органу до поверхні поля має істотний вплив на процес утворення щілини, винесення коріння нижніх шарів ґрунту і якість закладення добрив.

Конструкція експериментальної установки допускала зміну кута нахилу – 60° – 120° .

Результатами дослідження встановлено, що оптимальний кут установки стійки до поверхні поля від напрямку руху знаходиться в межах 90° ... 115° .

У Володарському районі Київської області були закладені виробничі польові дослідження внесення рідких органічних добрив під посів кукурудзи на силос. Схема дослідів: 1 – без добрив (контроль); 2 – поверхневе внесення; 3 – внутріґрунтове внесення рідкого гною. Розміри ділянок 20 x 200 м. Повторність – триразова. Гній свинячий – вологістю 95...96 %, доза внесення - 100 т/га. Ґрунт дерново-підзолистий супіщаний. Результати виробничих польових дослідів представлені в таблиці 6.4.

Приведені дані показують, що поверхневе внесення рідкого свинячого гною 100 т/га дало приріст урожаю зеленої маси кукурудзи на силос 14,7 т/га

або 66 %, а внутрігрунтове внесення 100 т/га рідкого гною агрегатом АВВ-Ф-2,8 - 20,9 т/га або 94 % в порівнянні з контролем.

Ділянкові польові досліді (табл. 6.5) внесення рідких органічних добрив при вирощуванні кормового буряка також показали, що внутрігрунтове їх внесення ефективніше в порівнянні з поверхневим.

Таблиця 6.4 – Урожай кукурудзи на силос при різних способах внесення рідкого свинячого гною (Володарський район Київської області).

№ п.п.	Варіанти досліді	Середній, т/га	Приріст урожаю до контролю	
			т/га	%
1.	Без добрив (контроль)	22,2	-	-
2.	Поверхнєве внесення, 100 т/га	36,9	14,7	66,2
3.	Внутрігрунтове внесення, 100 т/га	43,1	20,9	94,1
4.	Виробничі посіви	33,2	11,2	50,4

Таблиця 6.5 – Урожай кормового буряка при різних способах і дозах внесення добрив (ділянкові досліді, Володарський район Київської області).

№ п.п.	Варіанти досліді	Середній, т/га	Приріст урожаю до контролю	
			т/га	%
1	Без добрив (контроль)	45,4	-	-
2	Рідкий гній N_{100}	50,9	5,5	12,1
3	Рідкий гній N_{200}	60,0	14,6	32,1
4	Рідкий гній N_{300}	71,9	26,5	58,3
5	$N_{100} P_{60} K_{80}$	72,0	26,6	58,5
6	Рідкий гній $N_{100} + N_{100} P_{60} K_{80}$	74,1	28,7	63,2
7	Рідкий гній $N_{200} + N_{100} P_{60} K_{80}$	72,4	27,0	59,4
8	Рідкий гній $N_{200} + N_{200} P_{60} K_{80}$	80,5	53,1	77,3
9	Рідка фракція N_{100}	69,4	24,0	52,8
10	Рідка фракція $N_{100} + P_{60}$	71,2	25,8	56,8
11	P_{60}	52,8	7,4	16,3
12	Рідка фракція N_{200}	73,0	27,6	60,7
13	Рідка фракція N_{400}	84,8	39,4	86,7
14	$N_{200} P_{120} K_{140}$	77,0	31,6	69,6
15	$N_{400} P_{240} K_{320}$	72,2	26,8	59,0
16	Внутрігрунтове внесення рідкого гною N_{100}	75,2	29,8	65,6

При внесенні рідкого свинячого гною N_{100} урожай кормового буряка складав при поверхневому внесенні 50,9 т/га, а при внутрігрунтовому 75,2 т/га, надбавка урожаю до контролю (без добрив) складала при поверхневому внесенні 5,5 т/га (12 %), а при внутрі-грунтовому 29,8 т/га (65 %).

6.3. Вдосконалення процесу внесення органічних добрив роторними розкидачами

У сільськогосподарському виробництві поряд з кузовними розкидачами ПРТ-7, ПРТ-10, ПРТ-11 (МТТ-13) застосовуються навісні з роторними робочими органами. Кузовні розкидання твердих органічних добрив мають однакову технологічну схему. Гнойова маса завантажується в кузов, в задній частині якого вмонтовані розкидаючі робочі органи. У більшості кузовних розкидачів, осі розкидальних барабанів встановлені горизонтально. На одній машині звичайно встановлюють декілька барабанів в різних поєднаннях: зубчаті з трубчастими, зубчаті з шнековими і т.д.. Деякі зарубіжні фірми випускають кузовні розкидання з бітерами, що обертаються навколо вертикальної осі. За звичай на розкидачі встановлюється 3–4 бітера. Механізми подачі кузовних гноєрозкидачів (уподовж або упоперек кузова, безперервної або періодичної дії) виконані у вигляді нескінченних конвейєрів ланцюгово-планчастого типу. У сучасних машинах найбільшого поширення набули ланцюгово-планчасті конвейєри з чотирма ланцюгами, що є двома самостійними конвеєрами з пристроями для натягнення ланцюгів. Конвейєри приводяться в дію за допомогою кривошипно-шатунного механізму і колеса, храповика, або ланцюгової передачі з набором змінних зірочок для регулювання швидкості переміщення добрив (ПРТ-10, ПРТ-11, ПРТ-16).

Науково-дослідні роботи із створення нових і вдосконалення існуючих машин кузовного типу виконувалися рядом науково-дослідних організацій і конструкторських бюро Росії, України, Білорусі, у тому числі і в ННЦ «ІМЕСГ».

Роторні розкидачі РУН-15, РУН-15А, РУН-15Б випускалися рядом підприємств України і знайшли застосування в господарствах України, Росії, Казахстану, Молдови.

Роторні розкидачі складаються з двох самостійних частин – валкоутворювача пасивного типу з V – подібним розташуванням крил і розкидача роторного типу, об'єднаних в єдиний агрегат (рис. 6.9).

Валкоутворювач встановлюють попереду трактора (колісного або гусеничного класу 3) і за допомогою спеціального начіпного пристрою кріплять на передню напівраму трактора, а розкидач навішують на гідронавісну систему позаду трактора.

Валкоутворювач складається з корпусу з валкоутворювальним вікном, направляючих крил, штовхаючих штанг, опорних лиж і системи навішування.

Розкидач складається з редуктора, двох роторів, рами, за допомогою якої навішуються на гідросистему трактора і приводу від валу відбору потужності трактора.

Працює агрегат таким чином. При русі агрегату валковач захоплює купу і, переміщаючи її по ходу руху, пропускає (дозує) масу через валкоутворююче вікно. Розкидач захоплює утворений валок і роторними робочим органом розкидає його по полю (рис. 6.10).

Ширина, валка b не повинна перевищувати відстані між центрами роторів, інакше частина добрив не розкидатиметься (рис. 6.11).

Аналітично цю умову можна виразити таким чином:

$$b_g = 2R \pm d, \quad (6.10)$$

де R – радіус ротора; d – ширина перекриття кіл ротора.

Щоб добрива не притискалися лопатками роторів до поверхні ґрунту, а захвачувалися ними, повинна дотримуватися умова:

$$h \leq R(1 - \cos \varphi), \quad (6.11)$$

де φ – кут внутрішнього тертя добрив.

Висота валка h залежить також від величин, що характеризують норму внесення, ширину розкидання добрив.

Зокрема:

$$h = QB_p / 10000 b_g \gamma_{y\partial}, \quad (6.12)$$

де B_p – ширина розкидання добрив; $\gamma_{y\partial}$ – щільність добрив.

Виходячи з приведених вище залежностей, радіус ротора:

$$R \geq \sqrt{QB_p / 20000 \gamma_{y\partial} (1 - \cos \gamma)}. \quad (6.13)$$

Ширина лопатки:

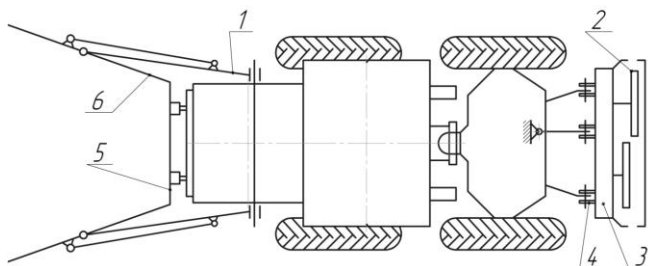
$$b_{\text{л}} = 2R(\pi V_n / V_{\text{окр}} K_{\text{л}} + \sin^2 \varphi \operatorname{ctg} \varphi), \quad (6.14)$$

де $K_{\text{л}}$ – число лопаток на роторі; V_n – поступальна швидкість розкидаючого агрегату; $V_{\text{окр}}$ – окружна швидкість кінців лопаток ротора.

Виходячи з умови повноти підбору валка добрив, мінімальне число лопаток на роторі

$$K_{\text{лmin}} = V_n / B_{\text{л}} n \lambda \quad (6.15)$$

де λ – коефіцієнт, що характеризує ступінь завантаження лопатки по ширині (згідно з експериментальними даними він складає 0,4...1,0); n – частота обертання.



а



б

Рис. 6.9. Схема (а) та загальний вид розкидача РУН-Ф-15М (б) для роторного розкидання органічних добрив: 1 – штанга; 2 – ротор; 3 – редуктор; 4 – рама; 5 – корпус; 6 – боковини



Рис. 6.10. Технологічна схема роботи роторного розкидання

Лопатки на роторі можуть бути встановлені з нахилом вперед або назад і радіально. Аналіз дії лопаток при різній їх установці на валок добрив показує, що у разі нахилу лопаток по ходу обертання добрива ущільнюються більшою мірою, вперед – в меншій, при радіально поставлених лопатках тенденція до зсуву добрив в ту або іншу сторону компенсуватимуться силою тертя.

Виходячи з цього буде доцільною установка лопаток на роторі радіально або з деяким кутом вперед по ходу обертання.

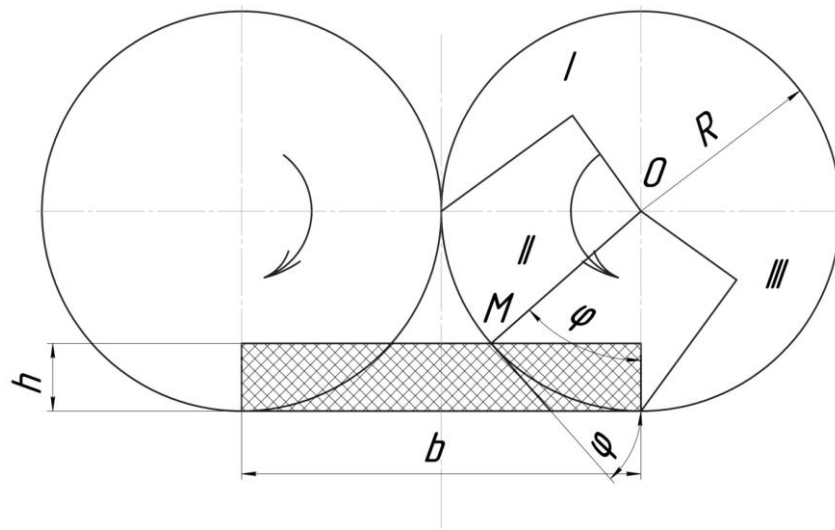


Рис. 6.11. Схема роботи роторних робочих органів при захопленні добрив з валка.

Координата миттєвого знаходження частинки добрив на лопатці X і відносна швидкість частинки V_x визначаються за формулою визначеною при розв'язуванні диференціального рівняння руху матеріалу по лопатці:

$$X = \frac{K_2}{K_2 - K_1} (x_0 \pm fc) e^{K_1 t} + \frac{K_1}{K_1 - K_2} (x_0 \pm fc) e^{K_2 t} \pm fc, \quad (6.16)$$

$$V_x = \frac{K_1 K_2}{K_2 - K_1} (x_0 + fc) (e^{K_1 t} - e^{K_2 t}), \quad (6.17)$$

де f – коефіцієнт тертя добрив по сталі; c – ексцентриситет установки лопатки на роторі;

x_0 – первинне положення матеріальної частинки на лопатці:

Верхній знак (плюс або мінус) перед fc відноситься до випадку установки лопаток з нахилом назад – плюс, мінус – вперед. Приймавши у виразах для

визначення X і V_x $X=L$ (довжина лопатки), одержимо аналогічне рівняння для визначення робочої довжини лопатки і швидкості сходу добрив з неї.

$$K_1 = \omega(-f + \sqrt{f^2 + 1}), \quad K_2 = \omega(-f - \sqrt{f^2 + 1}). \quad (6.18)$$

Знаючи початкову швидкість і кут польоту добрив до горизонту, орієнтовно дальність їх польоту $S_{\max}$ можна визначити за формулою

$$S_{\max} = V_0^2 \sin \alpha / g, \quad (6.19)$$

де α – кут викиду добрив.

Проте дана формула не враховує ні висоти розташування ротора над землею, ні вплив опору повітря. З урахуванням впливу опору повітря максимальну дальність польоту частинок добрив можна визначити за формулою, запропонованою В.А.Волковим [30].

Одним з критеріїв оцінки застосування роторного робочого органу для розкидання органічних добрив є енергоємність даного процесу.

Потужність, що підводиться до ротора, від трактора витрачається на деформацію добрив у валку при їх захопленні лопатками ротора N_1 ; на подолання кінематичної енергії добривом, що викидається N_2 ; на подолання опору тертя добрив об поверхню лопаток і частину валка N_3 , що залишилася; на подолання опору обертанню ротора, що створюється навколишнім повітрям N_4 .

Загальна витрата потужності $N_{\text{общ}}$ виражається сумою чотирьох доданків:

$$N_1 = \rho h_{cp} \Gamma V_n \arcsin \frac{b_e}{2R} / 60, \quad (6.20)$$

$$N_2 = SV \gamma_{y\partial} \omega^2 (R - r^2) / 2g, \quad (6.21)$$

$$N_3 = \frac{SV_n \gamma_{y\partial}}{g} \left[\frac{2K_1^2 K_2^2 X_0^2 f_1 \theta}{(K_2 - K_1)^2} + f_2 \omega^2 R r \arcsin \frac{b_e}{2R} \right], \quad (6.22)$$

$$N_4 = CS_1 V_{\max}^3 / 4 \quad (6.23)$$

$$\text{де } \theta = \int_0^{\varphi_1} (e^{K_1 \varphi} - e^{K_2 \varphi})^2 d\varphi; \quad C = \gamma_e / 2g; \quad V_{\max} = 2\pi R n / 60; \quad r = R - \frac{h_{cp}}{2},$$

h_{cp} – середня товщина валка добрив, що піднімається лопатками ротора, м; $\gamma_{\text{в}}$ – об'єм повітря; ρ – питомий опір зрушенню і деформації добрив, Па; S_1 – загальна площа лопаток, м.

Експериментальні дослідження, проведені на гною і торфокришці показали (при по-рівняльній оцінці трьох роторів діаметрами 850, 1050, 1250 мм), що якнайкращу якість підбору добрив з валка забезпечують ротори з діаметром 1250 мм. Ротори, що мають діаметр 850 і 1050 мм, мають гіршу якість підбору валка добрив, що може бути пояснено великим ущільненням добрив, захоплюваними лопатками.

Аналітичними і експериментальними дослідженнями встановлено, що викинуті лопатками ротора добрива розподіляються по ширині захвату із зменшенням їх кількості на одиницю площі при віддаленні від осі ротора, у зв'язку з чим досягти якісного розподілу добрив відповідно до агрономічних вимог при одноразовому покритті добривами площі не можливо. Тому смуги розкидання добрив при суміжних проходах агрегату повинні перекриватися.

Коефіцієнт перекриття повинен знаходитися в межах 0,65... 0,35, тобто відстань між суміжними валаннями $b = (0,65...0,35)$

З метою обґрунтування оптимального числа лопаток на роторі проведено вивчення роботи 3, 4, 5 і 6-лопатевих роторних робочих органів при розкиданні гною і торфокришки. Встановлено, що ротори з 4-5 лопатками забезпечують найкращу якість розподілу гною і торфокришки (коефіцієнт нерівномірності рівний 26...27 %). Пояснюється це тим, що при малому числі лопаток на роторі відбувається порушення стабільності струменя добрив, що викидаються. При збільшенні числа лопаток (6 шт.) відбувається «збивання» струменя добрив на лопатці, струменем, утвореним наступною лопаткою.

Збільшення оборотів роторів призводить до викидання матеріалу з ротора порціями; при подальшому збільшенні швидкості обертання роторів добрива починають виходити з ротора суцільним потоком, тобто настає такий момент в роботі ротора, коли порції матеріалу, що сходять з лопаток, ідуть одна за одною у вигляді сформованого струменя. При цьому добрива лягають на

поверхню ґрунту більш рівномірно і збільшується ширина захвату. Дослідженням встановлено, що добрива найбільш рівномірно розподіляються по площі при швидкості обертання роторів 320... 400 об/хв (значення коефіцієнта нерівномірності знаходиться в межах 24...33 %).

В процесі досліджень впливу норми внесення на якість розподілу добрив по поверхні поля встановлено, що при малих нормах внесення (10...25 т/га) погіршується якість розподілу ($V = 34...35$ %) і, навпаки, при нормах понад 25 т/га рівномірність розподілу добрив поліпшується (коефіцієнт нерівномірності знижується до 27...30 %). Поряд з цим, при підвищенні норм внесення органічних добрив, збільшується ширина захвату.

При внесенні роторними робочими органами однорідніших за складом і більш сипких органічних добрив оптимум зміщується в сторону малих норм.

Експериментальні дослідження за визначенням потужності яку використовують роторні робочі органи проводилися при роботі на холостому ходу і при розкиданні гною і торфокрошки.

Аналіз осцилограм показав, що крутящий момент на валу ротора різко міняється по величині. Такий характер зміни крутного моменту а, отже, і потужності, свідчить про нерівномірне захоплення матеріалу (порціями). Коливання крутного моменту на сталому режимі роботи роторів по величині складає в середньому по всіх дослідах – 35 % середнього значення.

На підставі виконаних досліджень і узагальнення передового досвіду застосування роторних розкидачів обґрунтовані технологічні і кінематичні параметри більш довершеного зразка роторного розкидача РУН-Ф-15В, який агрегатується з тракторами Т-150 і Т-150К. Розкидач РУН-Ф-15В відрізняється від попередніх розкидачів РУН-15А, РУН-15Б тим, що привід робочих органів здійснюється через спеціальний редуктор на відміну від приводу робочих органів ланцюговими передачами, новою схемою розміщення роторів і підвищеною їх частотою обертання – $10...24 \text{ с}^{-1}$, що дало можливість зменшити крутящий момент на приводному валу редуктора і запобігти частим поломкам його елементів.

Продуктивність РУН-Ф-15В при нормі внесення 40 т/га і швидкості руху агрегату 4,5 км/год складе 235 т/год, робоча ширина розкидання – 31 м.

6.4. Тенденції і шляхи вдосконалення машин і устаткування для застосування органічних добрив

Рівень механізації застосування органічних добрив не повною мірою відповідає сучасним вимогам сільськогосподарського виробництва за темпами збільшення продуктивності праці, якості приготування і внесення добрив, залученні для виробництва високоякісних добрив органічних матеріалів природного і виробничого походження.

Машини для поверхневого внесення органічних добрив мають низькі показники розподілу гнойової маси по поверхні ґрунту. Це зумовлено тим, що добрива у ряді господарств не готуються, а конструкція робочих органів розкидачів не дозволяє забезпечити стійку дозу внесення гнойової маси за один прохід машини без підготовки або подрібнення її до заданих параметрів.

У сільськогосподарському виробництві практично відсутня спеціальна техніка для приготування добрив. У окремих господарствах вони готуються за допомогою примітивних пристосувань і бульдозерів. Недостатня ефективність механізованого внесення органічних добрив зумовлюється відсутністю в країні достатньої кількості високопродуктивних (120...250 т/год) навантажувальних засобів і машин вантажопідйомністю 10...12 т для внесення підстилкового гною (компостів). В наслідок обмеженої прохідності для внесення, обумовленої високим (0,3...0,35 МПа) питомим тиском ходових коліс на ґрунт, роботи по внесенню добрив проводяться з порушенням агростроків.

Для підвищення якості розподілу твердих органічних добрив необхідно забезпечити подрібнення гнойової маси до заданих параметрів робочими органами розкидачів, якісне розподілення добрив за один прохід.

Використання шин в машинах з внутрішнім тиском не більше 0,15 МПа для внесення органічних добрив дозволить значно підвищити їх прохідність і виконувати роботи по внесенню добрив в необхідні агротехнічні терміни.

Для підвищення надійності роботи і зниження матеріаломісткості машин, збільшення термінів їх служби доцільно застосовувати в конструкціях корозієстійку леговану сталь, гідрофіковані системи замість механічних, уніфіковані вузли і деталі. Об'єднаними зусиллями ряду НДІ і КБ України, Росії, і Білорусі розроблено нове покоління машин для поверхневого внесення твердих і рідких органічних добрив. Машини мають високу надійність, прості в обслуговуванні, мають менший в 1,8 разу питомий тиск ходових систем на ґрунт [182].

В даний час близько 40% твердих органічних добрив вносять за перевалочною тех-нологією. Для зниження витрат праці і засобів при застосуванні даної технології необхідно використовувати на вивезенні добрив транспортно-технологічні машини підвищеної вантажопідйомності, тракторні і автомобільні потяги. Очевидно, що створення польової машини з низьким питомим тиском на ґрунт і застосуванням автомобільного транспорту для доставки гнойової маси до полів – найбільш оптимальний шлях вирішення задачі по підвищенню ефективності засобів механізації для застосування органічних добрив. Прототипом польової машини може служити кузовний розкидач РПН-4 з кузовом, що низько опускається для перевантаження добрив з автомобілів-самоскидів і тракторних причепів.

Основними тенденціями розвитку засобів механізації для внесення твердих органічних добрив в зарубіжних країнах є підвищення вантажопідйомності, якісних показників роботи машин, зниження матеріаломісткості і підвищення продуктивності [131,182].

Французька фірма «Бримон» випускає кузовні розкидачі вантажопідйомністю від 10 до 24 т, фірма «Мюзон» – гноєрозкидачі вантажопідйомністю 7,8 і 10 т. У Німеччині виробляють гноєрозкидачі ТЕ-88 вантажопідйомністю 9 т, в Чехії – гноєрозкидачі *RuR* -10 вантажопідйомністю 10 т; у Угорщині TG-6,5, TG10, вантажопідйомністю 6,5 і 10 т. Слід зазначити, що розкидачі TG-6,5, TG-10 призначені для перевантажувальної тех-нології внесення органічних добрив. Майже у всіх конструкціях машин в якості

подаючих робочих органів використовуються ланцюгово-планчаті конвейєри з планками різного типу, в якості розподіляючих пристроїв – різні види зубчатих барабанів, роторів. У ряді конструкцій зарубіжних гноєрозкидачів застосовують вертикальні барабани, які забезпечують якісне подрібнення і розподіл добрив на ширину захвату 6...8 м [16, 97, 131, 232]

До недавнього часу в Україні і ряду країн СНД 30...40% вживаних твердих органічних добрив вносилося за двофазною технологією з використанням роторного розкиданча РУН-15Б. Дана технологія дає можливість з максимальною ефективністю використовувати як транспортні, так і розкидальні засоби. Істотний недолік двофазної технології – низька якість розподілу добрив по поверхні поля (коефіцієнт нерівномірності $> 50\%$) ставить завдання по вдосконаленню конструкції роторного розкидання і організації виконання технологічного процесу.

Розробляється комплекс мобільних і стаціонарних машин для підготовки твердих органічних добрив із заданими фізико-механічними властивостями і збалансованих по поживних речовинах. Стаціонарний комплекс машин продуктивністю до 100 т/год доцільно застосовувати на тваринницьких об'єктах, птахофабриках з добовим об'ємом накопичення гнойової маси не менше 150 т [87, 111, 182].

Мобільний комплекс машин, що включає машини для пошарового укладання гною і наповнювача (торф, солома, ошурки і ін.), навантажувач-змішувач безперервної дії, більш універсальний, ніж стаціонарний комплекс. Він може застосовуватися для приготування органічних добрив на тваринницьких фермах з різною потужністю і різноманітними технологічними схемами утримання тварин (підстилкове, безпідстилкове). Впровадження комплексу машин для підготовки добрив, приготування компостів і їх внесення з високою якістю розподілу дозволяє підвищити ефективність застосування твердих органічних добрив на 10...15%.

Для внесення на поля рідких органічних добрив застосовується в основному пря-моточна технологія з використанням цистерн-розкидачів

вантажепідйомністю 6 і 10т. Якісний розподіл гнойової маси по поверхні поля і самозавантаження забезпечуються при її ретельній підготовці (відділення або подрібнення крупних включень, гомогенізація, розділення на рідку і тверду фракції). В даний час відсутні надійні в роботі установки для відділення крупних домішок, розділення гнойової маси на фракції, подрібнення органічних включень. У країні не розроблені установки для гомогенізації гнойової маси в сховищах відкритого і закритого типу.

Дослідженнями, проведеними в ННЦ «ІМЕСГ» УААН і інших наукових закладах, встановлено, що глибоке очищення тваринницьких стоків, обезводнення осаду стічних вод, їх знезараження можна здійснювати електрофізичними методами (застосування ультразвукової обробки спільно з введенням в потік оброблюваної рідини вапна, застосування електроосмосу для обезводнення осаду, електрофлотаційна обробка рідкої фракції безпідстилкового гною [135, 136, 190]). У зв'язку з цим розробка технологій і технічних засобів для обробки безпідстилкового гною і продуктів його переробки із застосуванням електрофізичних методів має пріоритетне значення.

На думку фахівців, найбільш перспективний шлях підготовки гною, і перш за все безпідстилкового, є переробка його в анаеробних умовах. Втрати азоту при цьому складають всього 2...3%. Після анаеробного зброджування різко знижується поріг запаху. Зброджена маса є якіснішим добривом, ніж компостований гній. Застосування її дозволяє забезпечити приріст урожаю (на 15...20%), понизити схожість насіння бур'янів [21, 89, 182, 281].

В даний час розроблені великі установки для зброджування гнойової маси крупних тваринницьких комплексів.

Для фермерських і невеликих колективних ферм подібні установки не створені. Тому розробка технології і технічних засобів для анаеробного зброджування гною у фермерських господарствах одне з першочергових завдань, рішення якого дозволить одержати якісні добрива, біогаз для побутових і технологічних потреб (підігрів води, опалювання приміщень), забезпечити захист навколишнього середовища.

Найбільш слабким місцем в механізації використання безпідстилкового гною є завантаження і внесення гнойової маси вологістю 86...92% (напіврідкий гній), одержуваної при безпідстилковому утриманні тварин з додаванням мінімальної кількості води. Кількість такого гною росте, а засоби механізації для його використання поки що не розроблені (вантажні засоби, розкидання).

За кордоном останнім створені конструкції машин, що забезпечують завантаження і поверхневе внесення напіврідкого гною вологістю 86...92% [286]. Основні робочі органи таких машин мають різноманітне конструктивне виконання. Наприклад, фірма «Бадор» (Німеччина) виготовляє розкидачі напіврідкого гною, у яких в місткості для перемішування і подачі маси до металника передбачений шнек. Розкидаючий орган виконаний у вигляді металника з горизонтальною віссю обертання і розташований позаду машини. Фірма Hesston (США) виготовляє розкидачі, обладнані системою самозавантаження напіврідкого гною, де розкидальний робочий орган з викидом добрив убік встановлений попереду. Ряд фірм Англії і США випускають машини з робочими органами ланцюгово-планчатого типу, що відрізняються простотою конструкції і надійністю в роботі.

Розвиток техніки для внесення безпідстилкового гною йтиме по шляху підвищення технічного рівня машин для його внесення, модернізації існуючих цистерн-розкидачів, розробки і створення комплексу машин для завантаження, транспортування і внесення напіврідкого гною.

З метою зменшення дії ходових систем розкидачів на ґрунт передбачається створення машин, що працюють за перевантажувальною технологією. Будуть розроблені транспортувальники-перевантажувачі рідких органічних добрив вантажопідйомністю до 20 т, призначені тільки для транспортування маси на край поля і перевантаження їх в польові машини. Передбачається також розробка розкидачів на базі вітчизняного автомобіля КРАЗ, призначених для транспортування, перевантаження і поверхневого внесення рідких органічних добрив.

Розповсюдження перевантажувальних технологій внесення рідких органічних добрив значною мірою пов'язане з підґрунтовим їх внесенням при основному обробітку ґрунту, підживленні просапних культур, внесенням на глибину 12...14 см на луках і пасовищах.

Підґрунтове внесення рідких органічних добрив особливо широко поширено в європейських країнах (ФРН, Швеція, Франція, Австрія, Англія, Нідерланди і ін.), а також в США і Японії [92, 182].

Багато зарубіжних фірм до машин для поверхневого внесення рідких органічних добрив випускають пристосування і для підґрунтового їх внесення. Ширина захвату пристроїв для підґрунтового внесення в основному складає 1,3...2,2 м, глибина внесення 12 ...20 см, доза внесення - 40...120 т/га. Для транспортування і перевантаження гнойової маси зарубіжні фірми випускають автомобільні цистерни вантажопідйомністю до 25 т, які дозволяють звести до мінімуму холості переїзди польових машин і підвищити ефективність процесу.

Основні напрями і тенденції в розробці машин і технологій для підґрунтового внесення рідких органічних добрив, що існують за кордоном, в даний час широко застосовуються при розробці нової техніки в нашій країні.

РОЗДІЛ 7. СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ АНАЕРОБНОЇ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

7.1. Суть процесу анаеробного зброджування органічної маси і біотехнічні вимоги до систем її переробки

Концентрація тваринництва, як відомо, пов'язана з проблемою утилізації відходів ферм. У аспекті очікуваного виснаження природних ресурсів (нафти, газу і ін.) рішення цієї проблеми набуває особливого значення, оскільки продукти фотосинтезу і тваринного світу в майбутньому стануть майже єдиною сировиною для хімічного синтезу і біотехнології. Сучасна біотехнологія передбачає будь-які перетворення субстрату в продукт і навпаки. Доцільність

здійснення таких процесів визначають в основному економічні чинники, в меншій мірі – технічні.

Не зменшуючи значення інших альтернатив використання тваринницьких (сільськогосподарських) відходів, ми зупинимося на анаеробному метановому зброджуванні гною.

Рідкий гній, як сировина, одержаний з ферм і комплексів, складається в основному з органічних речовин. Осад містить цінні речовини – азот, фосфор, калій. Він легко розкладається мікробами, сприяючи розвитку численних і різноманітних їх видів (у тому числі і патогенних), а також яєць гельмінтів і ін.

Органічна речовина складає 60...80% загальної кількості сухої речовини рідкого гною. Основними його компонентами є вуглеводи, жироподібні і білкові речовини дуже складного складу.

Органічна речовина без доступу повітря і під впливом певних бактерій гниє, проходячи численні етапи біохімічного і біологічного процесу, в результаті якого виробля-ється багатий метаном газ, що є результатом обміну речовин бактерій.

Сам по собі процес не виділяє теплової енергії. Проходження процесу залежить, зокрема, від типу органічної речовини і ступеня його ферментації, реакції, температури, тривалості процесу руху субстрату.

Розпад органічної речовини в анаеробних умовах відбувається в дві фази. У першій фазі зброджування, яка називається кислою або водневою, з вуглеводів жирів і білків утворюються основні продукти розпаду – жирні кислоти, водень, вуглекислий газ, спирти, амінокислоти, аміак, сірководень і ін. Бактерії, що здійснюють першу фазу зброджування гною, є факультативними анаеробними типу дріжджів, маслянокислих, пропіонових, бутилових і ін.

У другій фазі лужної, або метанової відбувається руйнування кислот, що виділяються в першій фазі, з утворенням вуглекислоти, метану і в невеликих кількостях водню і окислу вуглецю [73].

Бродіння здійснюється власне метановими бактеріями. На відміну від бактерій першої фази метанові бактерії – анаероби не утворюючи спорів. У основі їх життєдіяльності лежить здатність відновлювати вуглекислоту подальшої реакції:



До найбільш важливих реакцій розпаду, особливо які обумовлюють нормальне протікання процесу зброджування, відносяться:

– реакція утворення гідрату окислу амонію з аміаку і води $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH}$, яка після нейтралізації кислих продуктів першої фази обумовлює характерне для метанового зброджування слабо лужне середовище (pH – 7,2...7,6).

– реакція утворення вуглекислого (NH_4CO_3) і двовуглекислого $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$ амонію з аміаку і вуглекислоти створює такі важливі чинники бродіння, як лужність середовища, а також вміст рідини мулу і амонійного азоту.

– утворення газоподібних продуктів – метан CH_4 і вуглекислоти CO_2 .

Газ, що виділяється, складається в основному з 65...70 % CH_4 і 30...35% CO_2 . Теплотворна здатність газу близько 4500...5000 ккал/м³, або 22 ...24 МДж/м³.

Процес зброджування протікає поволі, швидкість його залежить від температури. Так, при температурі гною 25... 27 °С процес триває 25...30 діб, при температурі 10 °С тривалість його збільшується до 4 місяців і більше.

При цьому значно енергійно йде виділення газу метану, який уловлюється і може бути використаний як пальне. Залежно від температури, при якій відбувається зброджування, розрізняють два типи процесу – так званий мезофільний, який відбувається при температурі 30... 35 °С і термофільний – при температурі 50...55 °С. Термофільне зброджування відрізняється більшою інтенсивністю і закінчується приблизно в 2 рази швидше ніж мезофільне. Важливим чинником, що зумовлює весь хід розпаду органічної речовини, є відношення об'єму гною, що знов поступає, до об'єму зрілого і

бродячого, такого, що знаходиться в новій камері – або так звана доза завантаження. За звичайно показується добова доза завантаження у відсотках, величина якої обернено пропорційна терміну зброджування. Так, при терміні зброджування 120 днів добова доза завантаження дорівнює $100 : 120 = 0,8\%$, при 25 днях – 4% і при 10 днях – 10% .

Хороше перемішування гною, що поступає із зрілим, прискорює процес розпаду органічних речовин і сприяє його повноті.

Встановлено, що в гнойових стоках після дефекації відбувається інтенсивний мікробіологічний процес, змінюються склад і властивості гнойових стоків, а їх свіжість впливає на продукцію біогазу.

Органічні відходи, придатні для метанового бродіння, вельми різноманітні. Дані різних досліджень про виділення біогазу, при розкладанні трьох основних груп органічної речовини: жирів, вуглеводів і білків приведені з таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Вихід біогазу і вміст в ньому CH_4 при метановому зброджуванні жирів, вуглеводів і білків [17].

Компонент	Метан, %	Вихід біогазу $\text{м}^3/\text{кг}$ розпаду	Ступінь розпаду речовини
Вуглеводи	50,0-60,0	0,790-0,885	64,0-65,0
Жири	62,0-72,0	1,12-1,43	69,0-70,0
Білки	72,0-84,0	1,44-0,58	47,0-48,0

Питомий вихід біогазу (г/л) можна визначати за формулою [12,17]:

$$P_{\text{б}} = 0,92ж + 0,62в + 0,34б; \quad (7.1)$$

де $ж$, $в$, $б$ – вміст жирів, вуглеводів і білків на 1 частину сухої органічної речовини (COP).

Коефіцієнти у формулі означають питомий вихід газу (л/г) завантажуваних в біореактор жирів, білків, вуглеводів. Від пропорцій вуглеводів, жирів і білків у відходах залежить вихід біогазу в конкретному випадку. Вуглеводи за звичай знаходяться у формі полісахаридів і повинні розпадатися на дисахариди і моносахариди. Для цього потрібна триваліша ферментація. Помітно знижує газовиділення присутність лігніну. Оскільки він в процесі метанового бродіння практично не розкладається. Співвідношення

кількості газу, який може бути виділений з органічної речовини рідкого гною дійних корів (Д), відгодівельних бичків (Б), свиней (С) і курей (К) в процесі бродіння при температурі 33 °С, приблизно можна прийняти рівними Д:Б:С:К = 5:7:8: 10 [17].

При метановому бродінні одним з найважливіших чинників є співвідношення C/N в асимільованій частині субстрату.

Якщо співвідношення C/N в гною надмірно велике, то нестача азоту слугуватиме чинником, що обмежує процес метанового бродіння. Якщо вказане співвідношення надмірно мале, то утворюється така велика кількість аміаку, що він стає токсичним для бактерій.

Органічні відходи, тобто початкова сировина для метанового зброджування має різні співвідношення C/N і відрізняється великою різноманітністю, нерідко воно буває не оптимальними для процесу (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Співвідношення C/N в сільськогосподарських відходах, що поступають на переробку [71]

Відходи	C/N	Відходи	C/N
Свинячий гній	4-15	Кінський гній	25
Гній ВРХ	9-18	Силосний сік	10
Гній дійних корів	18-19	Пташиний послід	7-15
Суміш відходів бойні	2	Сеча	0,8
Кров	3	Рисові стебла	83,5
Солома	4,8-15,0	Сира стружка	20,8
Відходи льону	56		

Для досягнення більш оптимального співвідношення C/N змішують різні відходи і одержують вищу продукцію біогазу (табл. 7.3).

Таблиця 7.3 – Вихід біогазу при бродінні різних відходів.

Відходи	Вихід біогазу, м ³ /кг СОР	Вміст метану, %	Збільшення продукції, %
Гній ВРХ	0,380	52	-
Свинячий гній	0,569	77,5	-
Кінський гній	0,250	60	
Пташиний послід	0,617	79,2	-
Силосні відходи	0,250	84,0	-
Солома	0,342	58,0	-
Бур'ян	0,277	64,0	-
Гній ВРХ + свинячий гній (1:1)	0,510	60	7,0
Гній ВРХ + бур'ян (1:1)	0,363	55	5,0

Гній ВРХ + пташиний послід (1:1)	0,528	55	6,0
Свинячий гній + куриний послід + гній ВРХ	0,585	62	11

У відходах сільськогосподарського виробництва є різні тверді частинки. Тверді частинки (речовини), щільність яких істотно вище за щільність рідини, як наприклад, пісок, цемент, глина і ін. обумовлюють утворення осаду, інші матеріали утворюють на поверхні кірку - це призводить до зменшення газоутворення. Тому тверді матеріали, особливо рослинного походження, повинні бути заздалегідь підготовлені за допомогою ріжучих, розриваючих, плющуючих або відокремлюючих пристроїв. Частинки твердого матеріалу повинні бути по можливості меншого розміру. Частка зважених частинок в рідині значною мірою залежить від технічних засобів, якими користуються для транспортування і перемішування субстрату.

Існують технології, що передбачають зброджування органічних речовин також в твердій фазі, якщо є достатньо вологе середовище. Проте вони до теперішнього часу не набули широкого поширення, оскільки в твердій фазі важко забезпечити перерозподіл і перемішування мікроорганізмів у субстраті.

Висока вологість (більше 97%) призводить до низької концентрації органічної речовини і меншого газовиділення. Виняткове значення має вологість завантажуваної в реактор сировини, з погляду економічності його експлуатації. Чим нижча вологість сировини, тим менше завантаження за об'ємом і витрата енергії на підігрів сировини, а також покриття тепловтрат біореактора в навколишнє середовище. Проте слід зазначити, що з пониженням вологості сировини збільшується вміст органічної речовини в одиниці об'єму завантаження. При високих добових дозах завантаження за об'ємом це може призвести до порушення проходження процесу метанового бродіння.

Більшість дослідників вважають, що для тваринницьких відходів процес метанового бродіння оптимально протікає при вологості субстрату від 90 до 97%.

В природі метан утворюється при широкому діапазоні температур від 0 до 97 °С. Відомості, щодо оптимального режиму температури, необхідного для

метанового бродіння різні. Оптимальна температура, при якій життєдіяльність бактерій протікає активніше, для мезофільного процесу складає 32-33 °С, для термофільного 52-54 °С [71].

Одна з головних переваг проведення процесу метанового зброджування при високих температурах інтенсивність, що забезпечує порівняно невелику експозицію зброджування. Розпад органічної речовини в біореакторах, що добре перемішуються, при 53 – 55 °С протягом 5 діб перевищив 30%, тобто був значно глибший в порівнянні з розпадом до 20% в процесі бродіння в біореакторах одноразового завантаження, водночас краще було і газовиділення.

В процесі анаеробного бродіння можна виділити кислу і лужну (метанову) фази. Протягом кислої фази значення рН знижується внаслідок утворення летких кислот. Це зниження компенсується розчепленням летких кислот метаноутворювальними бактеріями і відповідним продукуванням бікарбонатів. В процесі анаеробного розпаду значення рН, що забезпечує необхідну карбонатно-бікарбонатну рівновагу системи становить 6-8.

Оскільки вміст CO_2 в рідині залежить від вмісту CO_2 в газовій фазі і при певній тривалості розпаду склад газу відносно постійний, рН системи є функцією концентрації бікарбонатів.

Для контролю процесу важливо визначити бікарбонатну лужність (БЛ), яка в свою чергу, обумовлює рН середовище. Співвідношення між загальною (ЗЛ) і бікарбонатною (БЛ) лужністями визначається рівнянням:

$$\text{БЛ} = \text{ЗЛ} - 0,71 \text{ ЛЖК}, \quad (7.2)$$

де БЛ – бікарбонатна лужність, мг/л CaCO_3 ; ЗЛ – загальна лужність, мг/л CaCO_3 , визначена титруванням до рН 4; ЛЖК – вміст летких жирних кислот, мг/л оцтової кислоти, 0,71 – добуток двох коефіцієнтів $0,83 \times 0,85$; 0,83 – коефіцієнт переводу вмісту летких кислот, вираженого в еквівалентах оцтової кислоти, в еквіваленти лужності CaCO_3 , а коефіцієнт 0,85, що при рН4 близько 85% ацетату перетворюється на кислу форму.

Встановлено оптимальне значення рН для метаноутворюваних бактерій знаходиться в межах 6,4 - 7,5 і що дані бактерії дуже чутливі до зміни даного показника.

Оптимальним значенням лужності вважають 1500 - 5000 міліграм $\text{CaCO}_3/\text{л}$ [71].

Тривалість зброджування в більшій мірі залежить від дози завантаження і температури процесу. При визначенні тривалості зброджування користуються терміном час обороту біореактора (ЧОБ). ЧОБ – час, протягом якого в біореактор завантажують свіжу сировину і вивантажують з нього переброжену біомасу. В ідеальному випадку за цей час завантажена сировина повністю замінює переброжену. У розрахунках часто користуються наступною формулою [71]:

$$\text{ЧОБ} = \frac{O_o}{O_{з.с.}}, \quad (7.3)$$

де O_o – об'єм сировини в біореакторі, м^3 ; $O_{з.с.}$ – об'єм завантажуваної сировини за добу, м^3 .

Проте, як відомо в процесі метанового бродіння виділяється біогаз і отже, об'єм сировини в біореакторі, що завантажується більший, ніж вивантажується.

При виборі оптимального ЧОБ з метою оптимізації процесу вкрай важливо, що добовий спад мікроорганізмів при вивантаженні з біореактора переробленої сировини не перевищує добового приросту мікрофлори.

Оптимальна тривалість зброджування (ЧОБ) залежить також від складу завантажуваної органічної речовини, ступеня її розкладання і концентрації сухої органічної речовини (СОР) в біореакторі, а також економічних міркувань: триваліший ЧОБ вимагає великих місткостей і, отже, великих витрат. Сировина, в якій органічна речовина знаходиться у важчих для розкладання мікроорганізмами формах, вимагає тривалішого ЧОБ. Залежно від сировини тривалість зброджування лімітує або гідроліз або метаноутворення.

Для зброджування відходів сільськогосподарської продукції, які передбачено використовувати як добриво, не доцільно тривалий ЧОБ, оскільки

максимальний ступінь розкладання органічної речовини не обов'язковий і можна вибрати коротший ЧОБ, ніж при метановому зброджуванні для досягнення максимального ступеня органічного розкладання.

На практиці ЧОБ вибирають залежно від температури, ступені розкладання і складу сировини в наступних інтервалах: при 10-25 °С до 30 діб, при 25-40 °С - від 10 до 20 діб, при 45-60 °С - від 8 до 4 діб.

На процес метанового бродіння органічної речовини впливає застосування або відсутність перемішування. Застосування процесу перемішування в біореакторі дозволяє:

- підтримати однорідність розподілу завантажуваної сировини і постійний контакт його з мікроорганізмами, що дає можливість максимально утилізувати свіжі поживні речовини;

- зберігати на низькому рівні концентрацію продуктів розпаду, оскільки вони рівномірно розподіляються за всім обсягом;

- забезпечувати однорідність середовища як по температурі, так і по концентрації поживних елементів, що створює якнайкращі умови життєдіяльності бактерій;

- зменшувати концентрацію речовин, що інгібірують, в якійсь окремій зоні біореактора, що обмежує їх вплив на процес метанового бродіння;

- запобігти утворенню кірки або розбиванню її на поверхні, а також утворення нерухомого густого осаду на дні;

- зменшувати кількість ділянок в біореакторі, в яких можуть міститися нерухомі речовини, які не розклалися і відпрацьована рідина.

Таким чином роль перемішування полягає в забезпеченні гомогенності вмісту субстрату в біореакторі і десорбції біогазу.

На процес метанового зброджування впливає ряд речовин, причому деякі з них можуть мати інгібіруючу дію. Будь-яка речовина може токсично впливати на мікроорганізми, якщо вона знаходиться в розчиненому стані. Якщо речовина знаходиться в розчині, вона не може проходити крізь стінки клітки і, отже, не

може впливати на мікроорганізми. Є багато органічних речовин, які в розчиненому стані можуть проявляти або стимулюючу дію, або токсичну.

Дані про кількість газу, яка може бути виділена з різних відходів, залишків і сумішей за оптимальних умов переробки, вельми суперечні. Це залежить від умов проходження процесу, особливо від кількості часу, протягом якого субстрат знаходиться в біореакторі, і бактерійного складу (табл. 7.3). Дослідження і розрахунки показують, що в багатьох країнах світу досить сировини для організації промислового виробництва біогазу з органічних відходів сільськогосподарського виробництва. Для цього найбільш придатні гнойові стоки тваринницьких ферм і комплексів.

Біогазові установки призначені для анаеробної переробки рідкого (90-95 %) гною та інших відходів тваринного і рослинного походження на фермах і фермерських господарствах з метою отримання біогазу і високоякісних органічних добрив (рис. 7.1).

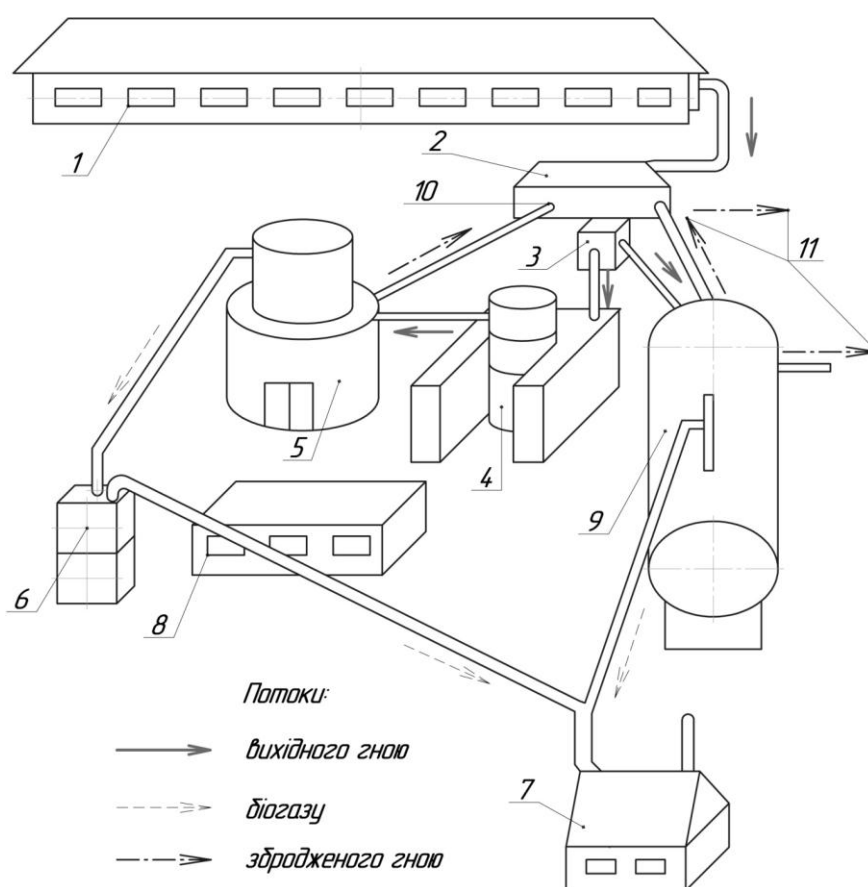


Рис.7.1. Схема технологічного процесу одержання біогазу:

1 – тваринницька ферма; 2 – приймальна ємкість вихідного гною; 3 – насос; 4 – ємкість попереднього підігріву вихідного гною; 5, 9 – метантенки (біореактори); 6 – газгольдер; 7 – котельня; 8 – пульт керування і контролю; 10 – приймальник збродженого гною; виведення збродженого гною мобільним транспортом.

Технологічний процес одержання біогазу і порядок використання біореакторів

Принципова схема технологічного процесу для малих ферм і фермерських господарств наведена на рис. 7.2.

Рідкий гній і відходи зливаються з будівлі ферми і самосплавом через решітку 2 в приймальну ємність 3, звідки один раз на добу подаються за допомогою насоса 4 через засувку 5 в завантажувальну горловину 6 і потрапляють в біореактор 7.

У біореакторі за допомогою теплообмінника, де як теплоносієм використовується гаряча вода, підтримується температура технологічного процесу анаеробного бродіння 35-55 °С. Легкі частинки (солома, тирса тощо), піднімаючись уверх, нагромаджуються під сіткою імобілізатора, який розміщено всередині зброджуваної маси. Ці частки, як і сіті імобілізатора, слугують для фіксації метанотворних бактерій.

Обертання імобілізатора підвищує контакт цих бактерій із свіжою органічною масою, що позитивно впливає на продуктивність установки.

Імобілізатори наведеної конструкції зменшують кіркоутворення, яке негативно впливає на роботу біореактора.

Верхній шар зброджуваної маси перемішується мішалкою 9.

Зброджувана маса через гідрозатор виливається в гноєсховище закритого типу 10.

Використання поряд з реакторами закритих гноєсховищ рекомендованих об'ємів дає можливість ефективного внесення високоякісного рідкого органічного добрива на поля господарства.

Промивання біореактора і видалення осаду проводиться за допомогою мобільних засобів через завантажувальний пристрій при закритій засувці 5.

Для запобігання втрат тепла для теплоізоляції рекомендується використовувати солому, тирсу, та інші теплоізоляційні матеріали.

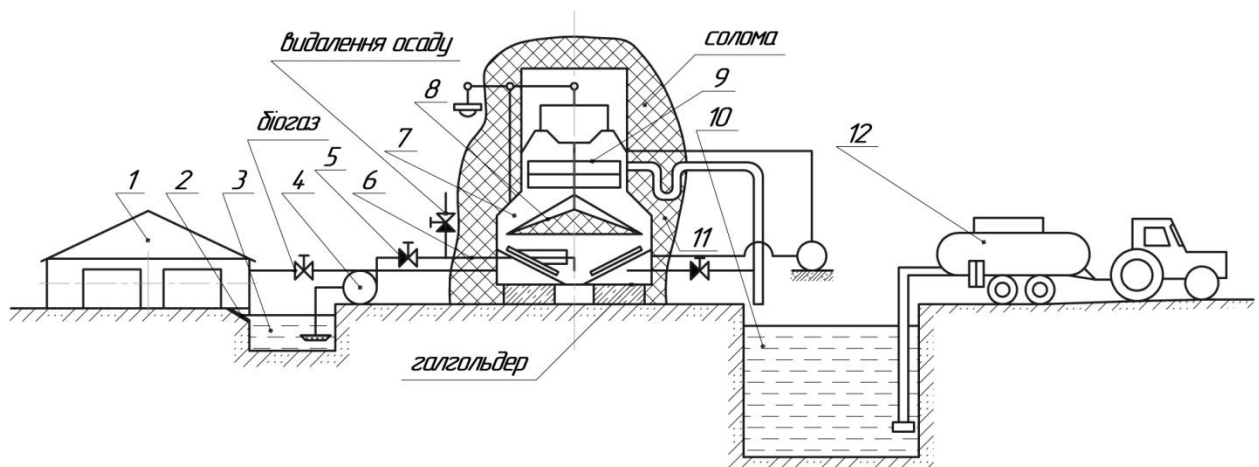


Рис. 7.2. Схема технологічного процесу одержання біогазу в фермерському господарстві:

1 – будівля ферми; 2 – решітка; 3 – приймальна ємкість; 4 – насос; 5 – засувка; 6 – завантажувальна горловина; 7 – біореактор; 8 – іммобілізатор; 9 – мішалка; 10 – гноєсховище; 11 – солома; 12 – насос; 13 – РЖТ

Біогаз (60–70% метан), який виділяється, накопичується у верхній частині акумулятора газу. При досягненні максимального об'єму вмикається газовий компресор, який перекачує газ у газгольдер до тих пір, поки газова камера не досягне мінімальних розмірів.

Включення і виключення компресора проводиться автоматично, за допомогою вимикача, встановленого на тязі акумулятора газу. З газгольдера біогаз відбирається для використання.

Конструкційна схема біореактора

Представлений біореактор складається з чотирьох блоків – нижнього, середнього, проміжного і верхнього.

У нижній блок біореактора вмонтовані газгольдер, який призначений для нагромадження і зберігання біогазу для подальшого використання і теплообмінний пристрій. Теплообмінний пристрій виконаний в нижній частині на внутрішніх стінках ємкості і використовується для підтримання заданої температури технологічного процесу і виготовляється з металевої труби.

У середній блок біореактора вмонтована завантажувальна горловина.

Проміжний блок біореактора має форму зрізаного конуса і слугує для з'єднання середнього блоку з верхнім.

У верхньому блоці біореактора встановлено мішалку з імобілізатором, акумулятор газу і гідрозатвор. При з'єднанні всіх чотирьох блоків утворюється ємність.

Ємність призначена для нагромадження і ферментації рідких відходів. Вона являє собою металеву конструкцію вертикальної форми. Висотою середньої секції регулюється робочий об'єм біореактора.

Гідрозатвор призначений для зливу збродженої маси і герметизації ємності (для запобігання виходу біогазу). Гідрозатвор розрахований на тиск біогазу до 500 мм водного стовпа.

Мішалка призначена для перемішування верхнього шару рідкого гною та руйнування кірки. Привод мішалки електро-механічний або ручний. Він складається з осі обертання, на якій закріплена мішалка, електродвигуна, редуктора.

Імобілізатор слугує для нагромадження активної анаеробної маси та утримання легких органічних фракцій (солома, клітковина) в середині зброджуваної маси, що зменшує швидкість утворення кірки на поверхні біореактора і пришвидшує розпад цих органічних речовин. Імобілізатор прикріплений до мішалки.

Завантажувальний пристрій слугує для завантаження біореактора рідким гноєм з попереднім підігрівом його, а також вивантаження осаду за допомогою мобільних засобів типу РЖТ. Він складається з двох частин – магістральної труби і підігрівача

Акумулятор газу призначений для попереднього накопичення і стабілізації тиску газу над зброджувальною рідиною. Він складається з газової камери і регулятора тиску. Регулятор тиску слугує для підтримання стабільного тиску в газовій камері.

7.2. Основні тенденції розвитку технічних засобів для анаеробної переробки гною

Нині в усьому світі набувають поширення біогазові технології переробки органічних відходів, які дозволяють одночасно вирішити чотири проблеми: екологічну – ліквідація відходів виробництва, енергетичну – отримання палива і енергії, агрохімічну – отримання екологічно чистих добрив і продуктів, підвищення родючості ґрунтів та соціальну – покращення умов праці і побуту населення.

Виробництво біогазу з сільськогосподарських відходів здійснюється в багатьох розвинутих країнах світу.

На основі аналізу експозицій щорічних міжнародних спеціалізованих виставок сільськогосподарської техніки в містах Ганновер (Німеччина), Брно (Чехія) та Познань (Польща) біогазові установки, які створюються в Європі, можна умовно поділити на три категорії.

До першої категорії належать біогазові установки для фермерських господарств. Таке обладнання розраховане на отримання біогазу з гною, який виробляється в фермерському господарстві. При цьому зброджена маса використовується як органічне добриво, а за рахунок біогазу забезпечуються потреби господарства в опаленні та електроенергії. Установки цього типу складаються, як правило, з резервуарів для попереднього накопичення і зберігання гнойової маси, біореакторів з системами керування, перемішування та обігрівання, резервуарів для зберігання і подальшої переробки збродженої біомаси, гнойових насосів для завантаження та вивантаження, обладнання для зберігання та транспортування біогазу, а також теплоенергетичного модуля для опалення та виробництва електроенергії. Такі установки вирізняються конструкційною простотою та високим рівнем стандартизації.

Перевагою таких систем є простота, порівняна дешевизна і можливість швидкого переобладнання вже існуючих систем нагромадження і переробки гною в біогазові установки.

До другої категорії слід віднести потужні установки з переробки гною, розраховані як на використання у великих тваринницьких господарствах, так і на задоволення спільних потреб декількох фермерських господарств. На таких біогазових установках, як правило, переробляють гній у суміші з іншими видами органічних відходів, і складаються вони з декількох блоків. Блок попереднього зберігання містить окремі резервуари для гною і органічних відходів і резервуари для гомогенізації біомаси. Біореактори являють собою сталеві резервуари і обладнуються системами автоматичного керування. Зброджена біомаса в подальшому використовується господарствами як органічне добриво, а отриманий біогаз перетворюється на теплову та електричну енергію за допомогою універсального теплоенергетичного модуля. В таких біогазових установках широко застосовуються теплообмінники, в яких тепло вже переробленої маси використовується для попереднього розігрівання вихідної сировини. Анаеробна ферментація гною відбувається здебільшого в термофільному режимі через кращу відповідність такого зброджування санітарним вимогам. Ефективність такого типу біогазових установок прямо залежить від їх розмірів: чим потужніше підприємство, тим менша вартість переробки кожного кубометра біомаси.

До третьої категорії належать найпотужніші біогазові установки, на яких переробляють органічні відходи різноманітного походження. Ці установки найбільш технологічно досконалі і дозволяють одержувати біогаз як з рідких, так і з твердих органічних відходів.

В таких установках велика увага приділяється підготовці сировини до зброджування, тому що стан окремих видів органічних відходів не завжди відповідає гігієнічним вимогам. Для підвищення ефективності анаеробної ферментації в деяких випадках додатково передбачають технологічну операцію гідролізу біомаси. Зброджені відходи з великим вмістом сухої речовини, з метою підвищення якості їх як органічного добрива, можуть піддаватися подальшій переробці шляхом аеробного компостування, а рідина утилізуватися після додаткового очищення.

В конструкціях сучасних біогазових установок широко впроваджуються нові технологічні рішення, направлені на підвищення ефективності цієї технології. В розробках використовуються після-ферментаційне витримання біомаси в спеціальних резервуарах, коферментація, часткове продування повітрям та інші технологічні рішення.

Вдосконалення конструкцій мікробіологічних реакторів йде в напрямку зниження енергоємності процесу перемішування субстрату і створення оптимальних умов для нагромадження активної біомаси.

Деякі фірми застосовують в конструкціях біогазових установок реактори горизонтального типу з механічним перемішуванням, але частка таких біореакторів в загальній кількості розроблених і збудованих установок поступово зменшується.

Характерним для багатьох розробок є виготовлення резервуарів різного призначення, що входять до складу біогазових установок, у тому числі і біореакторів зі збірних елементів з листового або гофрованого металу з високоякісним антикорозійним покриттям.

Слід зазначити, що в конструкціях біогазових установок за рубежом широко використовуються найсучасніші конструкційні матеріали, високоефективне теплоенергетичне обладнання та надійні системи автоматичного керування технологічними процесами на базі сучасного комп'ютерного обладнання.

Слід відмітити що ще на початку 1980 років на підставі теоретичних і експериментальних досліджень Конструкторско-технологічний інститут сільськогосподарського машинобудування (КТІСМ) створив промисловий комплекс устаткування біологічного очищення стоків «КОБОС-1» для анаеробного зброджування гною. Він був встановлений на фермі-лабораторії УкрЦВТ на 800 корів, який не поступався сучасним зразкам імпортного виробництва.

Підігрівач-витримувач – це циліндричний резервуар з теплообмінником, що є замкнутою системою за принципом «труба в трубі», де гній нагрівається до необхідної температури в протитечії гарячої води.

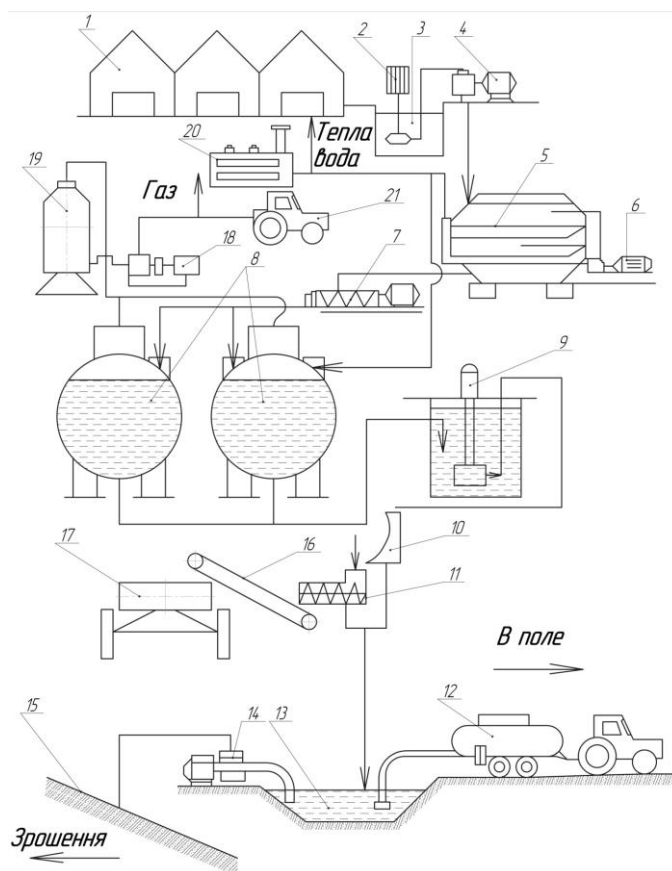


Рис. 7.3. Технологічна схема комплексу обладнання «КОБОС-1»:

1 – ферма; 2 – насос для рідкого гною; 3 – колектор; 4 – подрібнювач; 5 – підігрівач витримувач; 6,9 – фекальний насос; 7 – гвинтовий насос; 8 – реактори; 10 – дугове сито; 11 – прес-фільтр; 12 – цистерна-розкидач; 13 – гноєсховище; 14 – насос; 15 – зрошувальна система; 16 – транспортер; 17 – теліжка; 18 – компресор; 19 – газгольдер; 20 – котел; 21 – трактор, який працює на біогазі.

Окреме приміщення: розділене на два відсіки, всередині яких змонтовані насосна установка і установка для очищення біогазу,.

У насосній – два фекальні насоси, чотири шлангові затвори і система трубопроводів.

У силовому блоці-контейнері розміщено устаткування, що забезпечує нагрівання води для підтримання температурного режиму.

Блок-контейнер управління розташований в окремому приміщенні. Усередині нього – шафа і пульт управління, клемні коробки.

Установка працює в автоматичному режимі таким чином.

Гній з колектора насосом подається в подрібнювач, в якому переробляються довговолокнисті та інші рослини. Звідси гній подається в підігрівач-витримувач і підігрівається до температури зброджування. Потім витриманий гній гвинтовим насосом-дозатором через шлангові затвори подається в реактори, де відбувається анаеробний процес, в результаті якого виділяється біогаз.

Одержаний в процесі бродіння біогаз з реакторів компресорами відділяється в блок очищення. Очищений біогаз через зворотний клапан і гідрозасув подається для використання на комплексі «КОБОС–1». Надлишок біогазу прямує для зберігання.

Зброджена гнойова маса – хороше органічне добриво. Під час дозованого завантаження її самопливом видаляють в колектор для подальшого використання.

З накопичувача насосом НЦІ-Ф-100 гнойову масу подають на дугове сито СД-Ф-50 для розділення на тверду і рідку фракції.

Згущену масу зневоднюють прес-фільтром ПЩ-75 до вологості 72-75% і транспортують в бурти, де відбувається біотермічне знезараження.

Рідка фракція подається в гноєсховище і в кращі для господарства терміни цистернами-розкиданнями РЖТ-8 або дощувальними установками типу ДКО-80 вивозиться для поливу сільськогосподарських угідь.

Технологічний процес, закладений в комплексі «КОБОС-1» двостадійний, аналогічний, виконаний відповідно до попередніх опрацювань апаратурно роздільно, тобто 1 стадію процесу – гідроліз і кислотоутворення здійснюється в підігрівачі-витримачі (25м^3), 2 стадія – в реакторі (125м^3).

Процес здійснювався при температурі $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перемішування маси механічне – лопатевою мішалкою.

В період запуску процесу добові дози завантаження реактора – $6-8\text{ м}^3$ гнойової маси, автоматичною подачею порціями 24 рази на добу.

Не дивлячись на широку пропаганду та використання біогазових установок за рубежом, нині в Україні широкого розповсюдження вони не набули.

Слід відзначити, що по вирішенню завдання анаеробної переробки гною та посліду в біореакторах, з метою отримання біогазу та екологічно безпечних добрив в Україні є значні напрацювання, однак біогазових установок (БГУ) вітчизняного виробництва не має. Пояснюється така ситуація тим, що переробка органічних відходів тваринництва в біореакторах є складною, затратною технологією, для здійснення якої необхідно залучення значних коштів, підготовки кваліфікованих кадрів та введення відповідних стимулюючих заходів для господарств, які будуть здійснювати впровадження технології переробки органічних відходів тваринництва з метою одержання екологічно-безпечних органічних добрив та біогазу.

В теперішній період, коли тваринництво переважно зосереджується в невеликих фермерських та селянських господарствах, де утримується невелика кількість великої рогатої худоби, свиней та домашньої птиці, назріла необхідність для даних господарств відпрацювати технологію та малогабаритне

обладнання для метанового зброджування органічних відходів, які накопичуються.

Основною метою при застосуванні метанового зброджування органічних відходів в даному випадку є приготування високоякісних органічних добрив з отриманням біогазу, який буде використовуватися для технологічних потреб в побуті. Об'єм реактора для метанового зброджування органічних відходів для невеликих господарств повинен складати 3-5 м³. Оригінальна конструкція БГУ з таким реактором розроблена в ННЦ «ІМЕСГ» (автор розробки Рубан Б.О.)

7.3. Методика розрахунку біогазової установки

Технологічний розрахунок параметрів біореактора (метантенка) проводять, виходячи із маси гною, який підлягає переробці, а також його вологості. Методику розрахунку виходу гною з тваринницької ферми подано в п 1.1.2:

Вміст абсолютно сухої речовини (кг) в гною визначають за формулою:

$$P_c = \frac{M(100 - \omega)}{100}, \quad (7.4)$$

де M – добовий вихід гною ферми, кг/добу; ω – вологість рідкого гною, %.

З умови, що в середньому в гною міститься до 20% неорганічних речовин, кількість сухої органічних речовин у масі гною (кг) визначається за формулою

$$P_o = 0,8P_c. \quad (7.5)$$

Кількість біогазу (м³/добу), який отримують у процесі бродіння гною, визначається за формулою:

$$W = P_o k_o k_g, \quad (7.6)$$

де k_o – коефіцієнт розкладання органічної речовини ($k_o=0,3$); k_g – вихід біогазу при розкладанні 1 кг органічної речовини ($k_g=0.7$ м³/кг).

Об'єм біореактора (м³) визначаємо за формулою:

$$V = \frac{M \rho_g T}{k}, \quad (7.7)$$

де T – тривалість бродіння, діб; ρ_2 – щільність гною (табл.3.7), м³/кг; k – коефіцієнт завантаження біореактора ($k=0,9$).

На практиці тривалість бродіння вибирають залежно від температури в наступних інтервалах: при 10 – 25 °С – 30 діб, при 25 – 40 °С – від 10 до 20 діб, при 45 – 60 °С – від 8 до 4-х діб.

Загальні втрати тепла становлять:

$$Q_H = Q_0 + Q_b + Q_a, \quad (7.8)$$

де Q_0 – втрати тепла в тепломережі, кДж; Q_b – тепло, яке необхідне для підігріву рідких відходів до температури технологічного процесу, кДж; Q_a – втрати тепла в біореакторі, кДж;

Слід відмітити, що втрати тепла в тепломережі за результатами досліджень складають до 1 %, тому при проведенні аналізу їх можна не враховувати.

Необхідна кількість тепла для підігрівання гною, який потрапляє в біореактор, розраховується за формулою:

$$Q_b = Cm\Delta t_H, \quad (7.9)$$

$$\Delta t_H = t_1 - t_e,$$

де C – питома теплоємність гною, кДж/кг-град, (табл. 3.13); t_1 – температура технологічного процесу, °С; t_e – температура гною, °С; m – маса гною (продуктивність за добу), кг

Витрати тепла визначаються за формулою, кДж:

$$Q_a = 0,001 \cdot \frac{\Delta t_e \tau F_c}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7.10)$$

де $\Delta t_e = t_1 - t_a$; λ_i – коефіцієнт теплопровідності, кДж/кг °С – для металу приймається 45 Вт/м град; скловата 0,037 Вт/м град; δ_i – товщина стінки, м; t_a – розрахункова температура навколишнього середовища, °С; F_c – загальна площа поверхні біореактора, м²; τ – розрахунковий період, с, $\tau = 24 \text{ год} = 86400 \text{ с}$; α_1 , α_2 – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² град, для рідини при природній конвекції

$\alpha_1 = 116, 3-1163 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$; для газів при природній конвекції $\alpha_2 = 5,82-34,9 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$ [65].

Для проведення енергетичної оцінки біогазової установки необхідно враховувати витрати енергії на її виготовлення та встановлення:

$$Q_{\text{в}} = 24qm_{\text{в}}, \quad (7.11)$$

де q – енергетичний еквівалент на 1 кг маси обладнання, кДж/кг·год; (рекомендується приймати 32000 кДж/кг·год; $m_{\text{в}}$ – маса обладнання, кг; 24 – кількість годин в добі, год.

Коефіцієнт виходу товарного біогазу розраховуємо за формулою:

$$\eta_b = 1 - \frac{n}{W}, \quad (7.12)$$

де W – добовий вихід біогазу, м³/добу; n – кількість біогазу необхідного для підтримання технологічного процесу, м²;

$$n = \frac{Q_{\text{н}}}{q_{\text{б.г.}} \cdot \eta}, \quad (7.13)$$

де $q_{\text{б.г.}}$ – теплота згоряння біогазу, кДж/м³, $q_{\text{б.г.}} = 23000 \text{ кДж/м}^3$; η – коефіцієнт корисної дії котла,

$$W = G \cdot 0,8 \cdot \frac{(100 - \omega)}{100} v_{\text{б.г.}} q_{\text{б.г.}}, \quad (7.14)$$

де $v_{\text{б.г.}}$ – вихід біогазу м³/кг СОР;

Коефіцієнт енергетичної ефективності біогазової установки

$$\eta = \frac{W \cdot q_{\text{б.г.}}}{Q}, \quad (7.15)$$

де $Q = Q_{\text{н}} + Q_{\text{в}}$

Біогазова установка вважається енергетично ефективною при $\eta > 1$

РОЗДІЛ 8. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГУМУСУ

1.1. Огляд і аналіз основних технологій утилізації органічних відходів вермикомпостуванням

Відходи у вигляді гною тваринницьких ферм, побутового сміття, відстою стічної води є основними компонентами, з яких при переробці вермикомпостуванням одержують цінне добриво-біогумус і біомасу дощових черв'яків.

Наукові дослідження академіка Городнього М.М., Мельника І.П., Слободяна В.А., Гітіліса В.С. та інших свідчать про те, що ці відходи є цінним джерелом поживних речовин, які в процесі переробки цих відходів вермикомпостуванням (рис. 8.1) акумулюються в легкодоступних для засвоювання їх рослинами формах в біогумусі (рис.8.2), а також в біомасі дощових черв'яків (рис.8.3), яка є ефективним джерелом поповнення білка в кормовиробництві. З цих відходів готується субстрат – корм для черв'яків (рис. 8.4). Іноді використовуються субстрати на основі відходів деревини, торфу та сапропелю. На основі аналізу даних робіт розроблена класифікаційна схема технологічних процесів підготовки субстрату (рис. 8.5), згідно з якою процес підготовки субстрату класифікується за призначенням і системами компостування виду основного компостуючого матеріалу.

Підготовка субстрату є однією з основних ланок в технологічному циклі верми-компостування. Субстрат має для черв'яків подвійне значення: по-перше, це середовище існування; по-друге, це корм, завдяки якому забезпечується певний рівень їх життєдіяльності. Тому від виду субстрату і співвідношення його окремих компонентів та багатьох інших факторів залежить загальний стан популяції черв'яків, інтенсивність переробки відходів, розмноження і нагромадження біомаси черв'яків, властивість і кількість біогумусу [224, 226, 251, 284,293, 310].

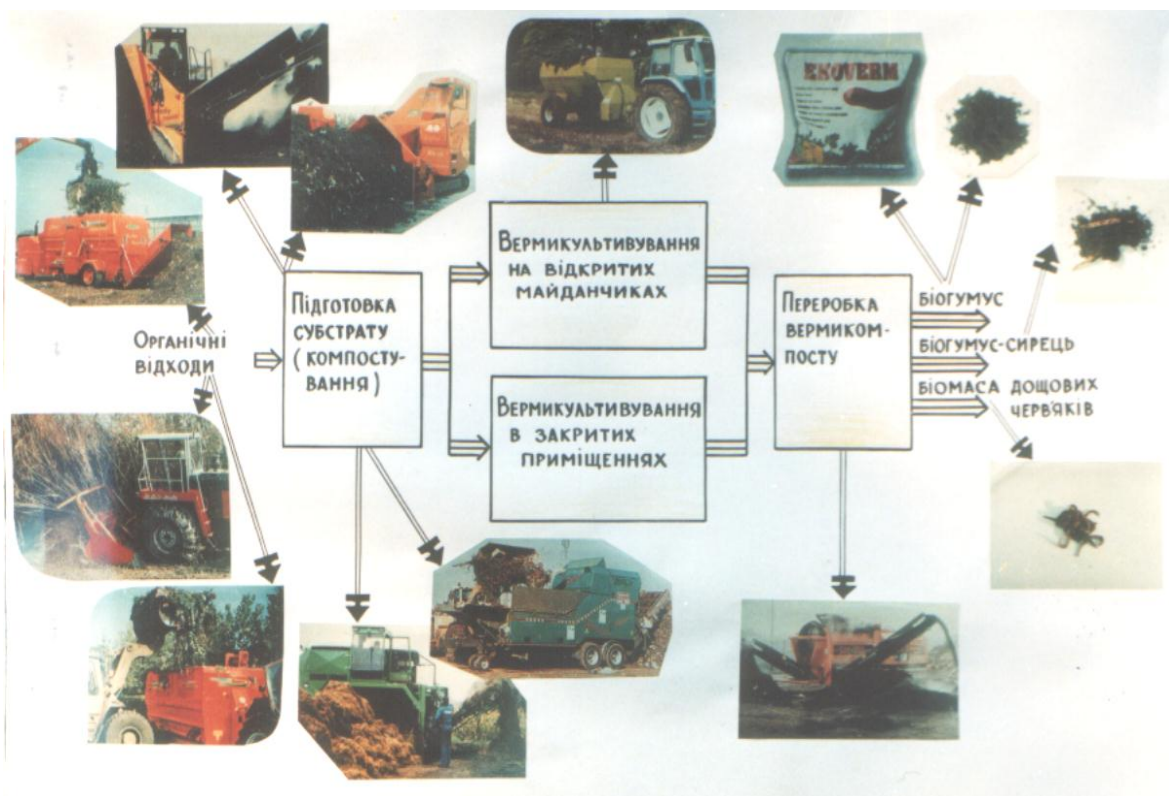


Рис. 8.1. Структурна схема вермикомпостування.

Важливо відмітити, що на різних видах субстрату розвиток черв'яків проходить неоднаково і фізико-хімічний склад біогумусу різний. За даними НДЦ „Біогумус”, за 1,5 місяці в субстраті на основі курячого посліду, біомаса черв'яків збільшилась в 4 рази, на основі свинячого гною – в 3 рази, на основі гною ВРХ – в 2,8 рази, на основі осаду стічних вод – в 2,6 рази [224].

Аналіз наукових робіт Городнього М.М., Слободяна В.А. і інших авторів [53, 141, 236, 238] свідчить, що основними технологічними операціями підготовки субстрату є змішування компонентів, закладання їх в бурти, ферментування, в процесі якого підтримується вологість маси на рівні 70-80%, а також її аерування (рис.8.6).

Для одержання якісного субстрату пред'являються ряд вимог. Вологість вихідного субстрату повинна бути 70-80 %. В ньому не повинно бути твердих включень (каміння, метал, дерево, скло і інші), середовище повинно бути нейтральним. Компостують субстрат у двох режимах, спочатку в термофільному (температура 50-60 °С), а потім у мезофільному (температура 25-35 °С).

Мінеральні добавки у вигляді порошку (вапно, крейда, мергель, дефека́т) дають в кількості 300-400 г на 1 м³ субстрату. Тривалість дозрівання корму: влітку 2-3 місяці, зимою 3-5 місяців. Зберігання субстрату може тривати 8–10 місяців. Готовність субстрату до споживання визначають по відношенню вуглецю до азоту, яке повинно бути близько 20. Субстрат повинен мати матеріал з мінеральними добавками у вигляді глини, дефека́ту, цеолітів до 10 % від всієї ваги [53].



а)



б)

Рис. 8.2. Зразки біогумусу:
а – сирець; б – товарний.



Рис. 8.3. Вигляд біомаси дощових черв'яків



Рис. 8.4. Вигляд субстрату – корму для черв'яків

В простих системах компостування (рис. 8.5) підготовлений субстрат складають у вигляді довгих буртів, які називаються компостними рядами, вручну, або за допомогою навантажувачів чи самоскидів. Компостні ряди мають приблизно трикутну форму в перерізі, їх висота і ширина може бути різною, але рекомендується, щоб для природної аерації їх висота не перевищувала 1,5 м, а ширина 2,5 м [195]. Бажано, щоб майданчик, на якому розміщують компостні ряди, був бетонним і не руйнувався транспортними засобами.

В країнах Європи і в США для приготування субстрату на фермах використовуються навантажувачі і плоскодонні розкидачі гною. Органічні відходи з тваринницьких ферм навантажуються в розкидач для гною, в якому вони подрібнюються, аеруються, а потім звальюються купою висотою 1,25 м.

Агрегат поступово пересувається, щоб утворився бурт. За допомогою спеціального пристрою роблять вертикальні отвори діаметром 75 мм на відстані 1 м один від одного. Через 2-3 місяці субстрат готовий до використання.

Для того, щоб збільшити швидкість біодеградації субстрату і виключити необхідність його перевертання, здійснюється примусова аерація компостних рядів за допомогою спеціальних труб, прокладених під субстратом, що компостується. Аерування субстрату здійснюється за рахунок відбирання повітря з цих каналів, або нагнітання повітря в них.

В механізованих системах з використанням компостних рядів субстрат часто розміщують в ложах між стінками. Майданчик, на якому розміщені компостні ряди, має пристрій для нагнітання (відбору) повітря. Перемішування здійснюється за допомогою пристроїв, які рухаються вздовж стін. Тривалість компостування субстрату від 4 до 12 діб.

Механізованою установкою для компостування субстрату, в основному, є барабан довжиною 40 м і діаметром 4 м, який обертається з частотою 1-2 хв⁻¹. Тривалість перебування субстрату в барабані 2 - 3 доби, після чого його

розміщують в компостні ряди на декілька діб. Підготовлений субстрат використовується для вермикультивування.

Вермикультивування – це процес розведення дощових черв'яків. Технологічний процес вермикультивування може носити різний виробничий характер в залежності від об'єму перероблюваних органічних відходів, інтенсивності технологічного процесу (рис.8.7) та інших параметрів. На основі аналізу робіт [53, 141, 75, 18, 273, 297, 162, 210, 236] розроблено класифікаційну схему вермикультивування і отримання вермикомпосту (рис.8.8), згідно з якою вермикультивування класифікується за призначенням, процесом вермикультивування і способом утримання черв'яків.

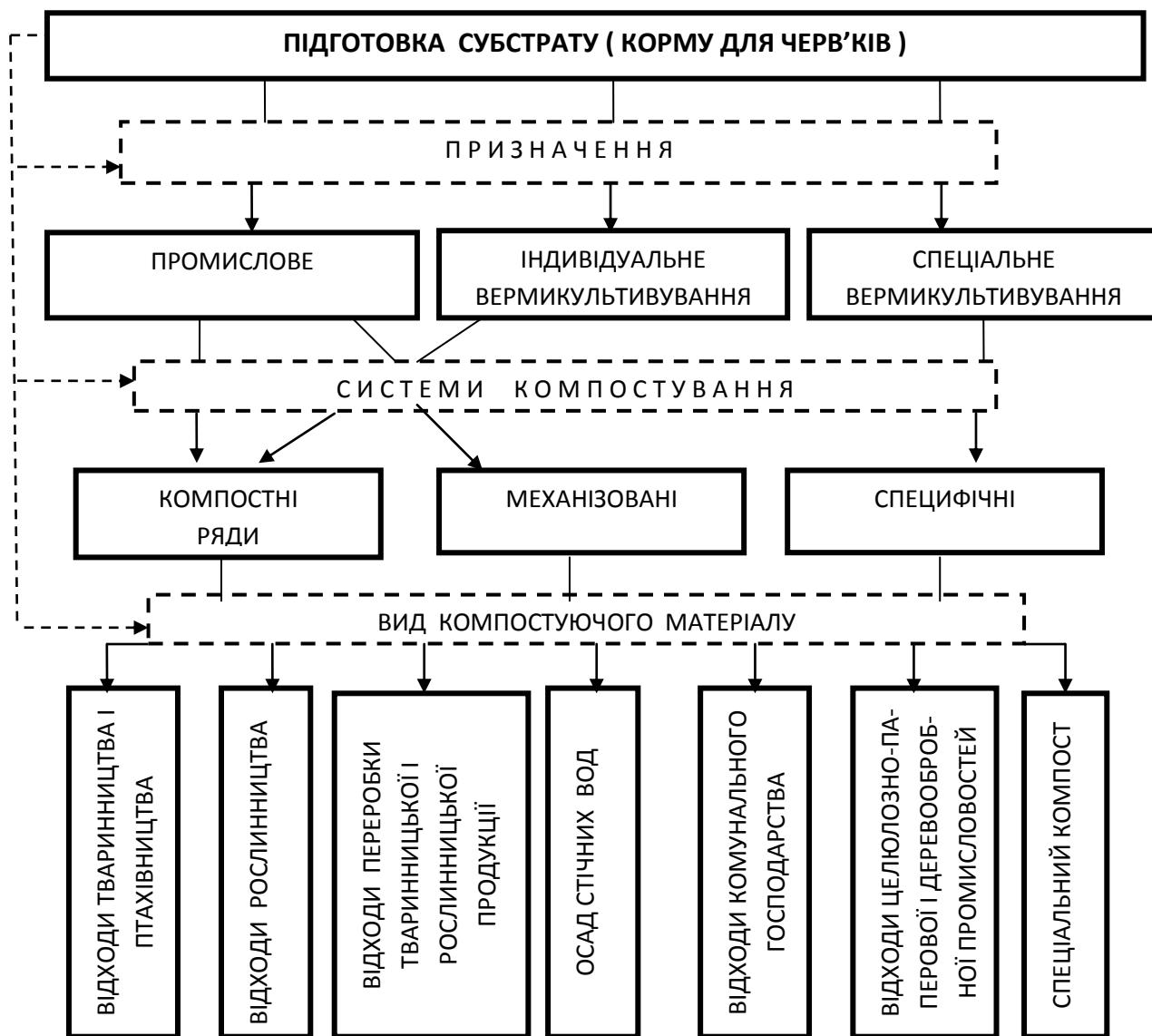
Промислове вермикультивування передбачає створення крупних вермигосподарств для переробки значних обсягів органічних відходів.

Індивідуальне вермикультивування – вирощування черв'яків в умовах фермерських господарств, на присадибних і дачних ділянках, в підвальних приміщеннях і на балконах в міських населених пунктах.

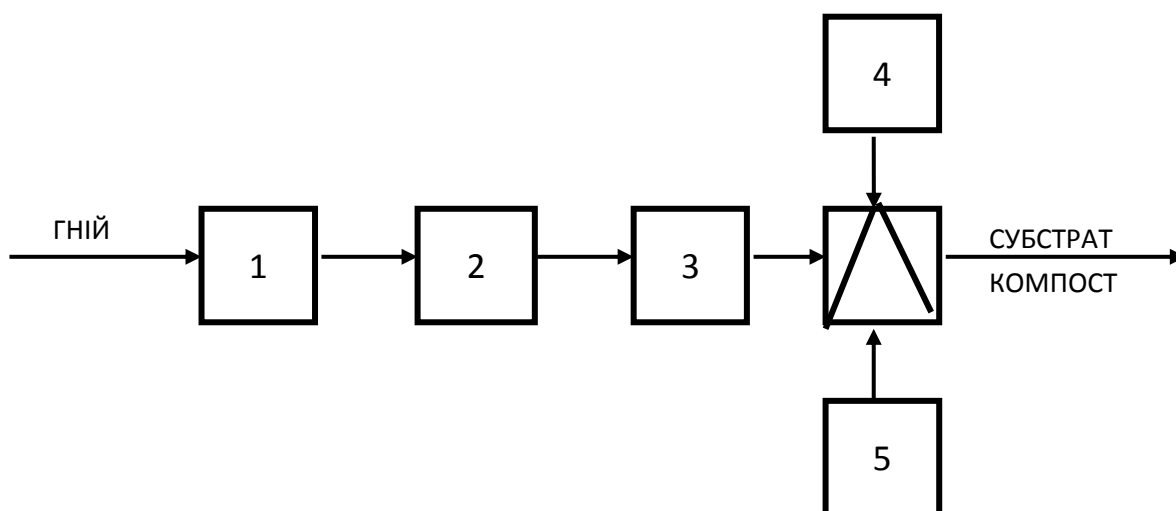
Спеціальне вермикультивування призначене для використання продукції в медицині, фармакології, харчовій промисловості.

Процес вермикультивування поділяється на екстенсивний і інтенсивний. Інтенсивний спосіб вермикультивування полягає в тому, щоб з однієї і тієї ж площі вермикультури одержати кінцеві продукти в якомога коротші строки і у великих кількостях [68, 195, 209, 238, 300]. Інтенсифікація розвитку вермигосподарства проводиться за рахунок автоматизації і механізації виробництва і ефективним використанням виробничої площі.

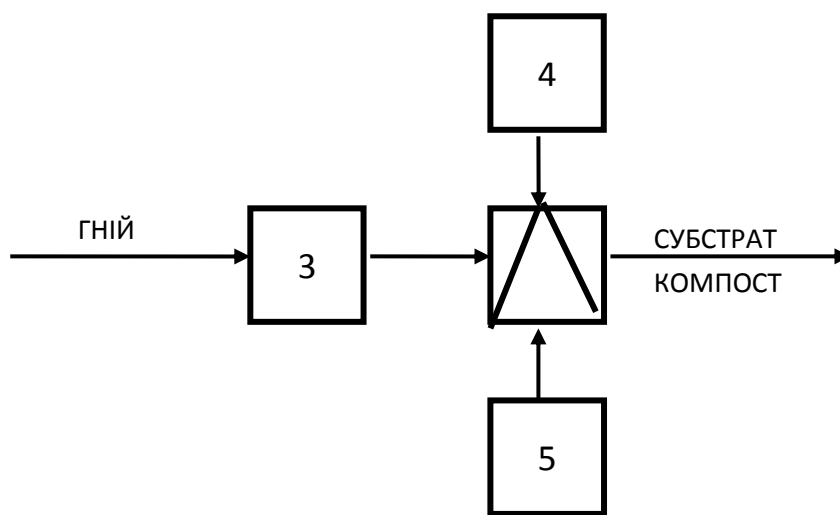
За способом вирощування дощових черв'яків процес вермикультивування може здійснюватися на відкритих майданчиках [53, 141, 188, 236], в закритих приміщеннях [68, 238], комбінованим способом [188, 209, 299] та в спеціальних лабораторіях [53]. Біомасу черв'яків, в залежності від призначення і способу культивування, вирощують в буртах [53, 141, 188, 209], ящиках, або стелажах [68, 247] і ямах [53].



8.5. Класифікаційна схема технологічних процесів підготовки субстрату.



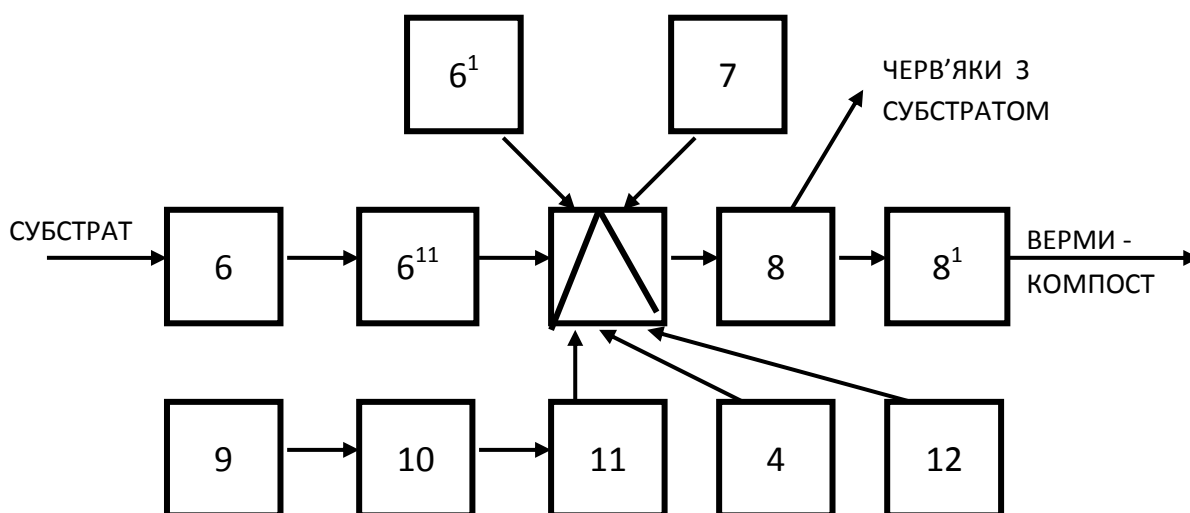
a)



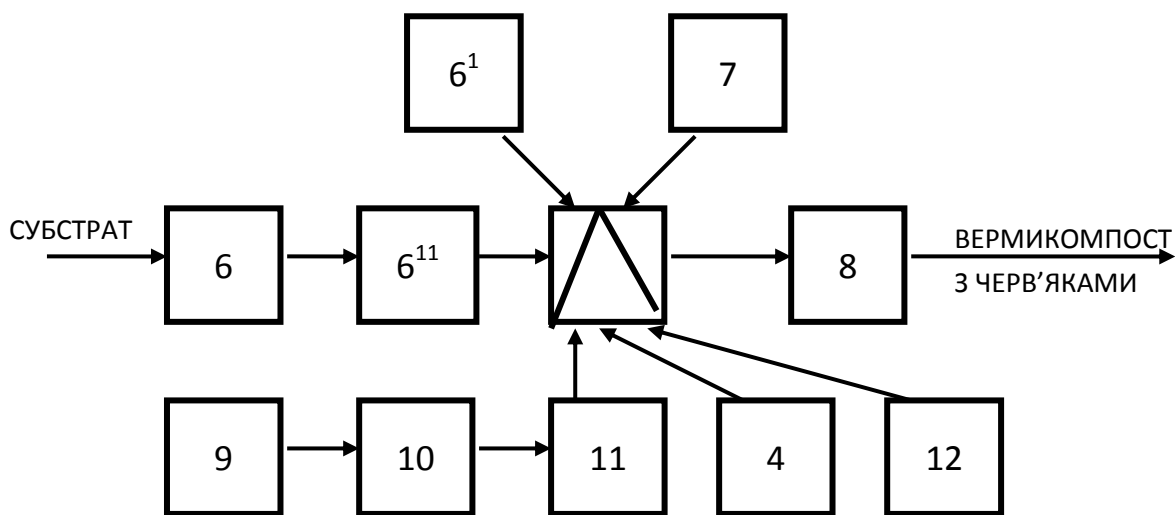
б)

Рис. 8.6. Технологічні схеми процесу підготовки субстрату (компостування):

□ – механічний; ▤ – біотехнологічний процес; 1 – навантажування гною; 2 – перевезення гною; 3 – навантажування, змішування і формування буртів; 4 – поливання буртів водою; 5 – аерування буртів.



а)



б)

Рис. 8.7. Технологічні схеми процесу вермикультивування:

□ – механічний; ▢ – біотехнологічний; 6 – закладання буртів; 6¹¹ – заселення черв'яками; 6¹ – підкормка черв'яків; 7 – аерування; 8 – відділення черв'яків з субстратом; 8¹ – виборка вермикомпосту; 9 – навантажування соломи; 10 – перевезення соломи; 11 – розкладання соломи; 12 – збирання соломи.

В процесі вермикультивування одержують вермикомпост. Вермикомпост складається з копролітів черв'яків, залишків субстрату, а також біомаси черв'яків. Вермикомпост без черв'яків, який не піддають переробці називають *біогумусом – сирцем*. Біогумуссирець можна використовувати для внесення в ґрунт як добриво, а біомаса дощових черв'яків використовується в кормовиробництві, медицині і фармакології.

З метою комерційної реалізації отриманий вермикомпост (біогумус-сирець) піддають переробці і одержують товарний біогумус (далі біоумус) [53, 188, 209, 243]. Для цього відділяють тверді включення (скло, метал, каміння та ін.), відділяють черв'яки, якщо вони не були відділені на етапі вермикультивування, сушать, подрібнюють та фракціонують.

На практиці вермикомпостування в основному проводять на відкритих майданчиках [188], в закритих приміщеннях [53,68], або комбінованим способом [188, 209].

Вермикультивування на відкритих майданчиках характерне тим, що вермикультивування проходить в умовах навколишнього середовища в буртах

висотою до 1 м і шириною 1,5 – 4 м при температурі не нижче + 5 °С [53]. Слід відмітити, що в Україні, поки що в основному, використовується саме ця технологія.

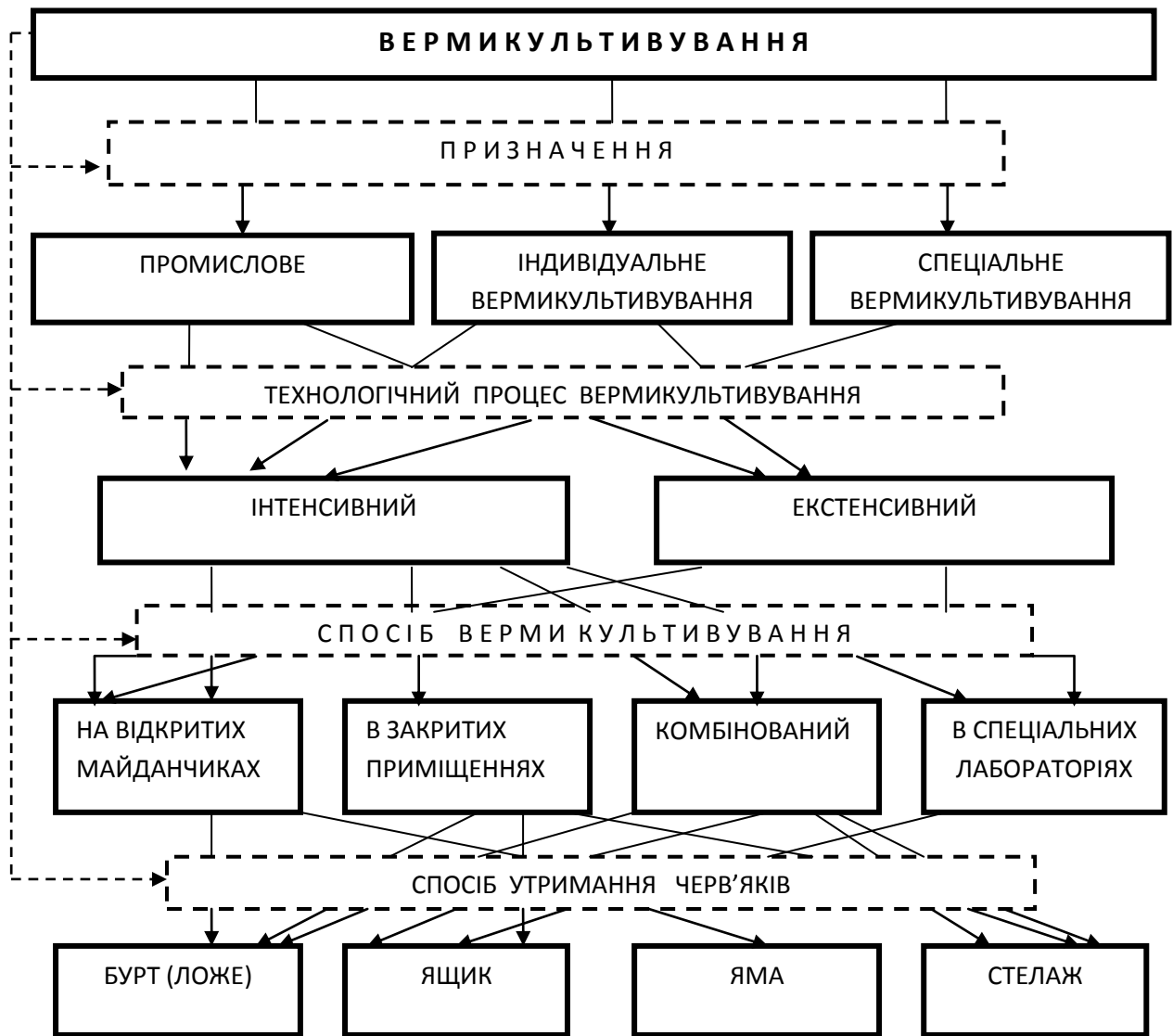


Рис. 8.8. Класифікаційна схема процесів вермикультивування.

Вермикультивування в буртах складається з наступних технологічних операцій:

- закладання бортів з субстратом;
- заселення дощових черв'яків в субстрат;
- поливання бортів з вермикомпостом для підтримування вологості в межах 70-80 %;
- аерування вермикомпосту;

- підкормлювання черв'яків;
- відділення черв'яків від компосту;
- вибирання біогумусу-сирцю.

Закладання субстрату в бурти (ложі) товщиною до 25 см і шириною 1,5-4 м виконується вручну, або мобільним технічним засобом з боковим вивантажувальним пристроєм. Довжина бортів залежить від параметрів майданчика.

Для заселення бортів черв'яками необхідно переконатись у відповідності всіх параметрів базового субстрату, оптимальному рівню: фізичного і хімічного складу, закінченості стадії ферментації ($C/N = 20$), вологості, реакції середовища ($pH = 6,8-7,2$), температури. Необхідно перевірити придатність субстрату для черв'яків.

Вологість компосту є одним із важливих екологічних факторів в життєдіяльності черв'яків. Недостатня вологість вермикомпосту приводить до їх загибелі. Тому, для підтримування вологості у вермикомпості близько 80 % використовують стаціонарні, або мобільні поливальні установки.

Аерація передбачає насичення вермикомпосту атмосферним повітрям і виведення з нього шкідливих газів, яка забезпечується створенням близько 15 вертикальних отворів в розрахунку на 1 м² бурта діаметром по 5 см.

Швидкість переробки корму залежить від багатьох обставин: умов утримання черв'яків, складу субстрату, кількості черв'яків. Тому необхідно приділяти увагу годівлі черв'яків. В основному, підкормку черв'яків свіжим субстратом проводять через конкретну кількість діб (7-9 діб), розстеляючи його по поверхні вермикомпосту товщиною до 10 см вручну, або за допомогою технічного засобу для закладання бортів.

У вермикультивуванні настають періоди, коли кількість черв'яків на одиницю площі перевищує оптимально допустиму норму (100000 шт/м²) і виникає необхідність частину черв'яків вибирати із культури. Це передбачає неповне їх вибирання. При неповному вибиранні черв'яків внесення в культуру свіжого корму припиняють і через 10 діб вносять свіжий корм шаром

товщиною 10 см. Після чого через 10 діб шар субстрату з черв'яками знімають, а на його місце наносять свіжий корм.

Повне вибирання черв'яків проводиться для отримання біогумусу-сирцю. При повному вибиранні вище проведену процедуру повторяють 3-4 рази і відбирають до 90-95 % черв'яків, які в подальшому використовуються в виробничих цілях (заселення нових лож, їх реалізація, використання на корм сільськогосподарським тваринам і птиці).

Вибирання біогумусу-сирцю проводять 2 рази на протязі року. Після чого він використовується як добриво, або поступає на подальшу переробку.

Слід відмітити, що в Україні 80-90 % всього біогумусу виробляється вермикомпостуванням на відкритих майданчиках.

Вермикультивування в закритих приміщеннях проводиться протягом року в штучно створених оптимальних умовах розвитку вермикультури.

Комплексна технологія вермикомпостування використовується при переробці великої кількості відходів, більше 10000 т на рік. Суть такої технології полягає в тому, що в закритому приміщенні в холодний період року нарощується значна біомаса черв'яків, яка потім використовується для інтенсифікації переробки відходів на відкритому майданчику.

Впровадження технологій вермикомпостування в господарствах дає можливість на високому рівні підтримувати родючість ґрунтів, здійснювати рекультивування непридатних для сільськогосподарського виробництва ґрунтів, одержувати екологічно чисту рослинницьку продукцію, а також високобілкову біомасу дощових черв'яків.

8.2. Агрозоотехнічні передумови переробки вермикомпосту

Необхідність технологічного процесу переробки вермикомпосту в товарний біогумус обумовлена такими факторами:

- біогумус є товаром на світовому ринку;
- переробкою відділяється найбільш цінна гуміновмісна частина;

– ефективністю і зручністю для локального механізованого внесення в ґрунт, створення органо-мінеральних сумішей, ведення тепличного господарства і вирощування кімнатних рослин.

Внесення нестандартного біогумусу-сирцю в ґрунт потребує відповідного підвищення його дози. Якщо при загальному внесенні в ґрунт оптимальна доза для біогумусу становить 3-3,5 т/га, а для біогумусу-сирцю – 4-5 т/га [53], то при локальному його внесенні оптимальна доза складає лише 250-300 кг/га [210]. Тому біогумус-сирець, призначений для реалізації, піддають відповідній переробці. Після відділення черв'яків від вермикомпосту, підсушування його до вологості 40...50% і подрібнення біогумус розділяють на три фракції в залежності від величини гранул [53]: найдрібніша (гранули до 1 мм) , дрібна (гранули до 2 мм), крупна (гранули до 3 мм).

Якість біогумусу повинна відповідати таким вимогам: вологість – 30-40%, вміст органічної речовини – 20-30%; вміст водорозчинних солей – 0,5%, рН – 6,8-7,2; вміст загального азоту – 1%, загального фосфору (P_2O_5) – 1,5%, загального калію (K_2O) – 1%, магнію – 1%, кальцію – 4% [53, 243]. Біогумус також не повинен містити речовин, які біологічно не переробляються (полімерів, каміння, скла, металу та ін.).

Необхідно відмітити, що висока ефективність застосування біогумусу (табл. 8.1) визначається багатством флори бактерій (до 2000 млрд. колоній в 1 г біогумусу при 150-300 млн. колоній в 1г гною тварин), вмістом великої кількості необхідних рослині елементів живлення в засвоюваній формі, реакцією середовища (рН 6,8 - 7,2), близькою до нейтральної, що створює в ґрунті умови, які утруднюють розвиток хвороб. Крім цього, якість біогумусу обумовлена відсутністю патогенної мікрофлори [53].

Виходячи з вище вказаного, науковий інтерес складає вивчення бактеріального впливу на клітини соломи під впливом компостування і вермикомпостування.

Досліджувалися клітинні стінки склеренхіми міжвузля соломи озимої пшениці, а також його окремі тканини, зразки якої знаходились в синтетичних

сітчастих пакетах (рис.8.9), та інкубували в компості і вермикомпості протягом 10-ти, 20-ти і 30-ти днів [208].

Мікроструктуру тканин міжвузля вивчали за допомогою світлового мікроскопу «Люмаш-ИЗ», ультраструктуру клітинних стінок – на електронному мікроскопі «ПРЗМ-200».

На поперечному зрізі (рис. 8.10) видно, що міжвузля складається з 4-х основних тканин: склеренхіми, паренхіми, провідних пучків та епідермісу. Слід зазначити, що по масі клітинні стінки склеренхіми, з яких частково побудовані і провідні пучки, переважають інші разом взяті тканини. Тому від їх стану залежить хід процесу мікробіологічної деструкції.

Аналіз ультраструктури показує, що клітинні стінки склеренхіми (рис.8.11), а також епідермісу мають надзвичайно високу щільність і міцність. Крім того, вони товщі за стінки паренхіми в 2-5 разів.

В перші 10 днів компостування мікроби шляхом прилипання до клітинних стінок (рис.8.12) вступають в тісний контакт з ними. При цьому навколо цих мікроорганізмів утворюється щільна оболонка, яка, можливо, ізолює їх від впливу зовнішніх факторів, або ж від доступу повітря.

В наступні 10 днів відбувається інтенсивне розщеплення периферійних ділянок стінок. Окремі ж мікроорганізми глибоко проникають в їх товщу, утворюючи канали, які заповнюються речовиною більш темного, порівняно із стінкою, забарвлення. Така ж речовина з'являється на всіх ділянках, де ймовірно, мікроорганізми проявляють ферментативну діяльність (рис.8.13).

В період між 20-30 днями інкубації ферментативна робота мікроорганізмів призводить до більш суттєвих деструктивних змін подібних клітинних стінок. Наслідком цього є і те, що значна частина втрачає з ними безпосередній контакт (рис. 8.14).

В копролітах черв'яків виявлені частинки тканин склеренхіми з різним рівнем розщеплення клітинних стінок. Після двадцяти днів інкубації частина з них має порівняно незначні пошкодження (рис.8.15). Через 30 днів інкубації подібні структурні утворення виявляються майже повністю зруйнованими

(рис.8.16). Разом з тим, у таких структурах спостерігається різке зменшення кількості мікроорганізмів.



Рис.8.9. Пакети з соломою

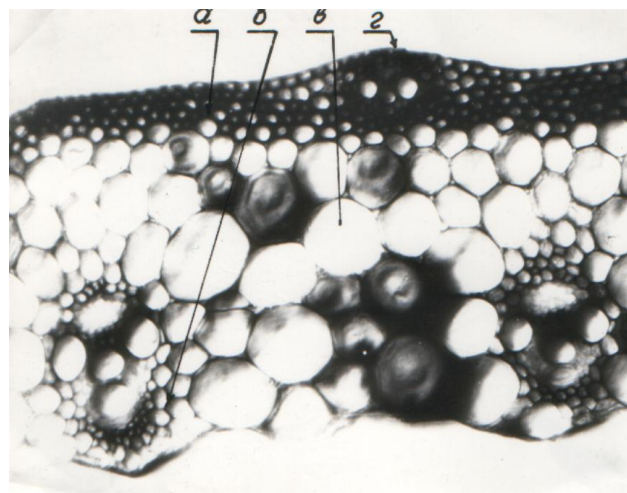


Рис.8.10. Поперечний зріз міжвузля соломи (контроль):
а - склеренхіма ; б - аренхіма ; в - провідні пучки ; г - епідерміс х 300

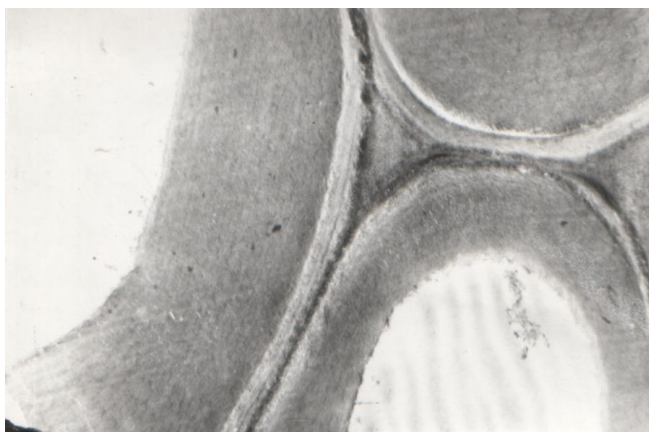


Рис. 8.11. Клітинні стінки склеренхіми (поперечний зріз) х 10000



Рис. 8.12. Ферментативна діяльність клітковино-руйнуючих мікробів х 10000

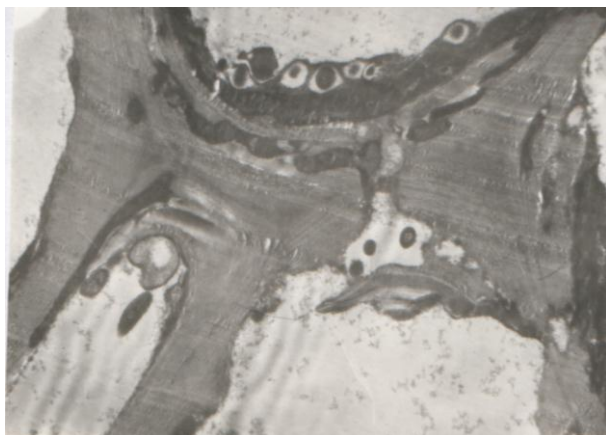


Рис. 8.13. Характерні ознаки розщеплення

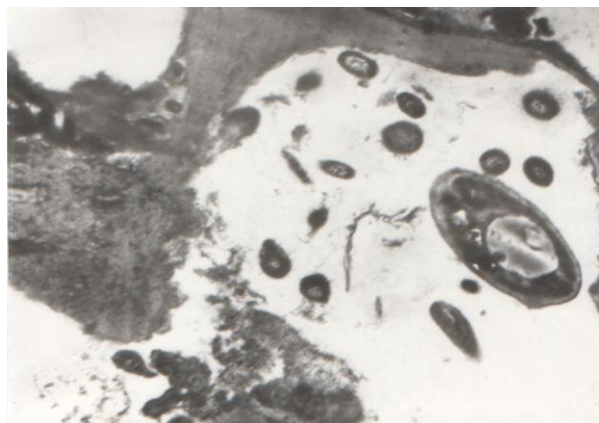


Рис. 8.14. Часткова деградація клітинної

клітинної стінки в період між 10 і 20 днями інкубації x 10000

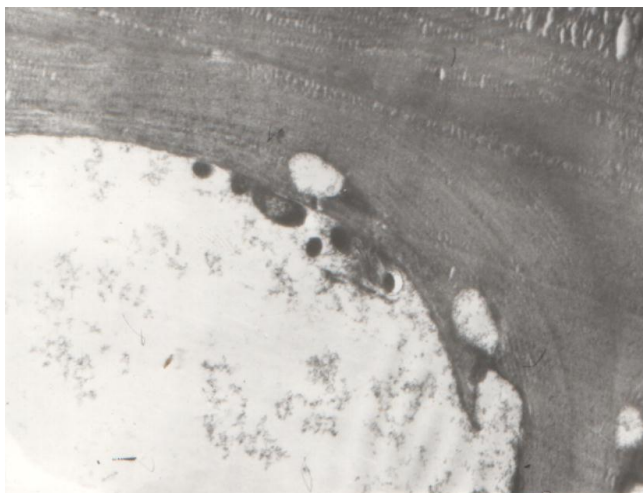


Рис. 8.15. Частково розщеплена клітинна стінка (копроліт черв'яка) x 10000

стінки в період між 20-30 днями інкубації x 10000



Рис.8.16. Сильно розщеплена клітинна стінка (копроліт черв'яка) x 10000

Таким чином встановлені характерні ознаки результату взаємодії мікробів з субстратом з великим вмістом клітковини, які разом з лігніном і деякими іншими речовинами утворюють потужний комплекс, будову якого порівнюють з залізобетоном. Ці характеристики вказують на те, що мікроорганізми за сприятливих умов здатні розщепити практично всі структурні елементи соломи. Період протікання цих процесів коливається в різних проміжках часу в залежності від наявності тих чи інших частин в зоні дії мікроорганізмів.

Руйнуючи природні фізичні властивості субстрату, мікроорганізми забезпечують можливість споживання його черв'яками. Через їх органи травлення можуть проходити частинки з різним рівнем деструктивних змін. В копролітах, наприклад, зустрічаються найгрубіші частинки соломи, клітинні стінки яких майже повністю зруйновані. Характерною ознакою такої руйнації є те, що вона може бути викликана проникненням мікробів глибоко в товщу клітинної стінки. Слід зазначити, що в цих частинках мікроорганізми зустрічаються досить рідко. Це може бути свідченням того, що значна частина їх стала джерелом живлення черв'яків.

Одним з основних факторів, які впливають на реалізацію генетичного потенціалу продуктивності сільськогосподарських тварин і птиці, є повноцінне годування, обумовлене в основному протеїновим і амінокислотним складом раціонів. Тому біомаса черв'яків є одним з ефективних джерел забезпечення тварин і птиці високоякісними білковими кормами.

Дослідження, проведені Риженком М. [193], показали, що краще використовувати біомасу черв'яків на корм птиці і рибі в живому вигляді, свиням – у вигляді пульпи, а коровам – у вигляді борошна. Для годівлі птиці найбільш раціональним способом одержання білкового корму є подрібнення дощових черв'яків і змішування біомаси з наповнювачем [69, 70, 193]. Як наповнювач можна використовувати розсипний комбікорм дрібного помелу.

На основі проведених досліджень колективом науковців на чолі з Дубінською А. [69, 70] було розроблено рекомендації по використанню для годівлі птиці кормових добавок на основі вермикультури. Використання цих кормів на птахофабриці „Ставропольська” дозволило підвищити живу масу птиці на 40% порівняно з контролем і збільшити збереженість птиці на 10%, що пояснюється не тільки покращенням протеїнової частини раціону, але й збільшенням активності травних ферментів.

В роботі Риженка М. [193] відмічається, що з 1 т субстрату можна одержати 100 кг біомаси черв'яків, 60-70% якої складає білкова речовина. Використання біомаси черв'яків для годівлі птиці дало змогу одержати приріст маси бройлерів на 32% і зменшити витрати кормів на 12%.

Таблиця 8.1 – Вплив біогумусу на врожайність сільськогосподарських культур при його поверхневому внесенні [278]

№ п/п	Сільськогосподарські культури	Норма внесення біогумусу	Приріст врожайності
1	Озима пшениця	3...5 т/га	4.7...13.9 ц/га
2	Помідори	2...10 т/га	15.0...23.5%
3	Капуста	2...10 т/га	18,0...38,0 %
4	Столовий буряк	6 т/га	59,9%
5	Морква	3 т/га	43,3%
6	Перець	6 т/га	86,0%
7	Огірки	1...15 кг/ м ²	2 .4...47.7%
8	Льон: насіння солома	3...5 т/га	2,0...2,3 ц/га 5,0...8,1 ц/га

	волокно		2,2...2,5 ц/га
9	Кукурудза (зерно)	2...10 т/га	20,0...67,4 %
10	Соняшник	2...10 т/га	50.0...108.0%
11	Картопля	6 т/га	40,0...70,0%
12	Гречка	2 т/га	50,0%:
13	Кукурудза (зелена маса)	6 т/га	110,8 ц/га
14	Цукровий буряк	5...6 т/га	20,0%

Автори Холодова Ю. та ін. [253, 254] запропонували безвідходну технологію утилізації біомаси дощових черв'яків, як джерела біологічно активних речовин з одержанням трьох препаратів – протеїну, ліпідного та концентрату амінокислот і ліпідів. Протеїновий комплекс (вихід 56%) включає набір амінокислот, необхідних для збільшення приросту маси тварин шляхом підвищення засвоюваності і біологічної цінності кормів. Ліпідний комплекс (10% виходу) рекомендується як активна добавка в косметичні препарати і продукти побутової хімії (0,1-0,5%-ний розчин). Концентрат амінокислот і ліпідів (10% виходу) – це водорозчинні речовини, які використовуються для лікування патології очей. Концентрат прискорює епірілізацію тканин, ліквідовує запальний процес.

Традиційно біомаса черв'яків використовується в ряді країн як харчовий продукт. В Державному технологічному університеті (м. Перм, Російська Федерація) розроблена і реалізована технологія отримання екологічно чистого білка з біомаси дощових черв'яків, який призначений для використання в якості харчової добавки. Результати досліджень дозволяють також зробити висновок про можливість і доцільність використання спеціально переробленої біомаси черв'яків як добавки в дитячому лікувальному харчуванні.

Розроблено вимоги до біомаси дощових черв'яків як потенційного джерела білкововмісних елементів харчування, а саме:

- протеази біомаси вермикультури повинні мати біостимулюючі властивості, які покращують засвоюваність інших елементів харчування, активізують розвиток мускульної тканини, підвищують активність фізіологічних і біохімічних процесів;

- білкововмісна біомаса вермикультури повинна бути інертна за реактогенністю, алергенним, імунним, генетичним, мутагенним і загальнотоксичним геріатичним статусом;

– джерелом поживних субстратів для відтворення вермикультури з метою отримання екологічно чистого білка повинна бути екологічно чиста технологія на основі природних речовин (рослинних залишків, продуктів підготовки і переробки харчових продуктів і т.д.), здатних до швидкої трансформації.

В літературі існує достатньо велика кількість повідомлень про отримання з біомаси дощових черв'яків препаратів, в тому числі і лікувальних. Це роботи колективу авторів Івано-Франківської медичної академії під керівництвом Бабенка Г. [14, 183], товариств «Венол-мед» і «Біном» [9, 10, 154, 177], а також інших наукових закладів України, Росії, Угорщини, Чехії, Польщі [73, 74, 83, 84].

Завдяки дослідженням, проведеним цими науковими закладами, одержані біологічно активні медичні препарати, які позитивно зарекомендували себе при лікуванні ракових пухлин, шкіряних захворювань, захворювань очей та ін. Дослідження НВО „Біомед” показали, що біомаса дощових черв'яків може використовуватись як білкововмісний субстрат замість харчових продуктів (м'яса, печінки) з метою розробки бактеріологічних поживних середовищ для виготовлення медпрепаратів [253, 254].

В Інституті біології НАНУ також проводились дослідження по використанню біомаси черв'яків для виробництва фармакологічних препаратів. Встановлено, що наявність ліпідів складає в середньому 2,5 – 5,1% від вологої біомаси черв'яків [253, 254]. Склад компонентів ліпідів в тканинах черв'яків дає підставу використовувати їх для виготовлення фармакологічних препаратів.

Відомий і багатовіковий досвід використання дощових черв'яків в народній медицині різних країн [53].

Виготовлення білкових кормових добавок, лікарських і фармакологічних препаратів з використанням дощових черв'яків в основному залежить від наявності високоякісної біомаси черв'яків. Тому відділення біомаси черв'яків від компосту - необхідна операція в технології вермикомпостування [214].

В процесі наукових досліджень встановлено, що при нормальному розвитку вермикультури ступінь вмісту черв'яків у вермикомпості не

перевищує 10%. Відділення черв'яків методом переходу їх з вермикомпосту в субстрат дає можливість збільшити вміст черв'яків у субстраті до 20-30% від маси субстрату.

На даний час одержання високоякісної біомаси дощових черв'яків є трудомістким технологічним процесом. Тому вивчення механізованих процесів відділення черв'яків від вермикомпосту є актуальним.

8.3. Аналіз і класифікація технологічних рішень і обладнання для переробки вермикомпосту в товарний біогумус

В залежності від призначення вермикомпостування визначають технологічний регламент переробки вермикомпосту (рис. 8.17) [53, 141, 75, 236, 195]. Тому переробку вермикомпосту класифікують за призначенням, технологічним процесом, методами переробки вермикомпосту і технічними засобами (рис. 8.18).

Попередня переробка вермикомпосту складається з технологічних операцій: подрібнення і відділення твердих включень і грудок.

Однією з основних і трудомістких операцій переробки вермикомпосту є відділення черв'яків від компосту. Аналізуючи існуючі способи відділення черв'яків від компосту, їх можна класифікувати таким чином: відділення вручну, механічне відділення, відділення під впливом зовнішніх чинників та комбіноване відділення.

Сушіння біогумусу-сирцю застосовується для зниження вологості продукту до 40-50% і виконується в умовах навколишнього середовища або в сушарках.

Подрібнення біогумусу-сирцю проводять з метою руйнування грудок. В західних країнах біогумус після сушіння і подрібнення розділяється за величиною гранул на три фракції: найдрібніша - гранули розміром 0,1-0,3 мм, дрібна – 0,3-0,7 мм і крупна – 0,7-1,0 мм. В Україні та в інших країнах сходу біогумус також розділяють на три фракції: найдрібніша – гранули розміром до 1 мм, дрібна – до 2 мм і крупна – до 3 мм [53].

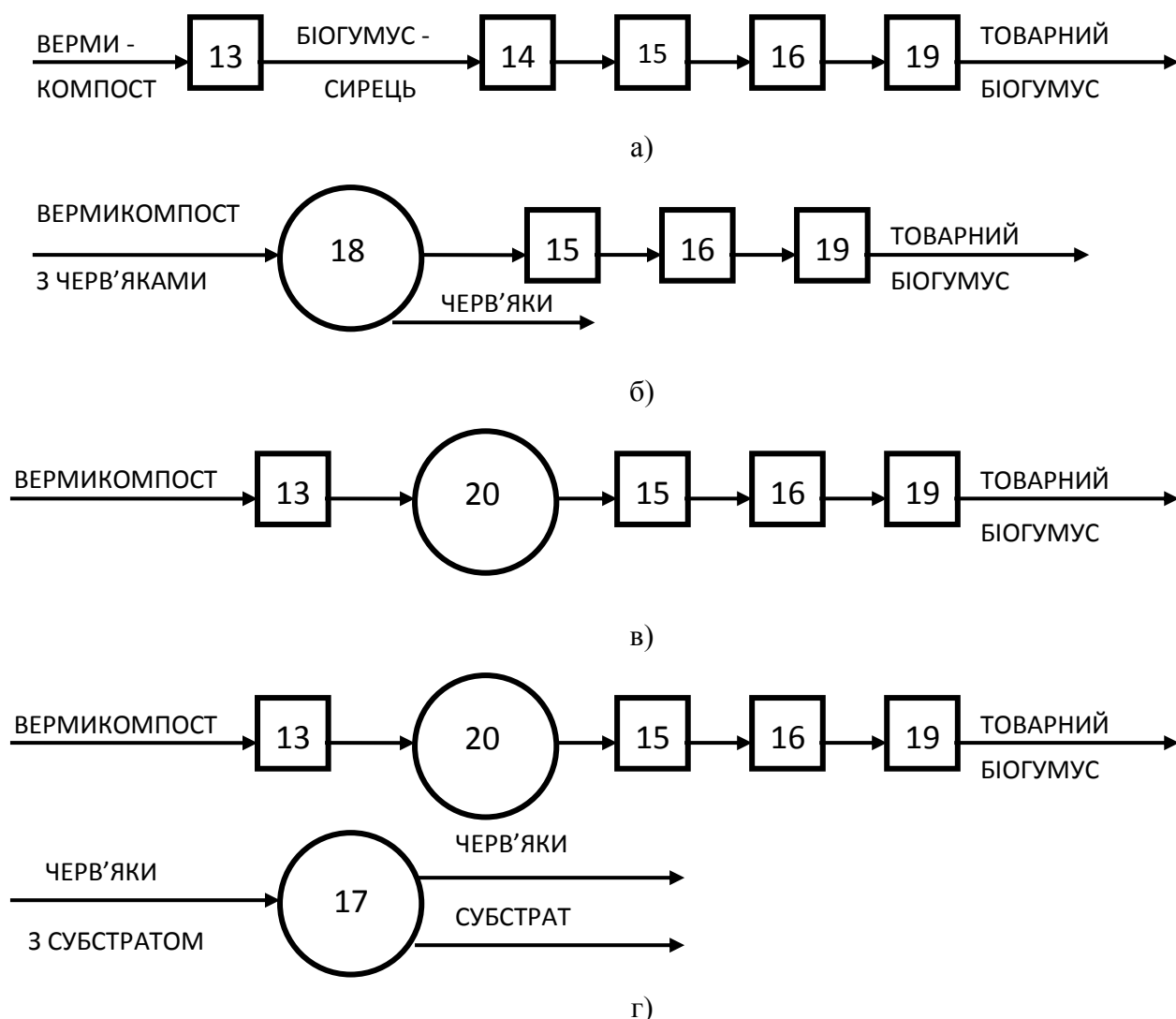


Рис. 8.17. Схеми технологічного процесу переробки вермикомпосту:

□ – механічний; ○ – термодинамічний процес;

13 – попередня переробка; 14 – сушіння біогумусу; 15 – подрібнення біогумусу; 16 – фракціонування біогумусу; 17 – відділення черв'яків від субстрату; 18 – відділення черв'яків від компосту і сушіння біогумусу; 19 – перевезення біогумусу в склад; 20 – сушіння біогумусу в природних умовах.

На основі проведеного аналізу можна відмітити, що для механізованого виконання технологічних операцій переробки вермикомпосту використовуються спеціальні пристрої. Попередню переробку вермикомпосту проводять, використовуючи пруткові сепаратори, віброгрохоти і барабанні трієри.

Для сушіння біогумусу використовують лоткові і барабанні сушарки та сушарки з активним вентиляванням [240]. Подрібнюють біогумус в основному дробарками, іноді фрезерними подрібнювачами або ротаційними знаряддями.

Для розділення біогумусу на фракції використовують решітні стани, барабанні сепаратори та віброгрохоти.

Для відділення черв'яків від вермикомпосту використовують вібраційні грохоти, воронкоподібні сита або спеціальні пристрої у вигляді циліндра з спеціальними щітками на внутрішній поверхні. При обертанні циліндра черв'яки вичісуються щітками з вермикомпосту. Відділяють черв'яки і на спеціальній машині, основним робочим органом якої є циліндричне колесо, яке обертається з великою швидкістю і встановлене з нахилом до поверхні майданчика. Вермикомпост із черв'яками засипають у верхню частину циліндра. При обертанні він проходить через отвори, а черв'яки залишаються всередині циліндра і сповзають в дерев'яний або пластмасовий контейнер [53]. Недоліком цих методів відділення черв'яків є значне їх пошкодження і забруднення.

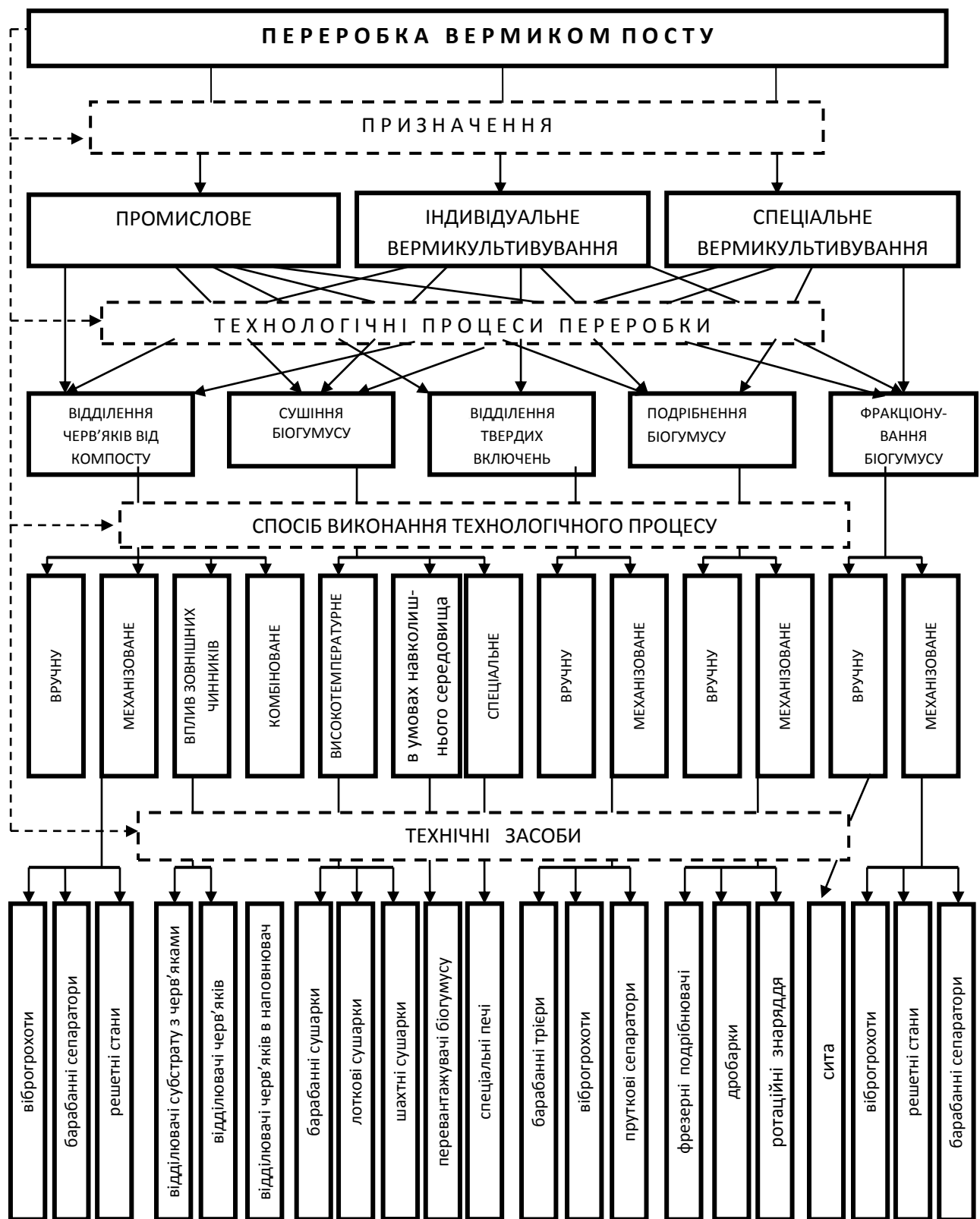


Рис.8.18. Класифікаційна схема переробки вермикомпосту.

Для відділення черв'яків від вермикомпосту використовують також способи зовнішнього впливу на черв'яків. Жигунов В.М., Крюков А.Ф. [270, 271] запропонували пристрої (а.с. № 685251, а.с. № 888892), які складаються з

замкнутого контура пластин, між якими є порожнина 2 (рис. 8.19). Над конвейєром встановлено джерело світла 3, ворушилка 4 і вентилятор 5 для подачі холодного повітря. Під його верхньою віткою розміщено нахилений піддон 6 з бункером 7. Пристрій обладнано прямою 8 для верхньої вітки конвейєра, яка має пази 9. Пластини закріплені до ланцюгів 13, які обхвачують ведучу і ведену зірочки 14, 15. Під час роботи пристрою на конвейєр 1 завантажують вермикомпост, або субстрат з черв'яками. Під час руху конвейєра суміш перемішується ворушилкою 4. Джерело світла 3 примушує черв'яків переповзати порожнину 2 між пластинами конвейєра.

При співпаданні частини пластини конвейєра 10 з пазами 9 прямої 8 і під дією пружин 12, пластини разом з черв'яками перекидаються, забезпечуючи примусове вивантаження на нахилений піддон і збір черв'яків в бункері 7. Подальший рух пластин і взаємодія їх з пазами 9 приводить до того, що вони приймають горизонтальне положення. Біогумус-сирець після відділення черв'яків висипають з конвейєра 1.

Недоліком такого способу є використання холодного повітря, тому що в теплий період року охолодження повітря призводить до значних енергетичних витрат, а дія на черв'яків холодного повітря уповільнює їх рухливість, що знижує ефективність відділення. Використання ворушилки теж негативно впливає на орієнтування черв'яків для переповзання в інше середовище.

При відділенні дощових черв'яків від вермикомпосту способом, запропонованим Чічиним А.А. (а.с. № 398235) [272], також використовується світло як подразник зовнішнього впливу. Експериментальною перевіркою такого способу встановлено, що частина черв'яків ховається у вермикомпост, і дія світла стає неефективною.

Спосіб відділення дощових черв'яків від вермикомпосту, запропонований Моревим Ю.В. (а.с. № 1500225) [234], полягає в тому, що компост з черв'яками, який знаходиться на сітці, піддають впливу інтенсивного нагріву і опромінення світлом. Збір черв'яків проводять в розміщений під сіткою приймальник, який

заповнений до рівня сітки штучним наповнювачем у вигляді пінопластових шматків. Після цього пінопласт відділяють від черв'яків.

Недоліком такого способу є одночасний вплив світлом і теплом. Спостереження за реагуванням черв'яків при використанні такого способу показали, що черв'яки, які знаходяться на поверхні вермикомпосту, більш здатні реагувати на світловий потік, а не на тепловий. Підвищена температура негативно впливає на них, вони дезорієнтуються в просторі і гинуть. В той же час зниження температури негативно впливає на нагрівання вермикомпосту, що знижує продуктивність процесу.

Відповідно до пат. № 2005361 Сташевського І.І. [168], вермикомпост розміщують в спеціальні ємкості і повільно заповнюють водою. Повільне заповнення водою змушує черв'яків виповзати на поверхню компосту. Відділення черв'яків таким способом неефективне, через те що черв'яки значний період часу можуть знаходитись в рідкому середовищі.

В пат. № 2005362 Сташевського І.І. [169] для відділення черв'яків від компосту використовують ультразвук. Цей спосіб складний для виконання, а також має низьку ефективність відділення.

Спосіб відділення черв'яків від вермикомпосту, запропонований Мельником В.П. (а.с. № 1729351) [235], характерний тим, що використовують пакет перфорованих пластин, перфорації яких співпадають і утворюють наскрізні канали. Вирощені черв'яки і корм розміщують по різні боки пакета пластин. Черв'яки, рухаючись до корму, переходять в пакет. Видаляють черв'яків методом розділення пакета на пластини. Цей спосіб можна використовувати для отримання незначної біомаси черв'яків в лабораторних умовах. В інших випадках використання цього способу недоцільне через неконтрольованість процесу переповзання черв'яків в перфорований пакет.



1 – конвейер; 2 – порожнина; 3 – джерело світла; 4 – ворушилка; 5 – вентилятор; 6 – нахилений піддон; 7 – бункер; 8 – напрямна; 9 – паз; 10 – пластини; 11 – напрямна; 12 – пружина; 13 – ланцюг; 14 – ведуча зірочка; 15 – ведена зірочка.

224



Рис. 8.20. Вигляд субстрату з черв'яками.

Для механізації цього процесу в УкрНДПВТ розроблено мобільний технічний засіб [238], робочими органами якого є два рухомі леміші, які підрізають субстрат з черв'яками і подають на транспортер. З транспортера субстрат потрапляє в транспортний засіб, який рухається поряд. Цей технічний засіб дозволяє відділяти черв'яки від вермикомпосту, але одержувати очищену їх біомасу таким способом неможливо, бо черв'яки будуть знаходитись в субстраті.

Результати аналізу свідчать про необхідність вдосконалення процесів механізованої переробки вермикомпосту.

8.4. Дослідження показників товарного біогумусу

Визначення фракційного складу біогумусу та вміст азоту, фосфору, калію, гуму-су, копролітів, клітковини та реакції середовища кожної фракції

В процесі проведення експериментальних досліджень одержаний біогумус, за допомогою лабораторних сит, був фракціонований на 7 фракцій: – менше 0,1; 0,1-0,3; 0,3-0,7; 0,7-1,0; 1,0-2,0; 2,0-3,0; та більше 3,0. Виміри проводились в трикратній повторності, що забезпечує похибку $\pm 3\sigma$ при довірчій імовірності $\alpha = 0,95$ [122]. Кожна фракція підлягала дослідженням на вміст азоту, фосфору, калію, гумусу, копролітів, клітковини та реакції середовища у відповідності з методикою М 46.16.20.01 – 94 [124].

Результати експериментальних досліджень показали, що в структурі біогумусу вагову частку складають фракції з величиною гранул 1-2; 2-3 мм та більше 3 мм. Аналіз фізико-хімічних досліджень цих фракцій свідчить про те, що вологість і реакція середовища в різних фракціях біогумусу знаходиться на одному рівні (вологість 38 %, рН 6,8). Змінюються значення вмісту азоту, фосфору, калію, копролітів, гумусу та клітковини. Аналізи проводились в лабораторії фізико-хімічних досліджень УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. Результати досліджень свідчать, що найбільшу поживну цінність має біогумус фракцій 1-2 і 2-3 мм. На підставі досліджень (враховуючи те, що в технології використовується подрібнення біогумусу), встановлено, що вихідними даними для розрахунків і проектування обладнання для фракціонування біогумусу є товарний біогумус розміром гранул до 1 мм, до 2 мм та до 3 мм.

Визначення фізико-механічних показників біогумусу, вермикомпосту, субстрату.

Визначення об'ємної маси. Об'ємну масу визначали для субстрату вологістю 75-80 %, вермикомпосту вологістю 70-75% та товарного біогумусу в залежності від фракційного складу (0-1 мм, 0-2 мм, 0-3 мм, 1-2 мм, 2-3 мм) та його вологості. В бюкси встановленого об'єму засипали біогумус. Після чого визначили масу матеріалу, а також його вологість. Об'ємну масу визначали за формулою (8.1):

$$\rho_v = \frac{M_v}{V_d}, \quad (8.1)$$

де ρ_v – об'ємна маса, г/см³, кг/м³; M_v – маса біогумусу в бюксі, г, кг; V_d – об'єм біогумусу в бюксі, см³, м³.

Після цього біогумус підсушували. Для побудови графічних залежностей об'ємну масу визначали при п'яти значеннях вологості біогумусу. Визначення об'ємної маси проводили в п'яти повтореннях. Вологість біогумусу визначалася у відповідності з методикою М 46.16.20.01-94 [124].

Визначення кутів обвалення і схилу біогумусу, вермикомпосту, субстрату проводили у відповідності з методикою [24] з використанням приладу, схема

якого подана на рис. 8.21. Кут обвалення характеризує взаємні зчеплення часток матеріалу, а кут схилу – їх взаємну рухомість. Для ідеальних матеріалів, які складаються з абсолютно однакових кулькоподібних часток, ці кути рівні.

Перед проведенням досліджень заслінки 3 щільно закривали. В верхню камеру приладу засипали матеріал масою 4-5 кг. Після цього повільно розсовували заслінки в сторони до того часу, поки через щілину не починалось сипання матеріалу.

По закінченні процесу за допомогою транспортира визначали значення кутів обвалення і схилу. Досліди проводили в 5 – кратній повторності.

Визначення коефіцієнтів тертя. Коефіцієнти тертя і внутрішнього тертя визначали для вермикомпосту, субстрату, а також товарного біогумусу з розміром фракцій 0-1 мм, 0-2 мм, 0-3 мм, 1-2 мм, 2-3 мм.

Для визначення коефіцієнтів тертя на напрямні приладу (рис 8.22) клали смугу матеріалу 3 (метал, дерево, пластмаса і т.д.). На неї ставили коробку без дна 4 і за допомогою динамометра 9 визначали зусилля, необхідне для пересування порожньої коробки. Після цього в коробку насипали 0,5 кг досліджуваного матеріалу 7.

На матеріал клали пластину 6, а на неї - вантаж 5. За допомогою динамометра визначали зусилля, необхідне для пересування коробки з вантажем. При одній і тій же масі вантажу і досліджуваного матеріалу дослід проводили в п'ятикратній повторності. Потім досліджуваний матеріал висипали, а в коробку засипали матеріал з іншою вологістю або фракційним складом.

Для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя з напрямних зняли смугу 3 і в ящик 1 додали досліджувальний матеріал. Дослідження проводили в такому ж порядку, що й при визначенні коефіцієнтів тертя з заданим матеріалом.

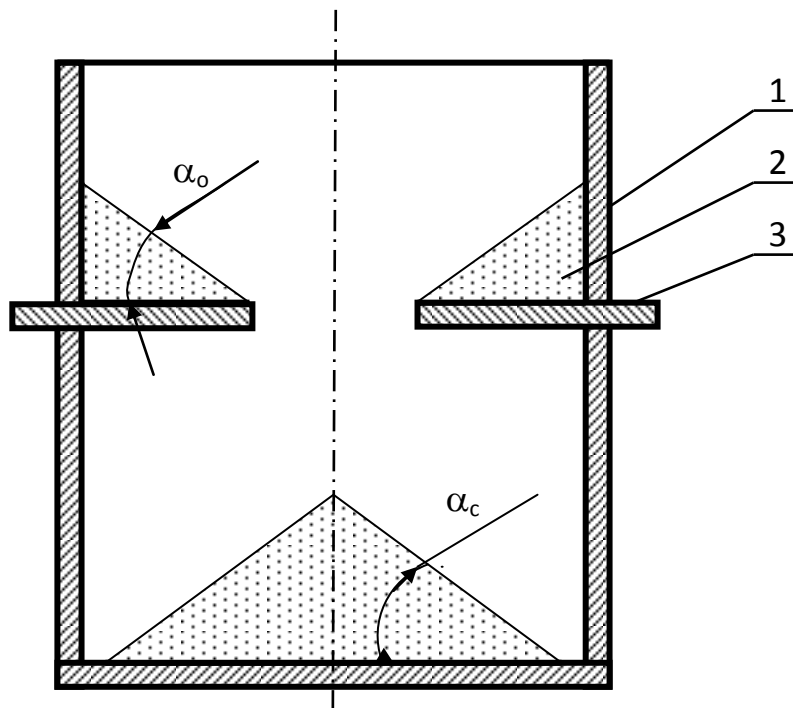


Рис 8.21. Схема пристрою для визначення кутів схилу і обвалення сипучих матеріалів.

1 – ящик; 2 – матеріал, що досліджується; 3 – заслінка

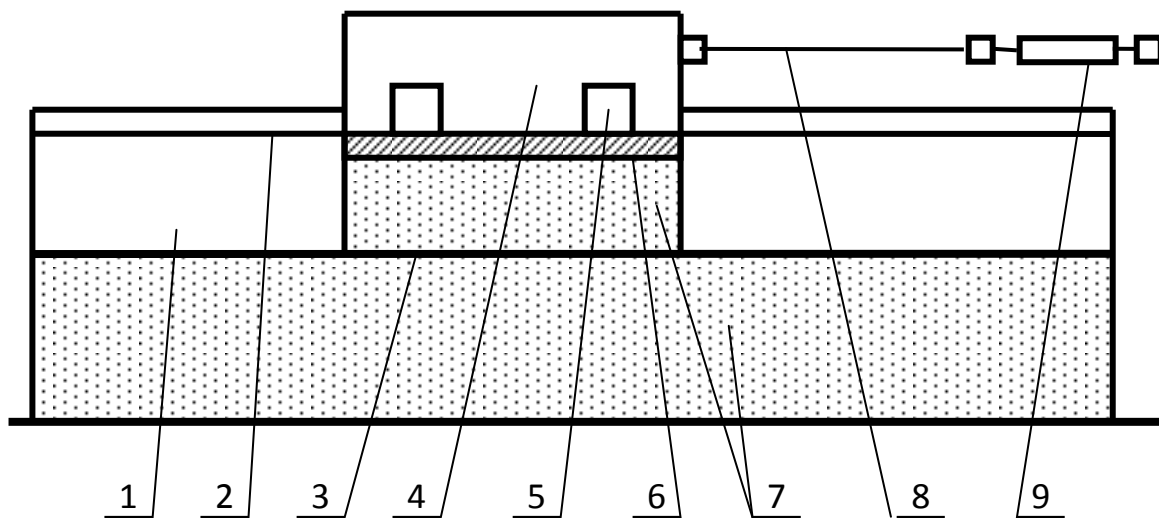


Рис. 8.22. Схема приладу для визначення коефіцієнта тертя сипучих матеріалів:

1 – ящик; 2 – напрямна; 3 – пластина; 4 – коробка; 5 – вантаж; 6 – плита; 7 – матеріал, що досліджується; 8 – трос; 9 – динамометр.

Числові значення коефіцієнтів тертя визначали за формулою (8.2):

$$f = \frac{\tau_m}{\delta_m}, \quad (8.2)$$

де τ_m – дотичне напруження, яке діє в площині зсуву, Па; δ_m – нормальне напруження в площині зсуву, Па.

Тут τ_m і δ_m визначається за формулами (3.7), (3.8):

$$\tau = \frac{P_{m1} - P_{m2}}{S_k}, \quad (8.3)$$

$$\delta_m = \frac{9,81(M_1 + M_2 + M_3)}{S_k}, \quad (8.4)$$

де P_{m1}, P_{m2} – сили, необхідні для зрушення коробки з матеріалом і вантажем та коробки без матеріалу і вантажу, Н; S_k – площа поперечного перерізу коробки, м²; M_1, M_2, M_3 – маса матеріалу, пластини і вантажу відповідно, кг.

За кінцеві результати прийнято середнє арифметичне за результатами п'яти дослідів.

За середніми значеннями показників, отриманих в результаті експериментальних досліджень побудовано графічні залежності об'ємної маси, кутів обвалення і схилу та коефіцієнтів тертя біогумусу від його вологості і фракційного складу (рис. 8.23-8.30).

На основі результатів експериментальних досліджень, визначено фізико-механічні показники біогумусу, субстрату та вермикомпосту які наведені в табл. 8.2. Значення показників фізико-механічних характеристик біогумусу (табл. 8.2) прийняті при вологості 45% (нормативна вологість біогумусу знаходиться в межах 30-50%). Значення цих показників для субстрату і вермикомпосту прийняті при вологості матеріалу 70%, оскільки механізоване вибирання вермикомпосту і закладання субстрату потрібно проводити при мінімально допустимій вологості для зменшення налипання матеріалу на робочі органи технічного засобу (оптимальна вологість вермикомпосту 70-75%, субстрату 70-80%).

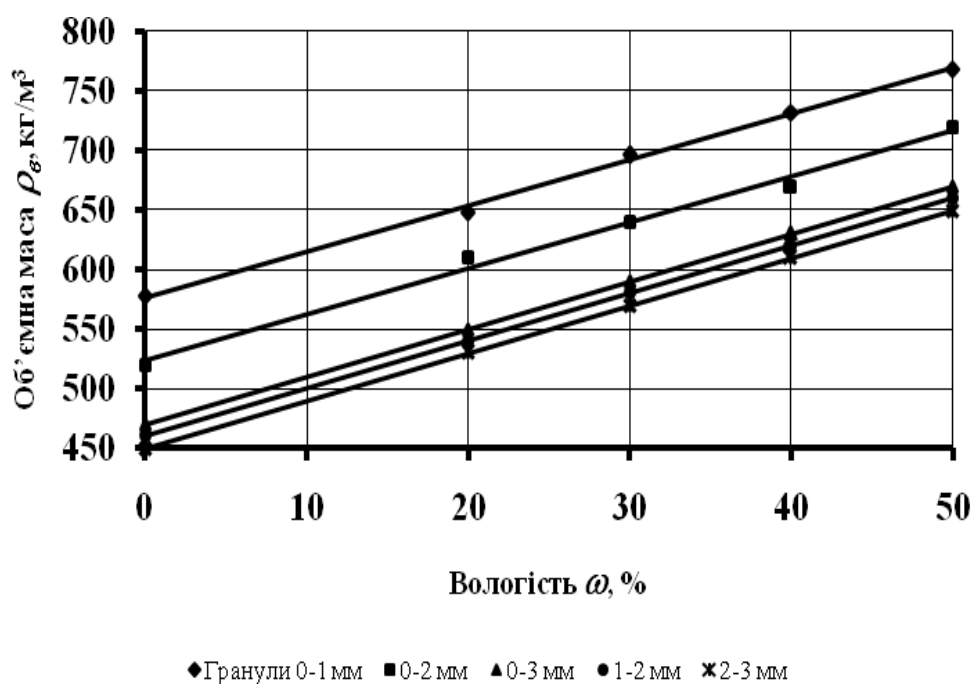


Рис. 8.23. Залежність величини об'ємної маси від вологості і фракційного складу біогумусу.

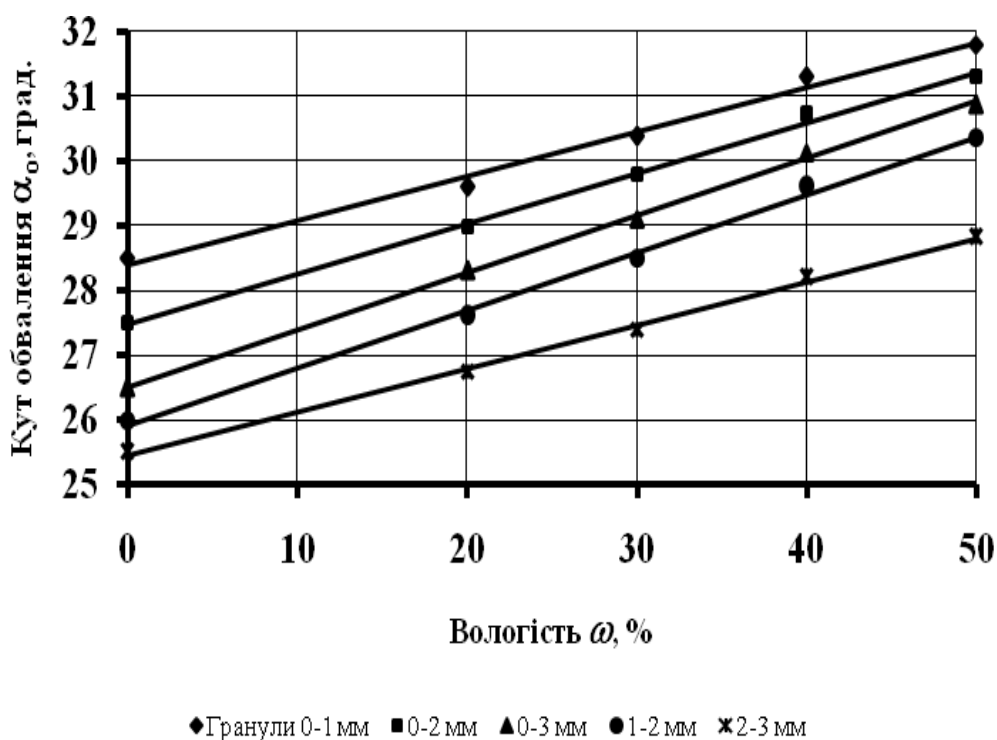


Рис. 8.24. Залежність величини кута обвалення біогумусу від вологості і фракційного складу.

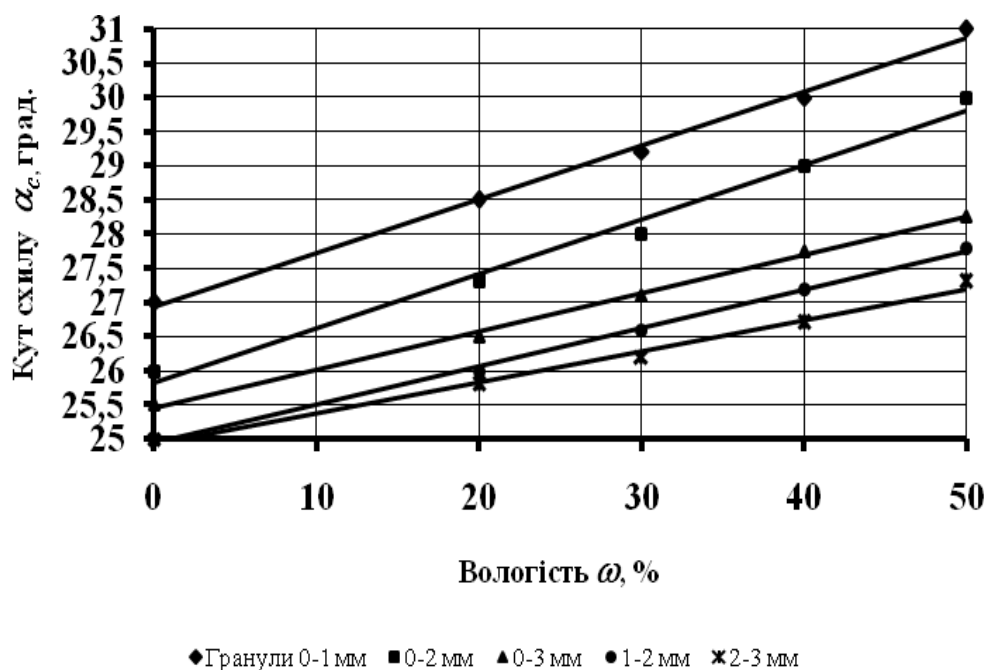


Рис. 8.25. Залежність кута схилю біогумусу від вологості і фракційного складу.

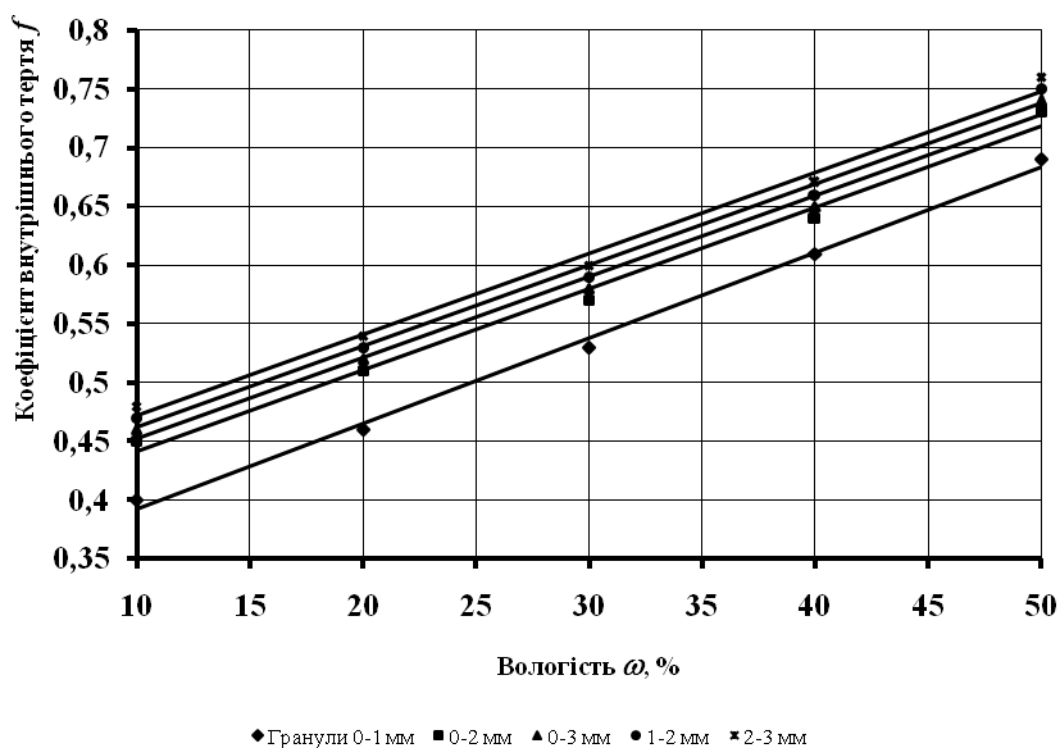


Рис. 8.26. Залежність коефіцієнта внутрішнього тертя біогумусу від його вологості і фракційного складу.

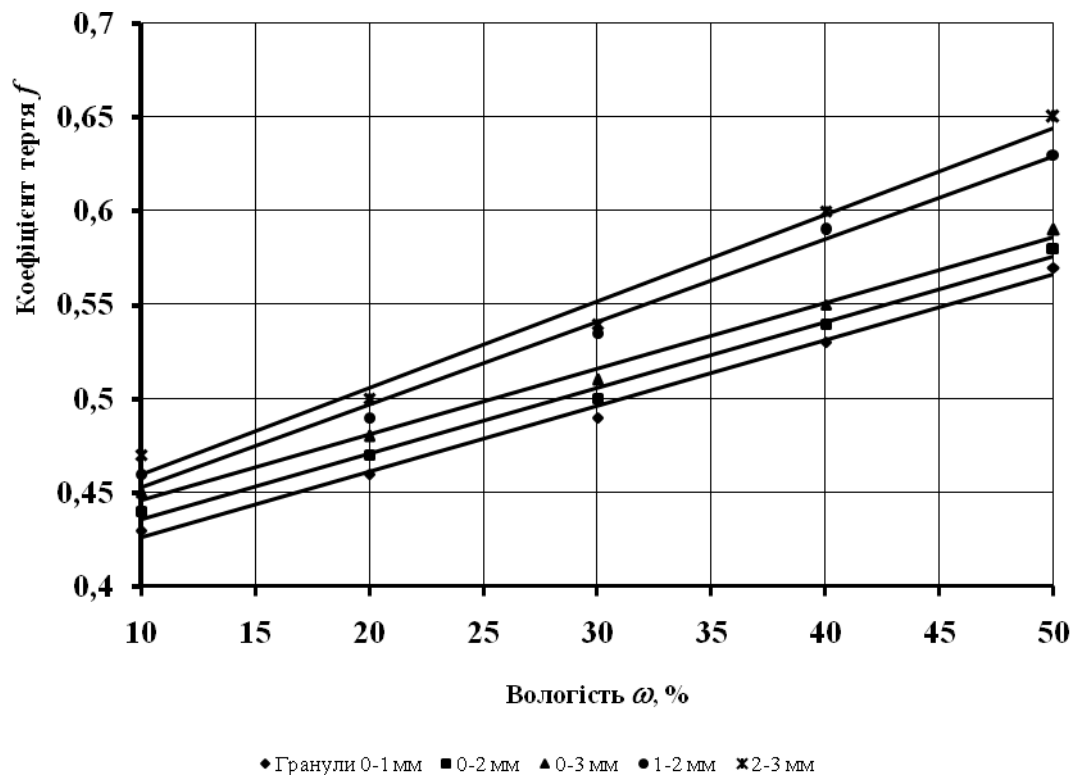


Рис. 8.27. Залежність коефіцієнта тертя біогумусу по металу від його вологості і фракційного складу.

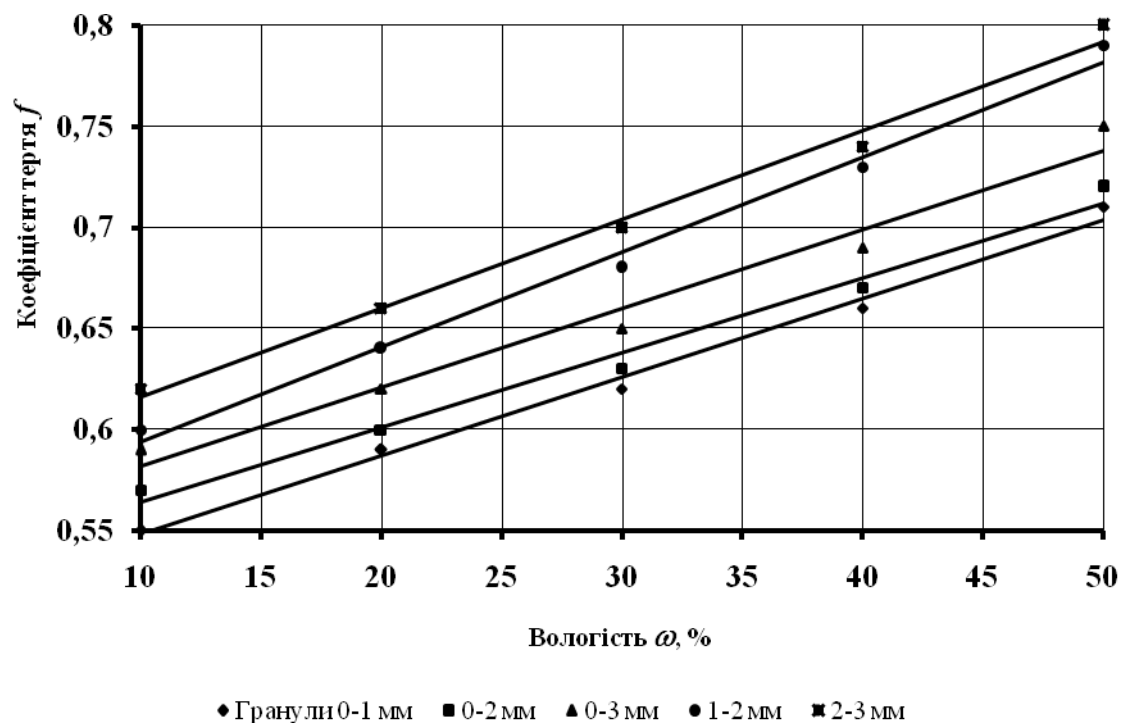


Рис. 8.28. Залежність величини коефіцієнта тертя біогумусу по деревині від його вологості і фракційного складу.

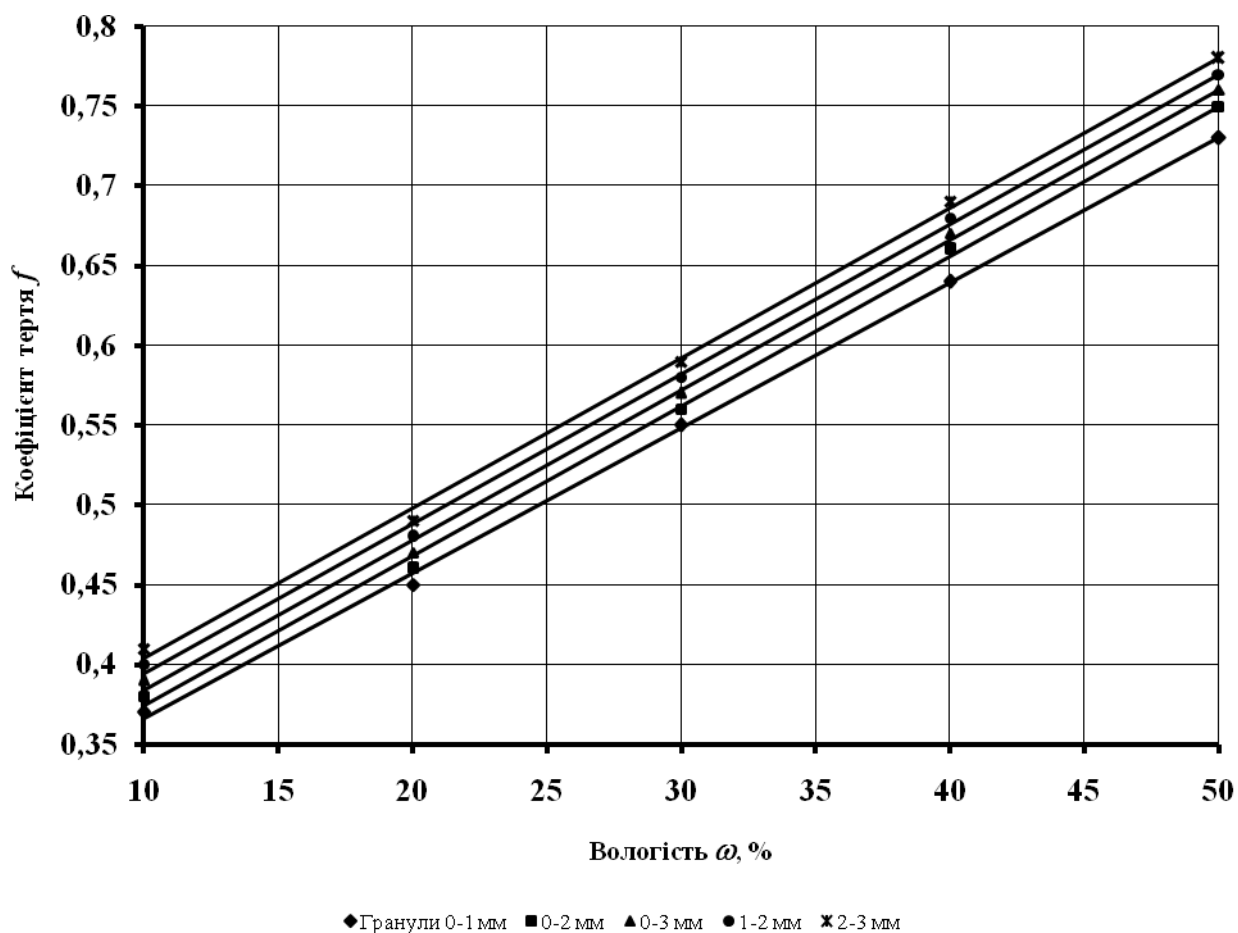


Рис.8.29. Залежність коефіцієнта тертя біогумусу по пластмасі від його вологості і фракційного складу.

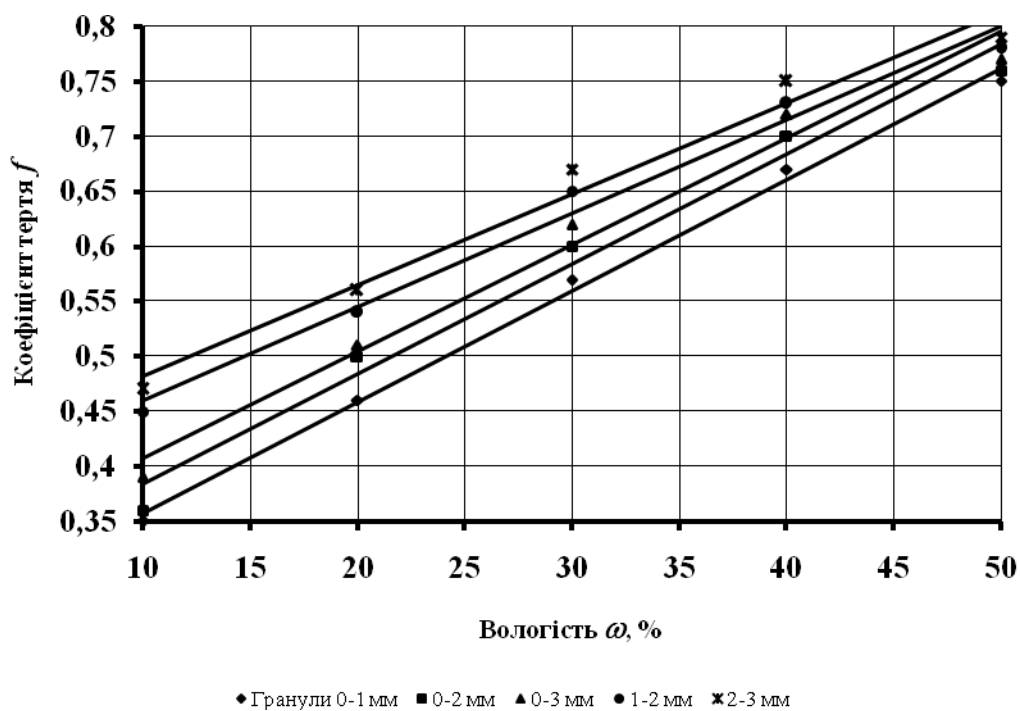


Рис. 8.30. Залежність коефіцієнта тертя біогумусу по склу від його вологості і фракційного складу.

Таблиця 8.2 – Фізико-механічні показники біогумусу, субстрату, вермикомпосту

Показники	Біогумус						Вер- ми- ком- пост	Суб- страт
	Середнє значен- ня	Фракції, мм						
		0-1	0-2	0-3	1-2	2-3		
1. Вологість, %	40-50	40-50	40-50	40-50	40-50	40-50	70-75	70-80
2. Об'ємна маса, кг/м ³	678	750	700	650	640	630	670	550
3. Кут обвалення, град.	30,0	31,5	31,0	30,5	30,0	28,5	90,0	90,0
4. Кут схилю, град.	28,5	30,5	29,5	28,0	27,5	27,0	60,0	0,65
5. Коефіцієнт тертя:								
внутрішнього	0,68	0,65	0,68	0,69	0,69	0,69	0,71	0,63
по металу	0,59	0,55	0,56	0,57	0,63	0,63	0,70	0,68
по деревині	0,72	0,68	0,69	0,72	0,76	0,77	0,95	0,87
по пластмасі	0,71	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,79	0,90
по склу	0,74	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,90	0,76

8.5. Фізико-хімічний аналіз процесу перетворення субстрату в біогумус

В процесі проведення експериментів по вивченню процесів зміни якісних фізико -хімічних показників при перетворенні субстрату в біогумус дощовими черв'яками , було досліджено динаміку зміни фізико-хімічних показників, а саме: вологості; реакції середовища (pH); вмісту загального азоту, фосфору, калію, вмісту гумусу, копролітів черв'яків, клітковини. Дослідження проводились в чотирьох варіантах:

- 1 – контроль (субстрат без дощових черв'яків);
- 2 – 20 г дощових черв'яків на 1 кг субстрату;
- 3 – 40 г дощових черв'яків на 1 кг субстрату;
- 4 – 60 г дощових черв'яків на 1 кг субстрату при температурі

навколишнього середовища 19-25 °С.

Зразки відбирались через 10 діб на протязі 60 діб. Аналізи на визначення вмісту вищеперерахованих показників проводились в чотирьох повторностях.

Суттєвого впливу на вміст азоту, фосфору і калію при перетворенні субстрату у вермикомпост не встановлено.

Реакція середовища знижувалась від лужної до слабо лужної. Суттєво змінювався вміст копролітів і клітковини в компості. Вміст копролітів збільшувався в міру збільшення терміну вермикомпостування. Розклад клітковими проходив закономірно по всіх варіантах – збільшення вмісту черв'яків забезпечувало прискорення розпаду клітковини.

Вміст гумусу залишався майже незмінним.

За результатами досліджень можна зробити висновок, що вони в основному показують загальну закономірність зміни вищенаведених показників при перетворенні субстрату в вермикомпост. Величина зміни хімічних показників незначна, а отже не може бути причиною отримання ефекту від використання вермикомпосту (біогумусу).

РОЗДІЛ 9. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО - ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГУМУСУ

9.1. Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень з обґрунтування основних параметрів технічних засобів для переробки вермикомпосту в товарний біогумус

Аналіз наукових розробок показав, що ведуться пошуки і дослідження з широкого кола проблем і інтересів, пов'язаних з вермикультивуванням. Ці роботи можна класифікувати за такими напрямками:

- утилізація відходів вермикомпостуванням [53, 79, 179, 236, 247, 297]
- шляхи біологізації землеробства і одержання екологічно чистої, біологічно повноцінної продукції [19, 28, 54, 82, 130, 142, 143, 184, 193, 225, 267, 268, 275, 278];
- екологічні аспекти вермикультивування [18, 28, 53, 75, 142, 262, 278];
- одержання біологічно активних препаратів з біомаси черв'яків [253, 254];
- можливі шляхи реанімації земель, які потерпіли від шкідливого антропогенного впливу [28, 53, 75, 142, 263, 288];
- розробка добрив нового покоління на основі біогумусу [60, 83, 92, 94, 192, 193, 207, 211, 212, 215, 229, 282, 285, 290, 293, 304, 310];
- розробка технології промислового виробництва білкового продукту з вермикультури і оцінка його ефективності [69, 70, 192, 193, 213, 253, 254, 258];
- створення маточних популяцій черв'яків і шляхи їх адаптації до різних органічних субстратів [68, 141, 154, 224, 252, 284, 295, 200, 305, 57];
- розробка стандартів на продукцію вермикомпостування [243];
- проектування дослідно-промислових вермигосподарств і розробка обладнання для вермикомпостування [152, 188, 189, 195, 196, 197, 198, 199, 209, 210, 238, 273, 299];

– можливості і шляхи використання вермикультури в медицині, фармакології, а також в харчовій промисловості [13, 14, 183, 228].

Теоретичні розробки з обгунтування конструкційно-технологічних параметрів ряду технічних засобів, а саме: віброгрохотів, пруткових елеваторів, сушильного обладнання, обладнання для подрібнення грудок, обладнання для фракціонування сипучих матеріалів подаються в роботах Горячкіна В.П., Олександрова В.І., Лур'є А.Б., Петрова Г.Д., Летошева М.М., Кльоніна Н.І., Гладкова Н.Г., Турбіна В.Г. [85, 120, 122, 177, 244].

Головним робочим органом пристрою для відділення черв'яків з субстратом є активний підкопуючий леміш, основними конструкційно-технологічними параметрами якого є:

- кут нахилу лемеша до горизонту, α (град.);
- кут напрямку коливань, ε (град.);
- радіус коливань, r (мм);
- кутова швидкість колінвала, ω (с⁻¹).

Турбін Б.Г. в своїй роботі [244] запропонував основну формулу, яка характеризує взаємозв'язок між вищенаведеними параметрами:

$$1,7 \frac{\cos \alpha}{\sin \varepsilon} < \frac{\omega^2}{g} < 2,6 \frac{\cos \alpha}{\sin \varepsilon}, \quad (9.1)$$

де g – прискорення земного тяжіння, $g = 9,81$ м/с².

Для роздавлювання грудок у вермикомпості використовують барабанні роздавлювачі. Лур'є А.Б. [104] запропонував визначати діаметр барабана за формулою:

$$D_{\delta} \geq d_R / f^2, \quad (9.2)$$

де D_{δ} – діаметр барабана, мм; d_R – поперечний розмір грудки, мм; f – коефіцієнт тертя грудки по поверхні барабана.

Основними параметрами пруткового елеватора є:

- частота обертання струшуючої зірочки, n_{ε} (хв⁻¹);

- кут нахилу робочого полотна транспортера до горизонту, α (град);
- амплітуда струшування, γ (мм);
- лінійна швидкість елеватора, v_e (м/с).

Лурье А.Б. в роботі [122] запропонував формулу, за якою визначають частоту обертання струшуючої зірочки:

$$n_{\sigma} > \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{\cos \alpha}{\gamma}}. \quad (9.3)$$

Петров Г.Д. [178] лінійну швидкість елеватора запропонував визначати за формулою:

$$v_e = v_{\sigma} u / 120, \quad (9.4)$$

де v_{σ} – частота струшування, Гц; u – периметр початкової кривої еліптичної зірочки, мм.

$$\text{Звідси } U = \pi(1,5(\gamma_1 - \gamma_2) - \sqrt{\gamma_1 \times \gamma_2}),$$

де γ_1 і γ_2 – малий і великий радіуси кривої еліптичної зірочки, мм.

Радіус колінвала для струшування Петров Г.Д. пропонує вираховувати за формулою:

$$\gamma_K > 900 m_n \times \cos \alpha_t / n^2 \eta^1, \quad (9.5)$$

де γ_K – радіус колінвала, мм; n – частота обертання колінвала, Гц; m_n – відношення плеч;

η^1 – коефіцієнт, який враховує вільне коливання полотна; при вільно провислому полотні $\eta^1 = 2,0 - 2,5$; при натягнутому полотні $\eta^1 = 1,0 - 1,2$.

Грохот являє собою коливальне решето. Основними параметрами, які визначають роботу грохота, є:

- кут нахилу решета, α^1 (град);
- кут спрямування коливань, ξ (град);
- радіус колінвала, r_{ρ} (мм);

- частота обертання колінвала, n (хв⁻¹);
- кутова швидкість, ϖ (с⁻¹).

Для визначення частоти коливань Петров Г.Д. рекомендує використовувати формулу:

$$n = 30\sqrt{N \cos \alpha^1} / r_p \sin \xi, \quad (9.6)$$

де N – коефіцієнт, який залежить від амплітуди. При $r_p = 0.015$ – $N = 4$, при $r_p = 0,015$ – $N = 3,3$.

Турбін Б.Г. в роботі [244] запропонував розрахунок параметрів грохотів проводити за формулою:

$$\frac{2 \cos \alpha^1}{\sin(\xi - \alpha^1)} < \frac{\varpi^2 r_p}{g} < \frac{3.3 \cos \alpha}{\sin(\xi - \alpha)}. \quad (9.7)$$

Розділення біогумусу на фракції проводять в основному, використовуючи плоскі решета. Аналітичне дослідження основних параметрів плоских решіт наведено в роботах [49, 55, 122, 244], де доведено, що при поздовжніх коливаннях решета рух матеріалу по ньому можливий за умови:

$$\varpi^2 r \geq g \operatorname{tg}(f - \beta), \quad (9.8)$$

де r – радіус колінвала, або ексцентриситет приводного вала, мм; g – прискорення сили тяжіння, 9,81 м/с²; f – кут тертя матеріалу по решету, град; β – кут нахилу решета, град; ϖ – кутова швидкість колінвала, с⁻¹.

Частота обертання колінвала визначається за формулами;

$$\begin{aligned} n_{\max} &= \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \operatorname{tg}(f + \beta)} \\ n_{\min} &= \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \operatorname{tg}(f - \beta)} \end{aligned}, \quad (9.9)$$

$n_{\min}$ – максимальна і мінімальна частота обертання колінвала, хв⁻¹.

Продуктивність решета розраховується за формулою :

$$P = P_C + P_n, \quad (9.10)$$

де P – повна продуктивність решета при завантаженні, кг/год.; P_C – продуктивність для сходження, кг/год.; P_n – продуктивність для проходження, кг/год.

Ефективність роботи решета визначається коефіцієнтом повноти розділення;

$$\xi_m = \frac{m'}{m}, \quad (9.11)$$

де ξ_m – коефіцієнт повноти розділення; m' – вага фракції біогумусу, виділеної сходженням чи проходженням, кг; m – вага фракції біогумусу в початковому матеріалі, кг.

Особливості робочого процесу циліндричного решета, а також обґрунтування його параметрів представлено Турбіним Б.Г. в роботі [242].

Сушіння біогумусу є однією з головних і важливих ланок в процесі переробки біогумусу-сирцю в товарний біогумус. Важливість наукового підходу до вибору ефективного способу сушіння обумовлена значним впливом сушіння на величину собівартості виробництва біогумусу, а також необхідністю збереження корисної для ґрунту мікрофлори. Тому сушіння біогумусу повинно проходити при невисоких температурних режимах сушарки.

Науковим питанням сушіння вологих матеріалів присвячені роботи Горячкіна В.П., Кльоніна В.І., [55, 85]. Для розрахунку основних параметрів сушарки запропоновано наступні формули.

Кількість води, яка видаляється в процесі сушіння:

$$W = Q_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2}, \quad (9.12)$$

$$W = Q_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1}, \quad (9.13)$$

де W – кількість води, яка видаляється в процесі сушіння, кг; Q_1 – маса вологого матеріалу, кг; Q_2 – маса сухого матеріалу, кг; ω_1 – вологість матеріалу до сушіння, %; ω_2 – вологість матеріалу після сушіння, %.

Відносне зменшення у масі (усушка):

$$D = \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} \cdot 100\%.$$

Витрати агента сушіння:

$$L_0 = \frac{1000W}{d_2 - d_1}, \quad (9.14)$$

де L_0 – витрати агента сушіння, м^3 ; d_1, d_2 – вологовмісткість агента сушіння до і після сушіння, $\text{кг}/\text{м}^3$; W – маса випаруваної вологи, кг .

Питомі витрати агента сушіння в розрахунку на 1 кг вологи:

$$l_0 = \frac{1000}{d_2 - d_1}. \quad (9.15)$$

Витрати тепла

$$\tilde{g} = l(I_2 - I_0) - \left[(C_{\text{вл}} \cdot T' + \tilde{g}_d) - \left(\frac{Q_2}{W} C_2 T'_2 - \frac{Q_2}{W} C_2 T'_1 + \tilde{g}_0 \right) \right], \quad (9.16)$$

де $\tilde{g}$ – кількість тепла, яка витрачається на випаровування 1 кг вологи, $\text{кДж}/\text{кг}$; l – витрати агента сушіння в розрахунку на 1 кг випаруваної вологи, $\text{м}^3/\text{кг}$; I_2 – тепловміст агента сушіння на виході з сушильної камери, $\text{кДж}/\text{м}^3$; I_0 – тепловміст атмосферного повітря, $\text{кДж}/\text{м}^3$; $C_{\text{вл}}$ – питома теплоємність вологи, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{град}$; T' – температура випаруваної во-логи, град ; $\tilde{g}_d$ – додаткова кількість тепла на 1 кг випаруваної вологи, яка надана агенту сушіння в сушильній камері, $\text{кДж}/\text{кг}$; $\tilde{g}_0$ – втрати тепла в навколишнє середовище з розрахунку на 1 кг випаруваної вологи, $\text{кДж}/\text{кг}$; $\frac{Q_2}{W} C_2 T'_2 - \frac{Q_2}{W} C_2 T'_1$ – втрати тепла на нагрівання матеріалу в розрахунку на 1 кг випаруваної вологи, $\text{кДж}/\text{кг}$; C_2 – питома теплоєм-кість матеріалу, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{град}$; T'_1, T'_2 – температура матеріалу до сушіння і після сушіння, град .

Втрати тепла в навколишнє середовище визначаються за формулою:

$$\tilde{g}_{oc} = \frac{Fk_0}{W} (\bar{T}_{cp} - T_0), \quad (9.17)$$

де F – сумарна площа поверхні сушильної камери, м^2 ; k_0 – коефіцієнт теплопередачі від агента сушіння в навколишнє середовище через стінки сушильної камери, $\text{кДж/м}^2\text{-год.-град}$; $\bar{T}_{cp}$ – середня температура агента сушіння в сушильній камері, град . (умовно приймається $\bar{T}_{cp} = \frac{T_1 - T_2}{2}$); T_o – температура навколишнього середовища, град .

Для процесу охолодження питомі витрати сухого повітря вираховуються за формулою:

$$L_{ox} = \frac{1000}{d_3 - d_0}, \quad (9.18)$$

де L_{ox} – питомі витрати сухого повітря, $\text{м}^3/\text{кг}$ вологи; d_3 – вологовміст повітря після охолодження, кг/м^3 ; d_0 – вологовміст повітря до охолодження, кг/м^3 .

Витрати пального на сушіння:

$$B = \frac{gW}{Q_n^p \cdot \eta_t}, \quad (9.19)$$

де B – витрати пального на сушіння, кг ; Q_n^p – теплотворна властивість пального кДж/кг ; η_t – к.к.д. теплогенератора.

Для сушіння біогумусу можна використовувати існуючі зернотокі, або спеціальні навіси.

Для розрахунку робочої площі навісів (м^2) рекомендується використовувати формулу [186]:

$$F_n = \frac{M_{\text{в}} \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)}{(m_{\text{вдт}} \cdot n_{\text{дт}} + m_{\text{вдк}} \cdot n_{\text{дх}}) \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{ног}}}, \quad (9.20)$$

де $M_{\text{в}}$ – маса біогумусу, який необхідно підсушити, кг/рік ; $m_{\text{вдт}}, m_{\text{вдк}}$ – середня маса вологи, яка випаровується за добу в теплий і холодний період року з 1 м^2 площі, кг/добу ;

$n_{\text{дт}}$ – тривалість теплового періоду року, дб ; $n_{\text{дх}}$ – тривалість холодного періоду року, дб ;

η_n – коефіцієнт ефективного використання площі навісів; $\eta_{пог}$ – коефіцієнт погодності.

Подрібнення біогумусу призначено для руйнування грудок до стану природної структури. Для цього, в основному, використовуються безрешітні дробарки з частотою обертання вала $5-10 \text{ с}^{-1}$ ($300-600 \text{ хв}^{-1}$);

9.2. Розробка обладнання для відділення черв'яків від вермикомпосту

9.2.1. Вибір і обґрунтування технологічної та конструкційної схеми пристрою для відділення черв'яків від вермикомпосту.

На основі проведеного аналізу існуючих технічних засобів для відділення черв'яків від вермикомпосту за літературними і патентними джерелами встановлено, що вермикомпост з черв'яками є складним середовищем за складом і фізико-механічними властивостями, тому досягти високої ефективності відділення черв'яків від вермикомпосту механічним способом неможливо. Крім того, визначені тенденції розвитку способів і пристроїв для відділення черв'яків від вермикомпосту, які полягають у створенні у вермикомпості несприятливих умов для їх існування. Встановлено, що в основному патентуються пристрої, принцип дії яких полягає у впливі зовнішнього чинника на черв'яків, внаслідок чого у вермикомпості створюються несприятливі умови, і черв'яки переповзають в інше середовище. В розглянутих схемах зовнішніми чинниками є тепло, світло, холод, вода, вібрації та інше. Технологічна схема і ефективність роботи відділювача залежить від виду зовнішнього чинника. Тому основним завданням при розробці технологічної схеми відділювача є вибір зовнішніх чинників.

Для оцінки якості функціонування системи доцільно використати показник, який характеризує ступінь відділення черв'яків від вермикомпосту η . При цьому входними чинниками, які характеризують умови і режими роботи відділювача і впливають на величину значення η (рис. 9.1) є:

– група керованих чинників $A = (A_1, A_2, A_3 \dots A_n)$, які характеризують параметри і режим роботи відділювача (подача, товщина шару вермикомпосту, величина чинника зовнішнього впливу та інші.);

– група некерованих, але контрольованих чинників $B = (B_1, B_2 \dots B_k)$, які характеризують умови функціонування системи (вологість, ступінь вмісту черв'яків у вермикомпості та інші);

– група неконтрольованих випадкових чинників $C = (C_1, C_2, \dots C_m)$, які характеризують сторонні дії при виконанні процесу (зменшення вологості вермикомпосту, травмування черв'яків та інші.);

– група показників $D = (D_1, D_2, \dots D_i)$, які характеризують якість виконання технологічного процесу (ступінь відділення черв'яків, забрудненість біомаси дощових черв'яків, ступінь травмування дощових черв'яків та інші.);

– група випадкових чинників $E = (E_1, E_2 \dots E_l)$, які характеризують негативний вплив на процес відділення черв'яків від вермикомпосту.

Відомо, що зовнішніми чинниками впливу на черв'яків є холод, світло, тепло, вібрація, вода. Для вибору зовнішнього чинника необхідно керуватись тим, щоб фактори сторонньої дії на вермикомпост $C = (C_1, C_2, \dots C_m)$ мали позитивний вплив в системі. Так, наприклад, при переробці вермикомпосту в біогумус його підсушують до вологості 40-50%. Виходячи з цього, використання тепла для створення несприятливих умов у вермикомпості доцільне, оскільки теплова енергія, яку буде використано для створення несприятливих умов у середовищі життєдіяльності черв'яків, буде використовуватись одночасно для сушіння вермикомпосту, що підвищить ефективність роботи установки.

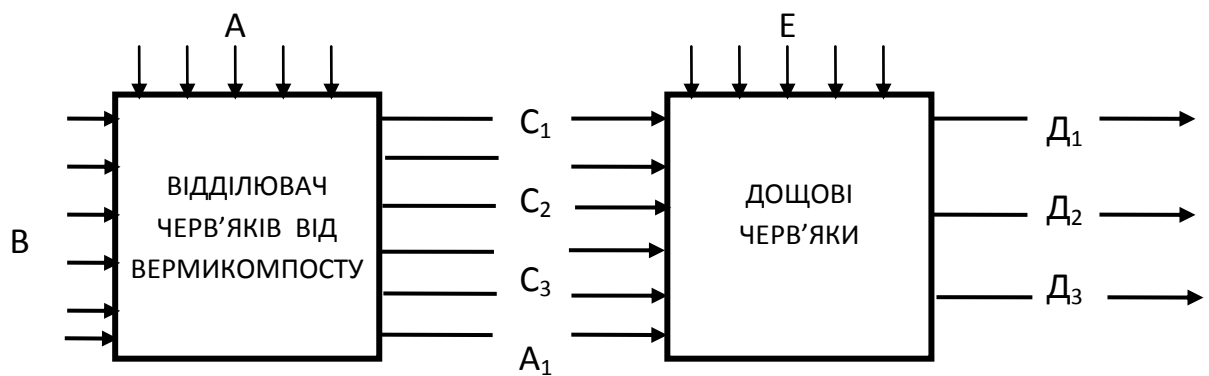


Рис. 9.1. Структурна схема (інформаційна модель) системи «відділювача дощових черв'яків».

Під час подачі вермикомпосту частина черв'яків знаходиться на його поверхні, через що неможливо використовувати високу температуру. У разі її використання чинники $C = (C_1, C_2, \dots, C_m)$ будуть негативно впливати на черв'яків, які знаходяться на поверхні вермикомпосту, що призведе до дезорієнтації їх в просторі, опіків та загибелі. Через невисоку теплопровідність вермикомпосту низьку температуру використовувати недоцільно, що негативно впливає на продуктивність відділювача.

Локалізація цих чинників можлива методом використання світла перед початком теплового впливу. Черв'яки, які знаходяться на поверхні, під дією світла, занурюються у вермикомпост, після чого висока температура на поверхні вермикомпосту не буде негативно на них впливати. Тому в основу технологічної схеми відділювача черв'яків від вермикомпосту покладено метод створення у вермикомпості несприятливих для черв'яків умов шляхом дії світла і тепла, причому вплив здійснюють поступово, спочатку світлом, а потім теплом.

На базі проведених досліджень розроблено технологічну і конструкційно-технологічну схеми відділювача черв'яків від вермикомпосту (рис. 9.2, 9.3.), технічна новизна яких захищена патентами України на винахід [170-172].

Відділювач складається з конвейєра 1, піддонів для збору відділених черв'яків 2, бункера дозатора 3, освітлювальної камери 4, теплогенератора 5,

термокамери 6, бункера нагромаджувача вермикопосту без черв'яків 8, поперечного транспортера 9, щітки 10 (рис 9.3).

Робота відділювача характерна тим, що на стрічку конвейєра 1 з бункера дозатора 3 насипається вермикопост з черв'яками шаром певної товщини. Стрічка конвейєра повинна бути виготовлена таким чином, щоб забезпечити переповзання черв'яків в піддони для збору біомаси і мінімальну її забрудненість. Вермикопост переміщують в освітлювальну камеру 4. Черв'яки, які знаходяться на поверхні, під дією світла занурюються у вермикопост, після чого він потрапляє в термокамеру, де нагріте теплогенератором 5 повітря створює у вермикопості несприятливі умови для черв'яків. Черв'яки під дією температури переповзуть в піддони для їх збору.

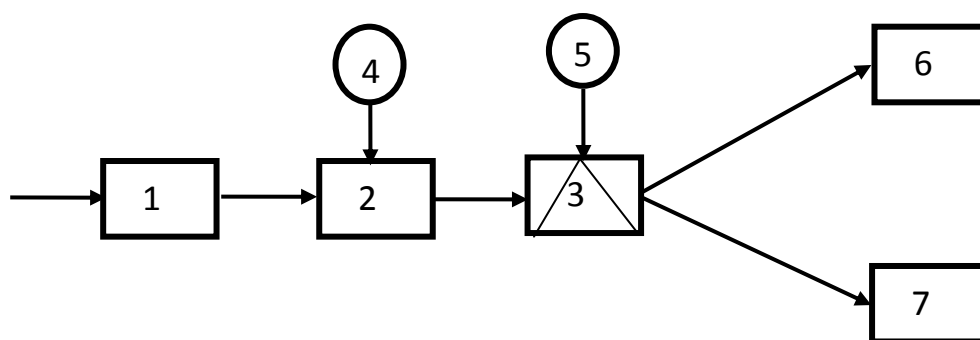


Рис. 9.2. Технологічна схема відділювача дощових черв'яків від вермикопосту, субстрату.

□ – механічний, ▽ – біотехнологічний, ○ – термодинамічний процес.
 1 – подача вермикопосту; 2 – розрівнювання вермикопосту; 3 – відділення черв'яків від вермикопосту; 4 – опромінення вермикопосту світлом; 5 – температурний вплив на черв'яків у вермикопості; 6 – видалення вермикопосту; 7 – видалення черв'яків.

Після відділення черв'яків вермикопост, або субстрат вивантажується в бункернагромаджувач, а тепле повітря з термокамери повертається в теплогенератор для його нагрівання до заданої температури.

Конструкція піддонів може бути різною: з наповнювачем (наприклад, шматками пінопласту), без наповнювача (з системою створення штучних сприятливих умов для черв'яків в піддонах) або із заміником наповнювача.

Запропонована конструкційна схема відділювача з використанням заміни наповнювача і механізованим видаленням черв'яків (рис. 9.3.).

В конструкційній схемі відділювача замість піддонів для збору черв'яків вводиться додатковий поперечний транспортер 9 з імітатором компосту.

Імітатор виконаний у вигляді пружинних ниток з кульками на протилежних кінцях, які закріплені до зовнішньої поверхні стрічки транспортера. В піддоні для збору відділених черв'яків 2 знаходиться вода. Частина нижньої вітки поперечного транспортера занурюється у воду, а черв'яки щіткою 10 додатково вичісуються з імітатора. Вода застосовується для охолодження стрічки транспортера

В результаті проведеного аналізу визначені зовнішні чинники впливу на черв'яків і на дії яких базується запропонована конструкція відділювача. В результаті чого встановлено наступні керовані технологічні параметри: освітленість в освітлювальній камері ν , температура в освітлювальній камері T_0 , температура в термокамері T_{m2} , товщина шару вермикомпосту h ; некеровані але контрольовані параметри: вологість вермикомпосту ω , ступінь вмісту черв'яків у вермикомпості ξ_0 , температура вермикомпосту T_v .

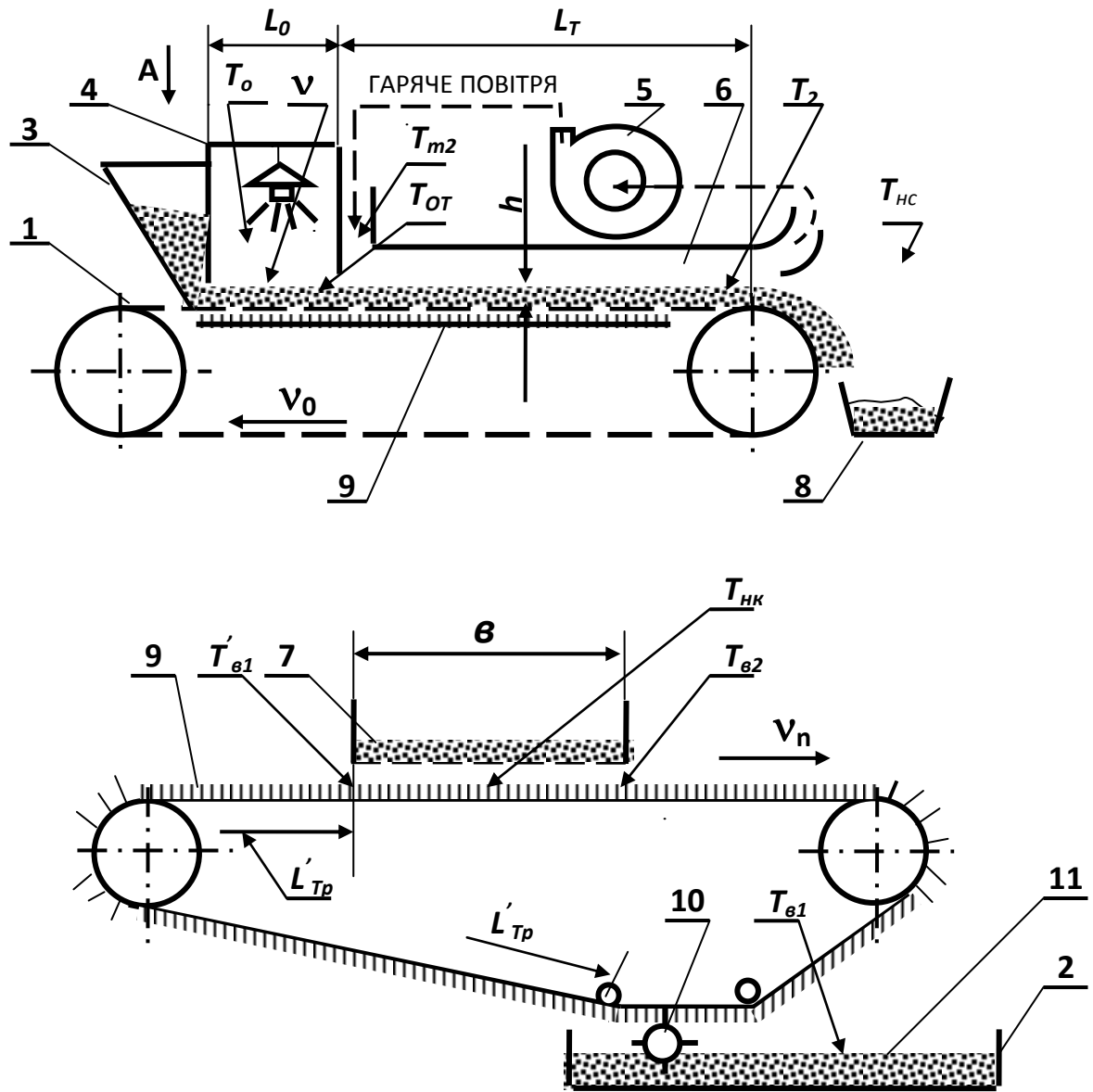
9.2.2. Визначення основних конструкційно-технологічних параметрів відділювача черв'яків від вермикомпосту.

Нехай стрічка конвейєра, на якому знаходиться шар вермикомпосту, ступінь вмісту черв'яків в якому ξ_0 , товщина шару h і ширина b , рухається зі швидкістю ν_0 . За період t_e під дією світла і тепла черв'яки з вермикомпосту переповзуть через щілини на поперечний транспортер (рис. 9.3.). Виходячи з технологічної схеми відділення черв'яків від вермикомпосту:

$$t_e = t_0 + t_H, \quad (9.21)$$

де t_e – період часу, за який черв'яки переповзуть з вермикомпосту, с; t_0 – тривалість впливу світловим потоком, необхідна для занурювання черв'яків у

вермикомпост, с; t_n – тривалість температурного впливу на черв'яків для переповзання їх через щілини конвейера, с.



б

9.3. Конструкційно-технологічна схема відділювача черв'яків від вермикомпосту:

а – схема відділювача ; б – схема поперечного транспортера:

1 – конвейер; 2 – піддон для збору відділених черв'яків; 3 – бункер-дозатор; 4 – освітлювальна камера; 5 – теплогенератор; 6 – термокамера; 7 – вермикомпост; 8 – бункер для вермикомпосту; 9 – поперечний транспортер; 10 – щітка; 11 – вода.

З метою визначення основних параметрів освітлювальної камери за критерій приймають ступінь занурення черв'яків, які знаходяться на поверхні, у вермикомпост η_3 . Приймавши допустиме значення η_3 з математичної моделі

$\eta_3 = F(t_0)$ визначаємо t_0 . Тоді довжина освітлювальної камери визначається за формулою:

$$L_0 = v_0 \cdot t_0, \quad (9.22)$$

де L_0 – довжина освітлювальної камери, м; v_0 – швидкість конвейєра, м/с;

Продуктивність відділювача визначається за формулою :

$$\Pi = \epsilon \cdot h \cdot \rho_\epsilon \cdot v_0, \quad (9.23)$$

де Π – продуктивність відділювача, кг/с; ϵ – ширина шару вермикомпосту, м; h – товщина шару вермикомпосту, м; ρ_ϵ – об'ємна маса вермикомпосту, кг/м³:

звідси
$$v_0 = \frac{\Pi}{\epsilon \cdot h \cdot \rho_\epsilon}. \quad (9.24)$$

Виходячи із заданої продуктивності відділювача, довжина освітлювальної камери визначається за формулою:

$$L_0 = \frac{\Pi}{\epsilon \cdot h \cdot \rho_\epsilon} t_0. \quad (9.25)$$

Рухаючись, стрічка конвейєра переносить вермикомпост в термокамеру, де під дією гарячого повітря, температура якого T_{m2} , він прогрівається на всій площині з однієї сторони. В міру прогрівання вермикомпосту черв'яки покидають несприятливе середовище, переповзаючи через щілини конвейєра в інше, штучно створене з більш сприятливими температурними умовами. Припустимо, що початок переповзання черв'яків через щілини конвейєра почнеться при нагріванні вермикомпосту по всій товщині шару до мінімальної температури T_{nmin} . Тоді тривалість температурного впливу на вермикомпост з черв'яками в термокамері t_H визначається за формулою:

$$t_H = t_p + t_n, \quad (9.26)$$

де t_p – час, який необхідний для створення несприятливих умов у вермикомпості, с; t_n – час, який необхідний для переповзання черв'яків через щілини конвейєра в інше середовище, с.

Для визначення t_n за критерій оцінки якості відділення черв'яків від вермикомпосту приймається ступінь відділення η_6 .

Прийнявши допустиме значення η_6 з математичної моделі $\eta = F(t_H)$ визначають t_H . Тоді довжина термокамери L_T визначається за формулами:

$$\begin{aligned} L_T &= v_0 t_H, \\ L_T &= \frac{\Pi}{\epsilon \cdot h \cdot \rho_6} t_H. \end{aligned} \quad (9.27)$$

Знайдемо швидкість руху поперечного транспортера для відділення черв'яків (рис. 9.3.) за умови нагрівання його поверхні на ΔT_n .

Виходячи з того, що температура навколишнього середовища T_{nc} і поперечний транспортер занурюється у воду і на свою поверхню захватує частину води з початковою температурою T_{e1} , нагрівання поверхні транспортера буде проходити при $T_{e1} < T_{nc}$.

Тоді поверхня поперечного транспортера нагрівається до температури T_{e2} . Звідси:

$$\Delta T_n = T_{e2} - T_{e1}. \quad (9.28)$$

Тривалість нагрівання поверхні поперечного транспортера повітрям навколишнього середовища t' визначається за формулою:

$$t' = \frac{L'_{Tp}}{v_n}, \quad (9.29)$$

де L'_{Tp} – довжина стрічки поперечного транспорта від місця виходу його з води до конвейєра, м; v_n – швидкість поперечного транспортера, м/с.

Тривалість нагрівання поверхні поперечного транспортера повітрям під конвейєром t'' визначається за формулою:

$$t'' = \frac{\epsilon}{v_n}. \quad (9.30)$$

Загальний час нагрівання поверхні поперечного транспортера на величину ΔT_n визначається за формулою:

$$t_{nn} = t' + t'' = \frac{L'_{Tp} + \epsilon}{v_n}. \quad (9.31)$$

Використовуємо рівняння теплового балансу, виходячи з умови, що тепло, яке передається з навколишнього середовища, витрачається на нагрівання поверхневого шару води, що залишається на поверхні стрічки транспортера [257]:

$$\alpha_\epsilon \cdot F'_{Tp} \left[T_{nc} - \frac{T'_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 1}}{2} \right] \cdot t' + \alpha_\epsilon \cdot F''_{Tp} \left[T_{нк} - \frac{T'_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 2}}{2} \right] \cdot t'' = c_\epsilon \cdot m_\epsilon \Delta T_n, \quad (9.32)$$

де α_ϵ – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до води ; Вт/м² К; F'_{Tp} – площа поверхні стрічки транспортера від виходу її з води до поперечного транспортера, м² ; F''_{Tp} – площа поверхні стрічки транспортера під конвейєром, м²; m_ϵ – питома маса води на стрічці транспортера, кг; c_ϵ – питома теплоємність води, Дж/кг К; $T'_{\epsilon 1}$ – температура зовнішньої поверхні поперечного транспортера перед входом під конвейєр, К; $T_{нк}$ – температура повітря між транспортером і конвейєром, К.

Для ефективного відділення дощових черв'яків від вермикомпосту необхідно, щоб температура під конвейєром і температура навколишнього середовища була однаковою, тобто $T_{nc} = T_{нк}$. Тоді рівняння теплового балансу (9.32) буде мати вигляд:

$$\alpha_\epsilon \cdot (F'_{Tp} + F''_{Tp}) \cdot \left(T_{nc} - \left(\frac{T_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 2}}{2} \right) \right) t_{nn} = c_\epsilon m_\epsilon \Delta T_n. \quad (9.33)$$

$$F'_{Tp} = L'_{Tp} \cdot \epsilon_{Tp}, \quad (9.34)$$

$$F''_{Tp} = \epsilon \cdot \epsilon_{Tp}, \quad (9.35)$$

$$m_\epsilon = \Delta m_\epsilon \cdot (F'_{Tp} + F''_{Tp}) = \Delta m_\epsilon \cdot v_n \cdot \epsilon_{Tp} \cdot t_{nn}, \quad (9.36)$$

де ϵ_{Tp} – ширина стрічки транспортера, м; Δm_ϵ – маса захопленої води в розрахунку на одиницю площі стрічки транспортера, кг/м².

Значення формули (9.33), (9.34), (9.35) підставляємо у формулу (9.32).

$$\text{Тоді: } \alpha_{\epsilon} \cdot (L'_{Tp} + \epsilon) \cdot \epsilon_{Tp} \cdot \left(T_{nc} - \frac{T_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 2}}{2} \right) \cdot t_{nn} = c_{\epsilon} \cdot \Delta m_{\epsilon} \cdot v_n \cdot \epsilon_{mp} \cdot t_{nn} \cdot \Delta T_n. \quad (9.37)$$

З формули (9.37) визначаємо v_n :

$$v_n = \frac{\alpha_{\epsilon} (L'_{Tp} + \epsilon) \left(T_{nc} - \frac{T_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 2}}{2} \right)}{c_{\epsilon} \cdot \Delta m_{\epsilon} \cdot \Delta T_n}. \quad (9.38)$$

З формули (9.24) визначаємо:

$$\epsilon = \frac{\Pi}{h \cdot \rho_{\epsilon} \cdot v_0}. \quad (9.39)$$

Підставляємо у формулу (9.38) замість ϵ формулу (9.39).

Тоді формула, за якою визначається швидкість поперечного транспортера, буде мати вигляд:

$$v_n = \frac{\alpha_{\epsilon} \left(L'_{Tp} + \frac{\Pi}{h \cdot \rho_{\epsilon} \cdot v_0} \right) \left(T_{nc} - \frac{T_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 2}}{2} \right)}{c_{\epsilon} \cdot \Delta m_{\epsilon} \cdot \Delta T_n}. \quad (9.40)$$

9.2.3. Визначення основного рівняння теплового балансу термокамери та питомих витрат гарячого повітря.

Виходячи з конструктивно-технологічної схеми відділювача (рис. 9.3), а також враховуючи те, що швидкість переміщення гарячого повітря відносно вермикомпосту невелика, оскільки гаряче повітря служить тільки для підтримання заданого температурного режиму в термокамері, термодинамічні процеси розглядаються в стаціонарному режимі.

Згідно з [257] рівняння теплового балансу термокамери буде мати такий вигляд:

$$Q_n - Q_{\epsilon} - Q_{\epsilon T} = 0, \quad (9.41)$$

де Q_n – кількість теплоти, яка витрачається в термокамері в процесі відділення, Дж; Q_{ϵ} – кількість теплоти, яка витрачається на нагрівання вермикомпосту, Дж; $Q_{\epsilon T}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище, Дж.

$$\text{Звідси: } Q_{Tk} = \frac{Q_n}{\eta_n} = \frac{L(I_1 - I_2)t}{\eta_n}, \quad g_{nk} = \frac{L(I_1 - I_2)}{\eta_n}, \quad (9.42)$$

де Q_{Tk} – кількість теплоти, яка передалася в калорифері повітря, Дж; g_{nk} – питома кількість теплоти, яка передалася в калорифері повітря, Дж/м³ с; L – питомі витрати гарячого повітря, м³/с; I_1 – тепловміст повітря на вході в термокамеру, Дж/м³; I_2 – тепловміст атмосферного повітря, Дж/м³; η_n – коефіцієнт тепловтрат в повітропроводі.

$$Q_n = L(I_1 - I_2) \cdot t, \quad (9.43)$$

$$Q_6 = C \cdot G_1 \cdot \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \cdot (T_2 - T_{OT}) \cdot t, \quad (9.44)$$

де C – питома теплоємність вермикомпосту, Дж/кг К; G_1 – маса вермикомпосту, яку піддають температурному впливу в розрахунку на одиницю часу, кг/год; $G_1 \approx \Pi$; ω_1, ω_2 – вологість вермикомпосту до і після проходження термокамери, %; T_{OT}, T_2 – температура вермикомпосту на вході і виході з термокамери, К.

$$Q_{6T} = \frac{\lambda}{\delta} (T_{m2} - T_{nc}) F \cdot t, \quad (9.45)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності стінок термокамери, Вт/м К; δ – товщина стінок термокамери, м; F – загальна площа стінок термокамери, м²; T_{m2} – температура гарячого повітря, К.

Підставивши значення формул (9.42), (9.43), (9.44), (9.45) в рівняння (9.41), одержимо формулу розрахунку теплового балансу термокамери:

$$L(I_1 - I_2) = C \Pi \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \cdot (T_2 - T_{OT}) + \frac{\lambda}{\delta} (T_{m2} - T_{nc}) \cdot F. \quad (9.46)$$

Питома теплоємність вермикомпосту визначається за формулою:

$$C = C_0 \left(1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_6 \frac{\omega_1}{100}, \quad (9.47)$$

де C_6 – питома теплоємність води, Дж/кг·К; C_0 – питома теплоємність сухого вермикомпосту.

Тоді основне рівняння теплового балансу термокамери буде мати вигляд:

$$g_{nk} = \frac{L \cdot (I_1 - I_2)}{\eta_n} = \frac{\left[C_0 \left(1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_{\epsilon} \frac{\omega_1}{100} \right] \cdot \Pi \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \times (T_2 - T_{oT}) + \frac{\lambda}{\delta} (T_{m2} - T_{nc}) \cdot F}{\eta_n} \quad (9.48)$$

Одержане рівняння теплового балансу дає можливість визначити питомі витрати тепла на процес відділення дощових черв'яків від вермикомпосту в залежності від продуктивності відділювача.

З формули (9.48) визначаємо:

$$L = \frac{\left[C_0 \left(1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_{\epsilon} \frac{\omega_1}{100} \right] \cdot \Pi \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \cdot (T_2 - T_{oT}) + \frac{\lambda}{\delta} (T_{m2} - T_{nc}) \cdot F}{I_1 - I_2}. \quad (9.49)$$

Коефіцієнт корисної дії відділювача визначається за формулою:

$$\eta_K = \frac{\left[C_0 \left(1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_{\epsilon} \frac{\omega_1}{100} \right] \cdot \Pi \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \cdot (T_2 - T_{oT})}{L(I_1 - I_2)} \eta_n. \quad (9.50)$$

9.2.4. Дослідження процесу відділення черв'яків від вермикомпосту, розробка математичної моделі процесу.

У системі відділення черв'яків від вермикомпосту вирішальну роль відіграють різні показники стану системи, реологічні властивості вермикомпосту, температурні характеристики та інші фактори, які створює зовнішній чинник впливу на черв'яків (в даному випадку світло і тепло). Система може мати безліч станів, які відрізняються між собою з точки зору відділення черв'яків від компосту під дією чинника зовнішнього впливу на черв'яка, в складових частинах системи відбуваються зміни (зміни температури вермикомпосту, зменшення кількості черв'яків у вермикоспості та ін.). Тому, якщо в момент часу t_1 біомаса черв'яків системи «відділювач-вермикомпост-дощові черв'яки» описувалась M , то в момент часу t_2 біомаса черв'яків описується точкою M_1 . При цьому, якщо $M \neq M_1$ і $M > M_1$, то в системі

проходить процес відділення черв'яків від вермикомпосту. Оскільки зміни системи залежать і від випадкових причин, то $M(t)$ можна розглядати, як траєкторію випадкового процесу. Для другого періоду побудови математичної моделі необхідно знайти математичну закономірність еволюції процесу. Третій період полягає у виборі різних числових характеристик системи. Такий вибір залежить від умов і призначення системи, де маса відділених черв'яків визначається: $M' = M - M_1$.

Динамічний показник якості функціонування системи визначається деяким числовим значенням, яке знаходять за формулою:

$$\eta = \frac{M'}{M} \cdot 100, \quad (9.51)$$

де η – ступінь відділення черв'яків, %; M – маса черв'яків, які знаходяться у вермикомпості, кг; M' – маса відділених черв'яків, кг.

Показник η визначає імовірність того, що черв'яки, які знаходяться у вермикомпості, під дією зовнішнього чинника перейдуть в інше середовище за період часу t . В загальному η визначається функцією від часу: $\eta(t) = F(t)$.

Якість виконання процесу відділення черв'яків характеризують коефіцієнтом відділення ξ_v .

Показник ξ_v розглядають як ймовірність складної події, яка відбулася внаслідок співпадання двох простих:

- ймовірність наявності черв'яків у вермикомпості, P'_1 ;
- ймовірність переходу черв'яків через щілини конвейєра P'_2 .

З теореми множення ймовірностей [174] знаходимо:

$$\xi_v = P'_1 \cdot P'_2 . \quad (9.52)$$

Ймовірність P'_1 знаходимо за формулою :

$$P_1^1 = \frac{M - M_2^{11}}{M_g} = \frac{0,01\xi_0 M_g - M_2^{11}}{M_g}, \quad (9.53)$$

де M_2'' – маса черв'яків, які залишились на поверхні вермикомпосту після проходження освітлювальної камери, кг; M_ϵ – маса вермикомпосту з черв'яками, кг; ξ_0 – ступінь вмісту черв'яків у вермикомпості, %.

$$\text{Тут} \quad M = M_0 \cdot 0,01 \xi_0. \quad (9.54)$$

Формула (9.53) справедлива за умови, що всі черв'яки, які залишились на поверхні вермикомпосту, під дією гарячого повітря загинули.

Звідси для визначення M_2'' визначаємо коефіцієнт залишку черв'яків на поверхні вермикомпосту після проходження освітлювальної камери ξ_3 .

Показники ξ_3 можна розглядати як ймовірність складної події, яка відбулася внаслідок співпадання трьох простих:

- ймовірність наявності черв'яків у вермикомпості P_1 ;
- ймовірність знаходження черв'яків на поверхні вермикомпосту P_2 ;
- ймовірність знаходження черв'яків на поверхні вермикомпосту після дії світлом тривалістю t_0 , P_3 .

З теореми множення ймовірностей знаходимо:

$$\xi_3 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (9.55)$$

де $P_1 = 0,01 \xi_0, \quad (9.56)$

$$P_2 = \frac{M_2'}{0,01 \xi_0 M_\epsilon}, \quad (9.57)$$

$$P_3 = \frac{M_2''}{M_2'}, \quad (9.58)$$

де M_2' – маса черв'яків, які знаходились на поверхні вермикомпосту, кг.

Підставивши у формулу (9.55) значення формул (9.56), (9.57), (9.58), одержимо:

$$\xi_3 = \frac{M_2''}{M_\epsilon}, \quad (9.59)$$

З формули (9.59) визначимо M_2'' і його значення підставимо у формулу (9.53):

$$P'_1 = \frac{0,01\xi_0 M_\epsilon - \xi_3 \cdot M_\epsilon}{M_\epsilon} = 0,01\xi_0 - \xi_3. \quad (9.60)$$

Імовірність переповзання черв'яків через щілини конвейєра визначається за формулою:

$$P'_2 = \frac{M'}{M_\epsilon} = \frac{M'}{M_\epsilon(0,01\xi_0 - \xi_3)}, \quad (9.61)$$

де M' – маса черв'яків, які знаходяться у вермикомпості після впливу світлом.

У формулу (9.52) підставляємо замість P_1^1 і P_2^1 вирази (9.60), (9.61).

$$\text{Тоді} \quad \xi_\epsilon = \frac{M'}{M_\epsilon}. \quad (9.62)$$

Виходячи з формули (9.51), (9.54), (9.62), отримаємо:

$$\eta = \frac{\xi_\epsilon}{0,01\xi_0} \cdot 100\%. \quad (9.63)$$

Формула (9.63) використовується для оцінки якості виконання технологічного процесу відділення відділювачами безперервної дії.

Для обґрунтування оптимальних режимів роботи відділювача: освітленості і температури в освітлювальній камері v (лк), T_o (°C), температури в термокамері T_{m2} (°C), швидкості руху конвейєра v_0 (м/с), питомих витрат гарячого повітря L (м³/с) і продуктивності Π (кг/с); конструкційних параметрів: довжини освітлювальної і термокамери L_0 , L_T (м), ширини конвейєра b , а також енергетичних параметрів: питомих витрат тепла $g_{пк}$ (Дж/с), коефіцієнта корисної дії термокамери η_K – за критерій оцінки якості виконання технологічного процесу занурювання черв'яків у вермикомпост прийнято ступінь занурювання η_z , а для процесу відділення черв'яків від вермикомпосту – ступінь відділення η_ϵ .

Аналізуючи процеси занурювання черв'яків у вермикомпост під дією світла і переповзання черв'яків з вермикомпосту в інше середовище під дією тепла, можна прийти до висновку, що ці процеси є неперервними.

Для вивчення характеру зміни ступеня відділення черв'яків від вермикомпосту $\eta(t)$, будемо використовувати інтенсивність відділення

$f(t) = \frac{d\eta}{dt}$ Спостереженнями за процесом відділення черв'яків встановлено,

що в початковий момент часу інтенсивність відділення рівна 0. Далі під дією чинників зовнішнього впливу, з затримкою часу від початку його дії t'_H , інтенсивність відділення буде зростати до тих пір поки основна маса черв'яків не відділиться. Після цього інтенсивність буде спадати і прямувати до нуля. Графік залежності інтенсивності відділення черв'яків від часу представлено на рис. 9.4.

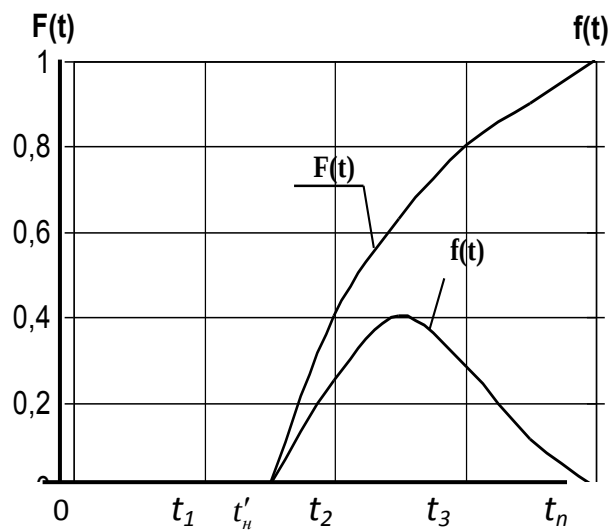


Рис. 9.4. Залежність інтенсивності $f(t)$ і ступеня відділення дощових черв'яків $F(t)$ від часу.

В літературі така залежність апроксимується функціями виду [4, 5]:

$$f(t) = \frac{d\eta}{dt} = at \exp \left\{ -\frac{t}{\beta} \right\}$$

$$f(t) = \frac{d\eta}{dt} = at \exp \left\{ -\frac{(t)^2}{\beta} \right\}.$$

Оскільки процес відділення починається не з моменту початку дії зовнішнього чинника, а має деяку затримку t'_H і проходить коли $t \geq t'_H$, для наших досліджень за основу ми вибрали останню формулу, а також прийняли додатковий коефіцієнт γ , який дозволяє з більшою достовірністю описувати даний процес.

На основі вище проведеного аналізу прийнято наукову гіпотезу про те, що інтенсивність відділення визначається нелінійним рівнянням:

$$f(t) = \frac{d\eta}{dt} = a(t - t'_n) \exp \left\{ -\frac{(t - t'_n - \gamma)^2}{\beta} \right\}. \quad (9.64)$$

Проінтегрувавши функцію (9.64) і прийнявши:

$$\Phi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp \left(-\frac{(x - t'_n)^2}{2} \right) dx,$$

визначено залежність ступеня занурення черв'яків у вермикомпост, а також їх відділення від вермикомпосту від тривалості проходження процесу t (рис.9.4):

$$F(t) = \eta(t) = \frac{1}{2} a \beta \left[\exp \left\{ -\frac{\gamma^2}{\beta} \right\} - \exp \left\{ -\frac{(t - t'_n - \gamma)^2}{\beta} \right\} \right] + \sqrt{2\pi} a \gamma \beta \left[\Phi_0 \left(\frac{t - t'_n - \gamma}{\beta} \right) - \Phi_0 \left(\frac{-\gamma}{\beta} \right) \right] \quad (9.65)$$

де t – тривалість проходження процесу, с, хв., год; a, γ, β – коефіцієнти (визначаються за експериментальними даними методом найменших квадратів); t'_n – період, який характеризується тривалістю дії зовнішнього чинника на черв'яків (світло, тепло, свіжий субстрат та ін.) до початку проходження технологічного процесу (занурювання черв'яків у вермикомпост, переповзання черв'яків в інше середовище), с, хв, год; Φ_0 – функція Лапласа.

Аналогічно проходить процес занурювання дощових черв'яків у вермикомпост під дією світла.

На основі рівняння (9.65) отримано функціональний зв'язок η_3 і η_6 від параметрів відділювача: L_0, L_T, v_0, v, h, P , який визначається рівняннями регресії:

– для процесу занурювання черв'яків у вермикомпост:

$$\eta_3 = \frac{1}{2}a\beta \left[\exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_0}{v_0} - t'_n - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi}a\gamma\beta \left[\Phi_0\left(\frac{\frac{L_0}{v_0} - t'_n - \gamma}{\beta}\right) - \phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right],$$

$$\eta_3 = \frac{1}{2}a\beta \left[\exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_0\vartheta h\rho_e}{\Pi} - t'_n - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi}a\gamma\beta \left[\Phi_0\left(\frac{\frac{L_0\vartheta h\rho_e}{\Pi} - t'_n - \gamma}{\beta}\right) - \phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right], \quad (9.6)$$

– для процесу відділення черв'яків від вермикомпосту:

$$\eta_6 = \frac{1}{2}a\beta \left[\exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_T}{v_0} - t'_n - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi}a\gamma\beta \left[\Phi_0\left(\frac{\frac{L_T}{v_0} - t'_n - \gamma}{\beta}\right) - \phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right]$$

$$\eta_6 = \frac{1}{2}a\beta \left[\exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_T\vartheta h\rho_e}{\Pi} - t'_n - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi}a\gamma\beta \left[\Phi_0\left(\frac{\frac{L_T\vartheta h\rho_e}{\Pi} - t'_n - \gamma}{\beta}\right) - \phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right]. \quad (9.6)$$

Для підтвердження достовірності математичних моделей процесів відділення черв'яків від вермикомпосту:

- закономірності переповзання дощових черв'яків з вермикомпосту в свіжий субстрат;
- закономірності занурення черв'яків, які знаходяться на поверхні вермикомпосту під дією світла, при оптимальних режимах роботи технічного засобу;
- закономірності відділення черв'яків від вермикомпосту під дією тепла проведено експериментальні дослідження.

Схема експериментальних досліджень для визначення оптимальних параметрів технологічного процесу відділення черв'яків прийнята у відповідності з матрицями планування експериментів (табл. 9.1.). Виходячи з мети досліджень, значимості вибраних параметрів, прийнято наступні межі їх вимірювання за рівнями (табл. 9.2.).

Таблиця 9.1 – Матриця планування експериментальних досліджень процесу занурювання дощових черв'яків у вермикомпост під дією світла (переповзання черв'яків з вермикомпосту під дією тепла).

№	T_0/T_{m2}	T_0/T_{0T}	v/h	№	T_0/T_{m2}	T_0/T_{0T}	v/h
1.	-1	-1	-1	15	0	0	+1
2	-1	-1	0	16	0	+1	-1
3	-1	-1	+1	17	0	+1	0
4	-1	0	-1	18	0	+1	+1
5	-1	0	0	19	+1	-1	-1
6	-1	0	+1	20	+1	-1	0
7	-1	+1	-1	21	+1	-1	+1
8	-1	+1	0	22	+1	0	-1
9	-1	+1	+1	23	+1	0	0
10	0	-1	-1	24	+1	0	+1
11	0	-1	0	25	+1	+1	-1
12	0	-1	+1	26	+1	+1	0
13	0	0	-1	27	+1	+1	+1
14	0	0	0				

Для вирішення поставлених завдань була виготовлена експериментальна установка. Вона призначена для проведення експериментальних досліджень з метою визначення технологічних режимів роботи обладнання для відділення черв'яків від вермикомпосту (субстрату) і сушіння вермикомпосту (рис. 9.5).

Установка включає такі основні вузли: відділювач черв'яків від вермикомпосту 1; сушильні камери 2, 3, 4; вентилятор 5; повітропровід 6; станина 7; пульт керування 8; охолоджувальну камеру 9; водопровід 10.

Відділювач черв'яків від вермикомпосту складається (рис. 9.6) з джерела зовнішнього впливу 1; ковпака 2; камери 3; ящика для вермикомпосту 4; повітропровода 5; піддона для збору черв'яків 7; охолоджувальної камери 8. Вентилятор призначений для продування повітрям. Керування проводиться за допомогою пульта керування.

Для вивчення процесу відділення черв'яків від вермикомпосту (рис. 9.6) в ящик 4, який має сітчасте дно з отворами 3×3 мм, засипають вермикомпост шаром заданої товщини. Піддон для збору черв'яків виготовлений з подвійним дном, де в камері 8 за допомогою водяного насоса циркулює холодна вода. Джерелом зовнішнього впливу 1 служать елек-тронагрівачі, які створюють високу температуру в камері 3, а також електрична лампочка з світлофільтрами для створення заданої освітленості на поверхні вермикомпосту. Для

підтримання заданої температури в камері 3 встановлено автоматичну систему керування роботою електронагрівачів з використанням ртутних термодатчиків ТК-15.

Для стимулювання переповзання черв'яків в піддон 7 (рис. 9.6) використовують водяне охолодження, де вода охолоджується в холодильній установці 9 (рис.9.5).

Дослідження процесу відділення черв'яків під дією світла і тепла проводилось з використанням експериментальної установки (див. рис. 9.5, 9.6). Вивчення процесів занурювання черв'яків у вермикомпост, а також відділення черв'яків від вермикомпосту, проводилось у відповідності з табл. 9.1, 9.2.

Таблиця 9.2 – Змінні фактори та їх рівні

Назва фактора, розмірність	Позначення	Значення		
		-1	0	+1
<i>Процес занурювання черв'яків у вермикомпост</i>				
1. Температура повітря, °C	T_o	10	20	40
2. Температура верми-компосту, °C	T_{ϵ}	5	16	25
3. Освітленість, лк	ν	50	200	800
4. Тривалість, хв	t_0	3	3	3
<i>Процес переповзання черв'яків з вермикомпосту</i>				
1. Температура повітря, °C	T_{m2}	60	80	100
2. Температура верми-компосту, °C	T_{0T}	10	15	25
3. Товщина шару вермикомпосту, мм	h	15	30	45
4. Тривалість, хв	t_{ϵ}	80	80	80

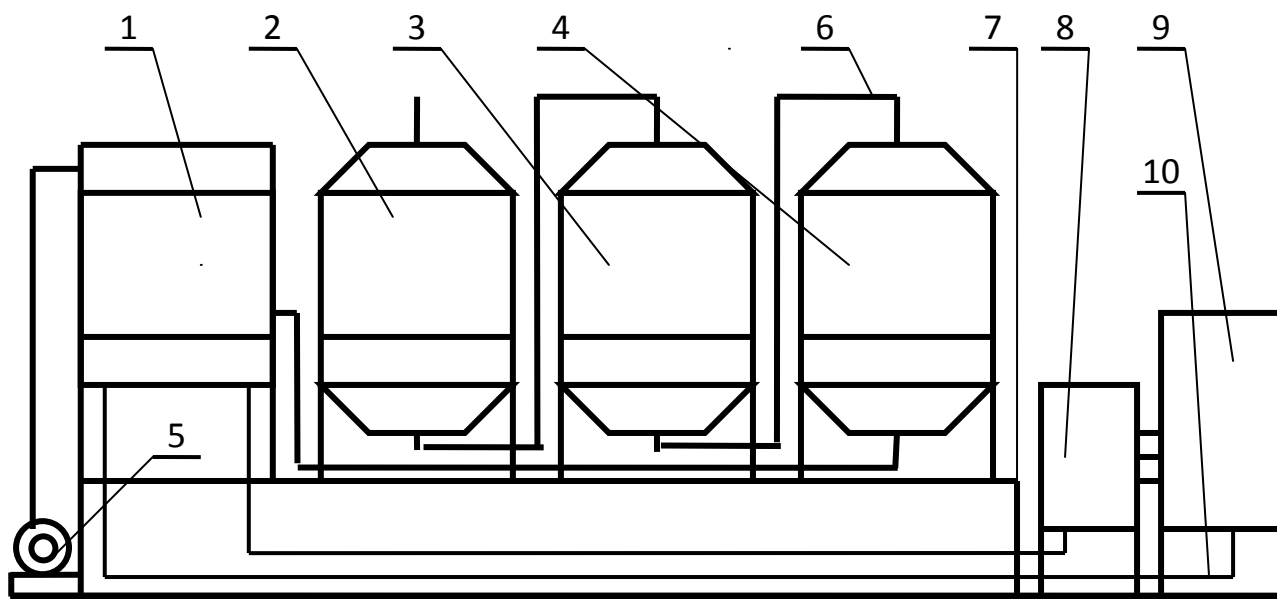


Рис. 9.5. Схема установки для проведення експериментальних досліджень:

1 - відділювач черв'яків від вермикомпосту; 2, 3, 4 - сушильні камери; 5 – вентилятор; 6 - повітропровід; 7 - станина; 8 - пульт керування; 9 - холодильна установка; 10 – водопровід.

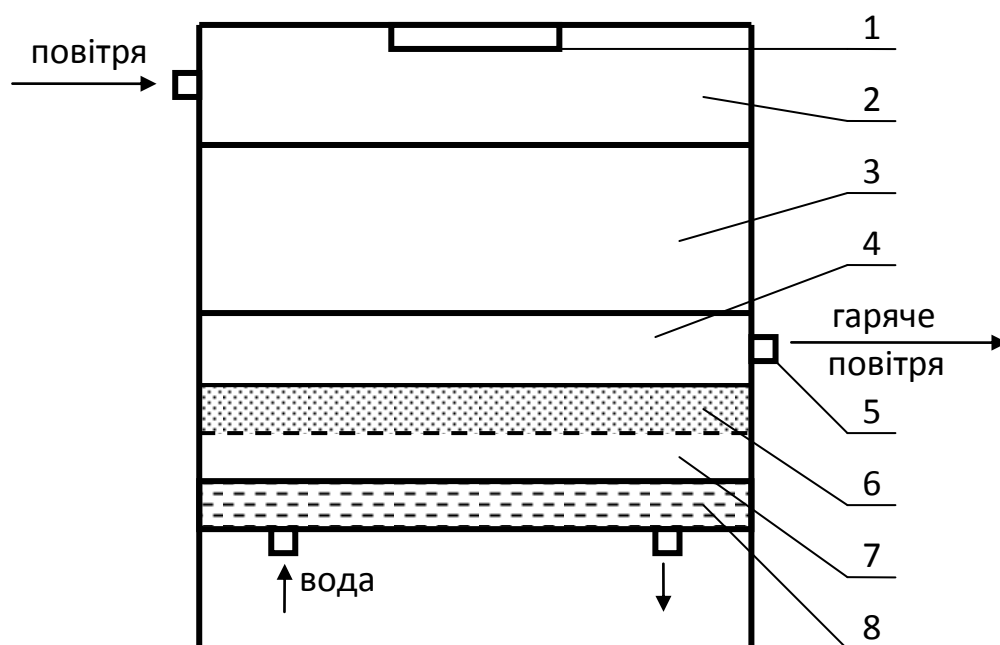


Рис. 9.6 - Схема відділювача черв'яків від вермикомпосту:

1 – джерело зовнішнього впливу (нагрівач, освітлювальний пристрій); 2 – ковпак; 3 – камера; 4 – ящик для вермикомпосту; 5 – повітропровід; 6 –

вермикомпост; 7 – піддон для збирання черв'яків ; 8 – камера для водяного охолодження.

Вивчення процесу занурювання черв'яків у вермикомпост.

Вермикомпост без черв'яків засипали в ящик для вермикомпосту 4 (рис. 9.6). На поверхні вермикомпосту розмістили 100 черв'яків, після чого ящик помістили в камеру 3, де за допомогою джерела зовнішнього впливу 1 (нагрівача і освітлювального пристрою) встановили задані фактори: освітленість і температуру. Під дією цих факторів черв'яки занурюються у вермикомпост. Через 3 хв від початку опромінення (табл. 9.2), проводили підрахунок черв'яків, які залишились на поверхні. Ступінь занурювання черв'яків визначали за формулою (9.68):

$$\eta_3 = \frac{M_r - M_0}{M_r}, \quad (9.68)$$

де M_r – кількість черв'яків, які були розміщені на поверхні вермикомпосту, шт; M_0 – кількість черв'яків, які залишились на поверхні, шт.

Вивчення процесу відділення черв'яків від вермикомпосту.

Вермикомпост без черв'яків, засипали в ящик 4 (рис. 9.6). На поверхні вермикомпосту розмістили 100 черв'яків і після того, як вони занурились, ящик помістили в камеру 3, де за допомогою нагрівачів встановили задану температуру середовища. Під ящиком з вермикомпостом встановили піддон для збирання черв'яків 7. Під дією тепла вермикомпост нагрівається, і черв'яки з вермикомпосту переповзають в піддон 7. Через 80 хв (табл. 9.2) проводили підрахунок черв'яків, які знаходяться в піддоні 7. Ступінь їх відділення визначили за формулою (9.51).

Для вивчення впливу температури вермикомпосту на інтенсивність процесу відділення за результатами експериментальних досліджень побудовано графіки $\eta_3(T_e)$, $\eta_6(T_e)$, за якими визначено оптимальну температуру вермикомпосту 15-25 °C (рис. 9.7, 9.8).

Графічним методом визначили оптимальні параметри процесу відділення: температуру повітря в освітлювальній камері і термокамері, освітленість, товщину шару вермикомпосту.

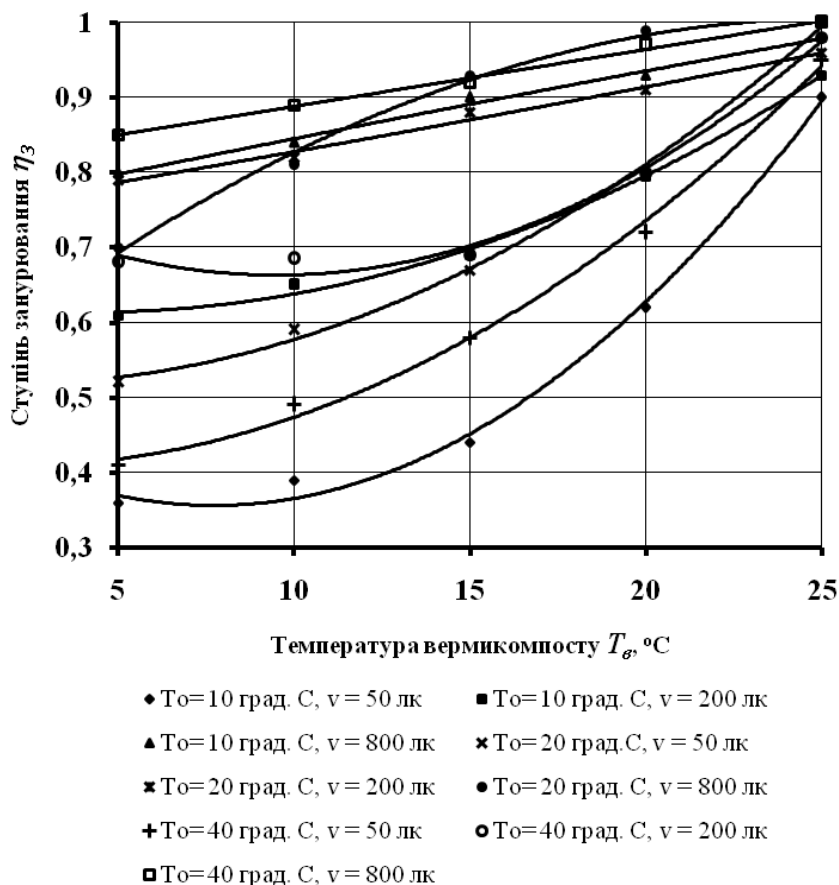


Рис. 9.7. Залежність ступеня занурювання η_z від температури вермикомпосту $T_c, t = 3$ хв.

Для визначення коефіцієнтів α, β, γ математичних моделей (9.64), (9.65) експериментальні дослідження проводили аналогічно методиці, поданій вище, тільки режим роботи експериментальної установки задавався оптимальними факторами. Коефіцієнт занурювання визначали періодично через 2 хвилини, а коефіцієнти відділення визначали з періодом в 20 хвилин. Використовуючи програмне забезпечення MS Excel., визначали коефіцієнт α, β, γ .

Експеримент проводили в п'ятикратній повторності, що забезпечує похибку $\pm 2\sigma$ при довірчій ймовірності 0,99.

За результатами експериментальних досліджень на трьох рівнях керованих факторів $T_0 = 10, 20, 40$ °C, $\nu = 50, 200, 800$ лк, $T_{m2} = 60, 80, 100$ °C, $h = 15, 30, 45$ мм при тривалості занурення черв'яків у вермикомпост $t_3 = 3$ хв і тривалості процесу відділення $t_B = 1,33$ год, використавши програмне забезпечення «Синтез математичних моделей (TSOM) для опису та прогнозування властивостей складних технологічних систем» отримано числові моделі (9.69), (9.70) з вихідними параметрами $\eta_3(T_0, \nu)$, $\eta_6(T_{m2}, h)$:

$$\eta_3 = \frac{-109,5415}{T_0 \cdot \nu} - 0,1243 \frac{T_0}{\nu} + 0,9401; \quad (9.69)$$

$$\eta_6 = -0,4368 \frac{T_{m2}}{h} - 3,7204 \frac{h}{T_{m2}} + 3,5334. \quad (9.70)$$

Відповідність отриманих моделей експериментальним значенням підтверджується середньоквадратичною похибкою на досліджуваній множині:

- для процесу занурення черв'яків у вермикомпост – 0,4%,
- для процесу відділення черв'яків від вермикомпосту – 1,1%, а також середньоквадратичною похибкою на контрольній множині для процесу занурювання черв'яків у вермикомпост – 0,1%, для процесу відділення черв'яків від вермикомпосту – 1,1%. Поверхні відгуку $\eta(T_{m2}, h)$ (рис. 9.9 а), $\eta_3(T_0, \nu)$ (рис. 9.9 б) мають випуклий характер з зоною максимуму $T_0 = 20$ °C, $\nu = 200$ лк, $T_{m2} = 80$ °C, $h = 30$ мм.

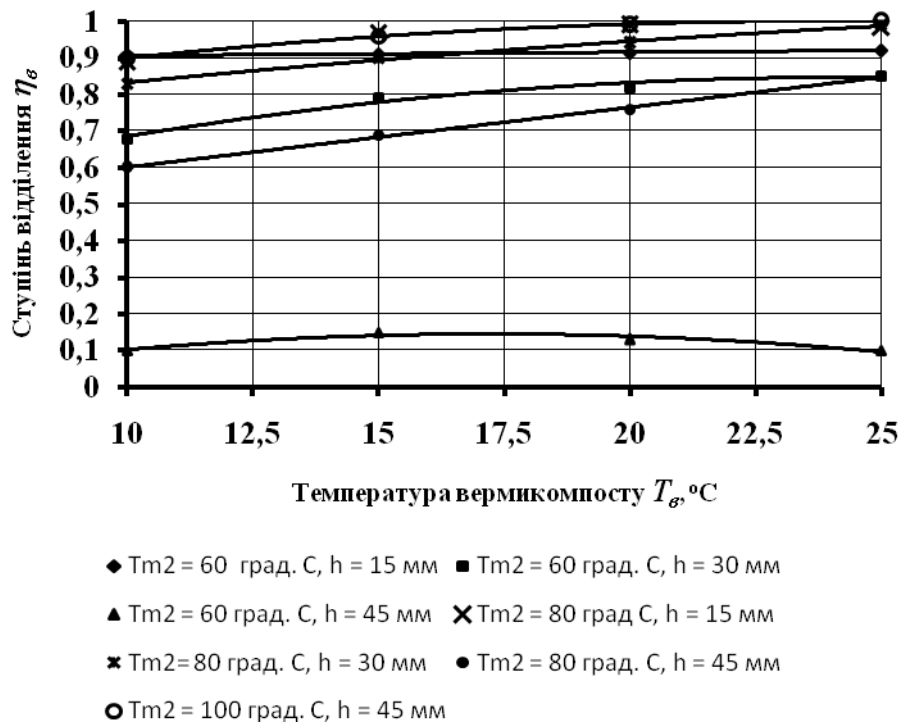


Рис. 9.8. Залежності ступеня відділення η_e від температури вермикомпосту T_g :

Використовуючи двомірні січення (рис. 9.9 в,г), встановлено, що найбільш раціональними режимами роботи відділювача черв'яків є $T_o = 20-30$ $^\circ\text{C}$, $\nu = 200-300$ лк, $T_{m2} = 80-90$ $^\circ\text{C}$, $h = 30-35$ мм, при яких забезпечується оптимум η_3 і η_e .

Результати експериментальних досліджень технологічного процесу відділення черв'яків від вермикомпосту на оптимальних режимах роботи технічного засобу побудовано емпіричні залежності $\eta_3 = F_e(t)$, $d\eta_3/dt = f_e(t)$ (рис. 9.10), $\eta_e = F_e(t)$, $d\eta_e/dt = f_e(t)$ (рис. 9.11) за якими аналітично визначено коефіцієнти a , γ , β . Для процесу занурювання черв'яків в вермикомпост $a = 3,8 \times 10^{-13}$, $\gamma = 25,6$, $\beta = -20,8$. Для процесу відділення черв'яків $a = 0,11$, $\gamma = 0,14$, $\beta = 0,17$. З урахуванням залежностей (9.64, 9.65), математичні моделі цих процесів будуть мати вигляд:

для процесу занурювання:

$$f(t) = \frac{d\eta_3}{dt} = 3,8 \cdot 10^{-13} t \exp \left\{ -\frac{(t - 25,6)^2}{-20,8} \right\}$$

$$F(t) = \eta_3 = 3,9 \cdot 10^{-12} \left(\exp \{31\} - \exp \left\{ -\frac{(t - 25,6)^2}{-20,8} \right\} \right) +$$

$$+ 2 \cdot 10^{-10} \sqrt{2\pi} \left[\Phi_0 \left(\frac{t - 25,6}{-20,8} \right) - \Phi_0(1,23) \right] \quad (9.71)$$

для процесу відділення:

$$f(t) = \frac{d\eta_e}{dt} = 0,11t \exp \left\{ -\frac{t-0,14}{0,17} \right\}$$

$$F(t) = \eta_e = 7,7 \cdot 10^{-3} (\exp \{-0,82\} - \exp \left\{ -\frac{(t-0,14)^2}{0,17} \right\}) +$$

$$+ 0,26\sqrt{2\pi} \left[\Phi_0 \left(\frac{t-0,14}{0,17} \right) - \Phi_0(-0,12) \right] \quad (9.72)$$

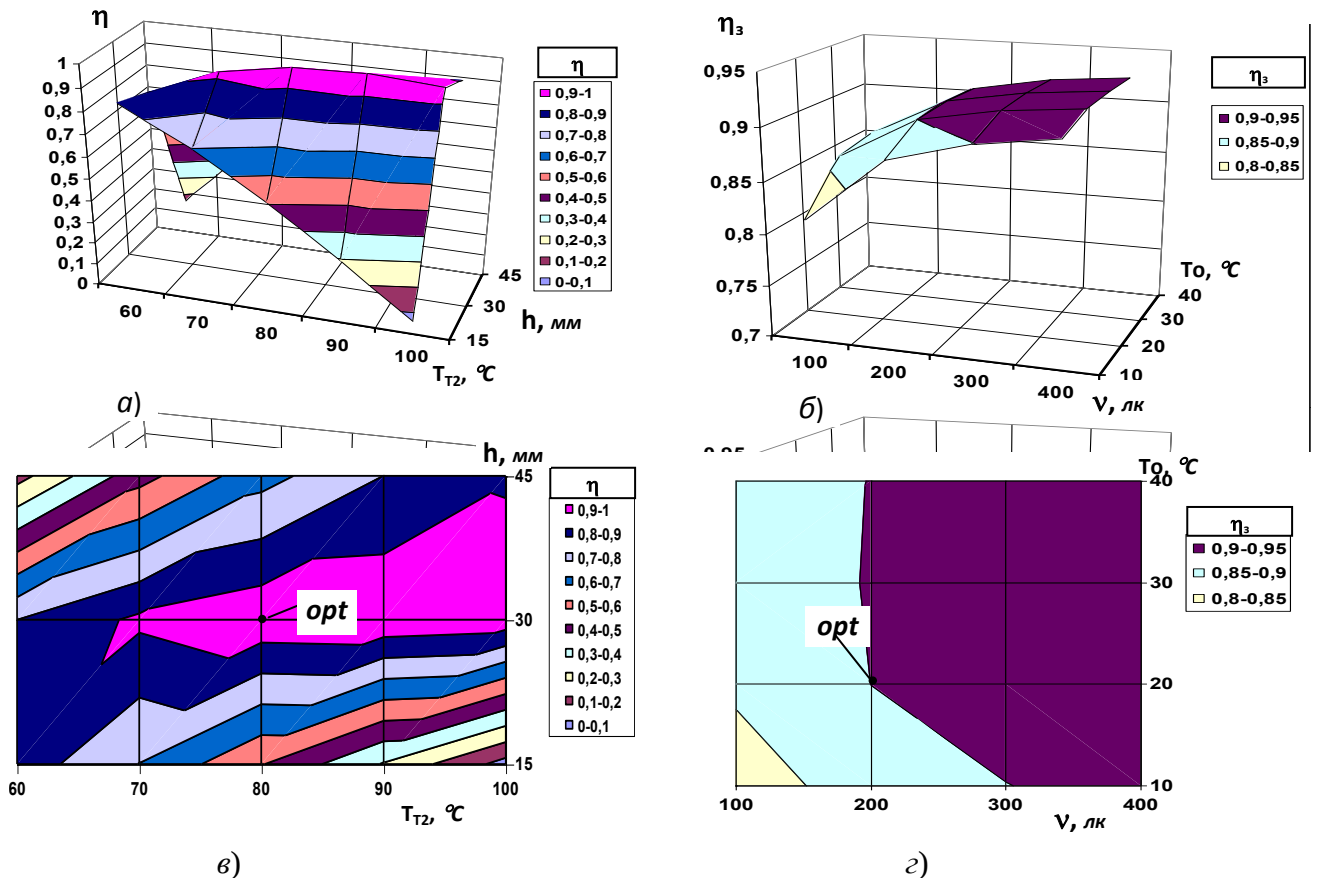


Рис. 9.9. Поверхні відгуку показників якості відділення черв'яків від вермикомпосту:

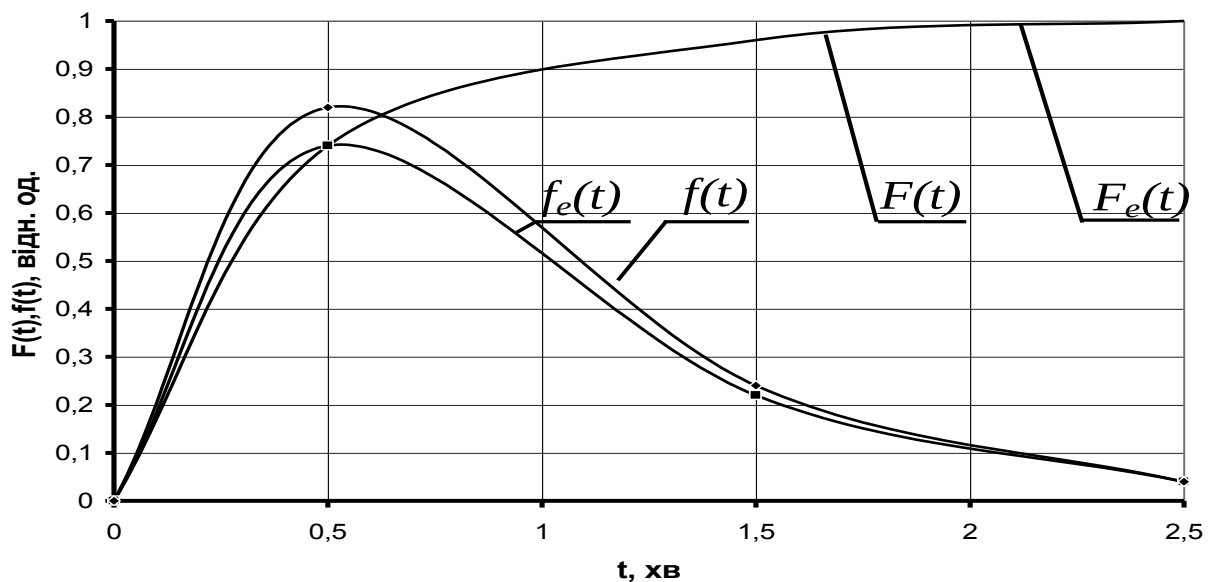
а – ступеня відділення черв'яків від вермикомпосту; б – ступеня занурення черв'яків у вермикомпост; в, г – їх двовірні січення з визначеними зонами оптимальних розмірів роботи (opt).

Теоретичні криві, які характеризують процеси відділення черв'яків від вермикомпосту за допомогою технічного засобу побудовані з використанням математичних моделей (9,71-9,72) і показані на рис 9.10, 9.11.

Дослідженнями встановлено (рис. 9.10, 9.11), що оптимальні параметри η_3 і η_e знаходяться в межах 0,9-0,95 і досягаються при освітленості поверхні вермикомпосту $\nu = 200-300$ лк, $T_e = 15-25$ °C, $T_o = 20-30$ °C за $t_o = 1,5$ хв, при

температурі в термокамері $T_{m2} = 80-90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\theta} = 15-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 30-35\text{ мм}$ за $t_B = 1,1-1,3\text{ год}$.

На підставі результатів експериментальних досліджень і на основі емпіричних і теоретичних кривих (рис. 9.10, 9.11) можна зробити висновок, що математичні моделі (9.64), (9.65), функціонально описують з необхідною точністю $\pm 2\%$ ($\Delta \eta_{\text{зmax}} = 0,001 < 0,050$, $\Delta \eta_{\text{вmax}} = 0,070 < 0,074$) і довірчій імовірності 0,99 технологічні процеси відділення дощових черв'яків від вермикомпосту. $\Delta \eta_{\text{зmax}}$ і $\Delta \eta_{\text{вmax}}$ – визначає максимальну різницю між значеннями ступенів занурювання і відділення отриманих експериментальним шляхом за формулами (9.71), (9.72).



$\eta_3 = F_e(t)$, $\eta_3 = F(t)$, і функції інтенсивності занурювання черв'яків у вермикомпост $d \eta_3 / d t = f_e(t)$, $d \eta_3 / d t = f(t)$ від тривалості процесу:

$F_e(t)$, $f_e(t)$ - емпіричні функції; $F(t)$, $f(t)$ - теоретичні функції.

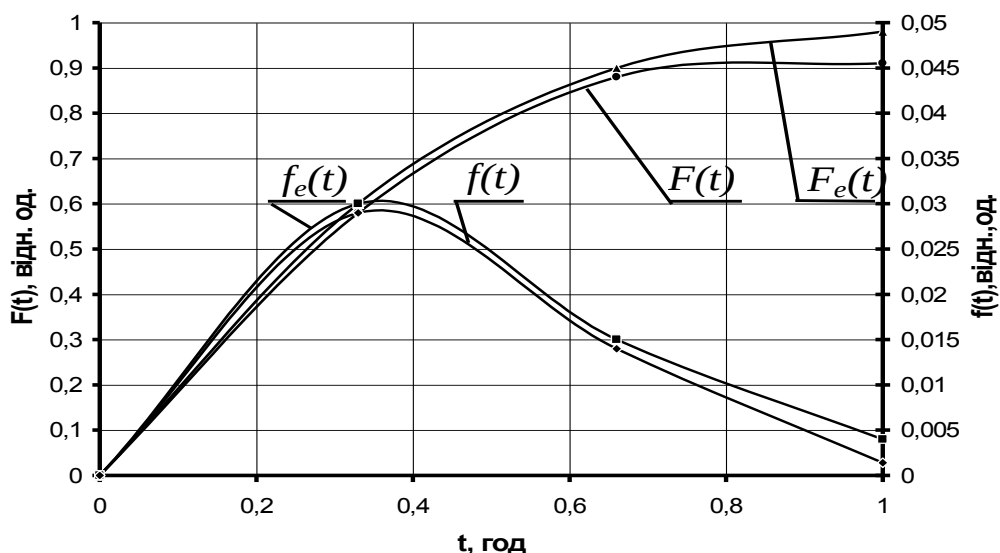


Рис. 9.11. Залежність коефіцієнта відділення $\eta_e = F_e(t)$, $\eta_e = F(t)$ і функція

інтенсивності відділення черв'яків від вермикомпосту $d\eta_e/dt = f_e(t)$, $d\eta_e/dt = f(t)$ від тривалості процесу:

$F_e(t)$, $f_e(t)$ - емпіричні функції; $F(t)$, $f(t)$ - теоретичні функції.

На основі формул (9.64-9.67), (9.71), (9.72) отримано функціональні залежності η_3 і η_e від L_0 , L_T , v , h , Π , ν_0 :

$$F(t) = \eta_3 = 3,9 \cdot 10^{-12} \left(\exp\{31\} - \exp \left\{ - \frac{\left(\frac{L_0}{60\nu_0} - 25,6 \right)^2}{-20,8} \right\} \right) +$$

$$+ 2 \cdot 10^{-10} \sqrt{2\Pi} \left[\Phi_0 \left(\frac{\frac{L_0}{60\nu_0} - 25,6}{-20,8} \right) - \Phi_0(1,23) \right]; \quad (9.73)$$

$$F(t) = \eta_e = 7,7 \cdot 10^{-3} (\exp\{-0,82\} - \exp \left\{ - \frac{\left(\frac{L_T}{3600\nu_0} - 0,14 \right)^2}{0,17} \right\} +$$

$$+ 0,26 \sqrt{2\Pi} \left[\Phi_0 \left(\frac{\frac{L_T}{3600\nu_0} - 0,14}{0,17} \right) - \Phi_0(-0,12) \right] \quad (9.74)$$

$$F(t) = \eta_3 = 3,9 \cdot 10^{-12} \left(\exp\{31\} - \exp \left\{ - \frac{\left(\frac{L_0 e h \rho_e}{60\Pi} - 25,6 \right)^2}{-20,8} \right\} \right) +$$

$$+ 2 \cdot 10^{-10} \sqrt{2\Pi} \left[\Phi_0 \left(\frac{\frac{L_0 e h \rho_e}{60\Pi} - 25,6}{-20,8} \right) - \Phi_0(1,23) \right]; \quad (9.75)$$

$$F(t) = \eta_e = 7,7 \cdot 10^{-3} (\exp \{-0,82\} - \exp \left\{ -\frac{(\frac{L_T v h \rho_e}{3600 \Pi} - 0,14)^2}{0,17} \right\} +$$

$$+ 0,26 \sqrt{2 \Pi} \left[\Phi_0 \left(\frac{\frac{L_T v h \rho_e}{3600 \Pi} - 0,14}{0,17} \right) - \Phi_0(-0,12) \right] \quad (9.76)$$

За формулами (9.73-9.76) побудовано графіки з вихідними параметрами $\eta_3 (L_0, v_0)$, $\eta_e (L_T, v_0)$, а також двовірні перетини парних взаємодій L_0, v_0, L_T, v_0 на η_3 і η_e (рис. 9.12). Також встановлено, що для кожного заданого значення L_0 , L_T відповідає мінімальне і максимальне значення, v_{0min} , v_{0max} , при якому забезпечується оптимум $\eta_3 = \eta_e = 0,90-0,95$. Для обґрунтування значень L_0, L_T , а також v_{0min}, v_{0max} використано систему рівнянь (9.77):

$$\begin{cases} \Pi_{min} = v_{0min} \cdot v \cdot h \cdot \rho \\ \Pi_{max} = (v_{0min} + \Delta v_0) \cdot v \cdot h \cdot \rho \end{cases} \quad (9.77)$$

де Π_{min}, Π_{max} – раціональні значення продуктивності відділювача, $\Pi_{min} = 0,139$ кг/с (500 кг/год), $\Pi_{max} = 0,278$ кг/с (1000 кг/год), див. табл. 9.5; $\Delta v_0 = v_{0max} - v_{0min} = 0,0035$ м/с (12,5 м/год), див. рис. 3.23 з; $h = 0,03$ м; $\rho = 670$ кг/м³ (табл. 8.30).

Розв'язком даної системи відносно v і v_{0min} є оптимальні значення $v_{opt} = 2$ м, а також раціональні значення: $v_{0min} = 0,0035$ м/с (12,5 м/год), $v_{0max} = 0,007$ м/с (25 м/год).

За рис. 9.12 v, z визначено оптимальну довжину освітлювальної і термокамери $L_{0 opt} = 0,4$ м, $L_{T opt} = 30$ м.

Залежність $L_0 (v)$ і $L_T (v)$ (9.25, 9.27), при $\Pi = 0,139$ кг/с, $0,278$ кг/с, $h = 0,03$ м, $\rho_e = 550$ кг/м³, $t_o = 90$ с, $t_n = 4680$ с, показана на рис. 9.13.

За формулою (9.38) встановлено, що на величину швидкості поперечного транспортера для видалення черв'яків суттєво впливають довжина стрічки поперечного транспортера від місця виходу його з води до конвеєра L'_{Tp} і маси захваченої води стрічкою транспортера в розрахунку на 1 м² стрічки Δm_e .

Графічним методом $v_n (L'_{Tp}, \Delta m_g)$ (рис. 9.14) в межах варіювання $L'_{Tp} = 0-10$ м з інтервалом 2 м і $\Delta m_g = 0,050-0,500$ кг/м² з інтервалом 0,050 кг/м² визначено раціональні значення довжини стрічки поперечного транспортера від місця виходу його з води до конвейєра – $L'_{Tp} = 1,5-2$ м, масу захопленої води в розрахунку на одиницю площі стрічки транспортера – $\Delta m_g = 0,25-0,4$ кг/м², при яких швидкість поперечного транспортера – $v_n = 0,01-0,015$ м/с (36-58 м/год).

При роботі відділювача на режимах з продуктивністю 0,139-0,278 кг/с (по вермикомпосту) на основі отриманих результатів досліджень за формулами (9.48-9.50) визначено, що для підтримання температури в термокамері 80-90°C питомі витрати тепла складають $g_{пк} = 19,371-36,107$ кДж/с, витрати гарячого повітря $L = 1,9-3,6$ м³/с, коефіцієнт корисної дії термокамери $\eta_K = 0,82-0,88$, де вихідними даними для розрахунків прийнято: $C_0 = 2933$ Дж/кг·К, $C_B = 4190$ Дж/кг·К, $\omega_1 = 70\%$, $\omega_2 = 60\%$, $T_2 = 333$ К, $T_{om} = 293$ К, $\lambda = 0,065$ Вт/м²·К (скловата), $\delta = 0,1$ м, $T_{m2} = 353$ К, $T_{nc} = 298$ К, $F = 70$ м², $I_1 = 85000$ Дж/м³; $I_2 = 75000$ Дж/м³, $\eta_n = 0,95$.

9.2.5. Методика інженерного розрахунку відділювача черв'яків від вермикомпосту.

Для розрахунку параметрів відділювача приймаються такі вихідні дані:

- товщина шару вермикомпосту, субстрату (далі субстрату), $h = 0,030-0,035$ м;
- температура в термокамері, $T_{m2} = 288-298$ К (15-25 °C);
- освітленість в освітлювальній камері, $\nu = 200-300$ лк;
- температура в освітлювальній камері, $T_o = 288-298$ К (15-25 °C);
- ширина шару вермикомпосту, b (м) – приймається з конструкторських міркувань;
- допустиме значення ступеня занурювання – $\eta_z = 0,90-0,95$ (90-95%);

- допустиме значення ступеня відділення – $\eta_e = 0,90-0,95$ (90-95%);
- об'ємна маса субстрату, – $P_e = 550-670$ кг/м³;
- коефіцієнт тепловіддачі від повітря до води – α_B (Вт/м К) – визначається з довідникових матеріалів;
- довжина стрічки поперечного транспортера від місця виходу його з води до конвеєра, $L'_{Tp} = 1,5-2,0$ м;
- початкова температура вермикомпосту – $T_B = 288-293$ К (15-20 °С);
- температура стрічки транспортера на виході з під конвейєра $T_{B2} = 293-303$ К (15-20 °С);
- питома теплоємність води, C_B (Дж/кг град) – визначається з довідникових матеріалів;

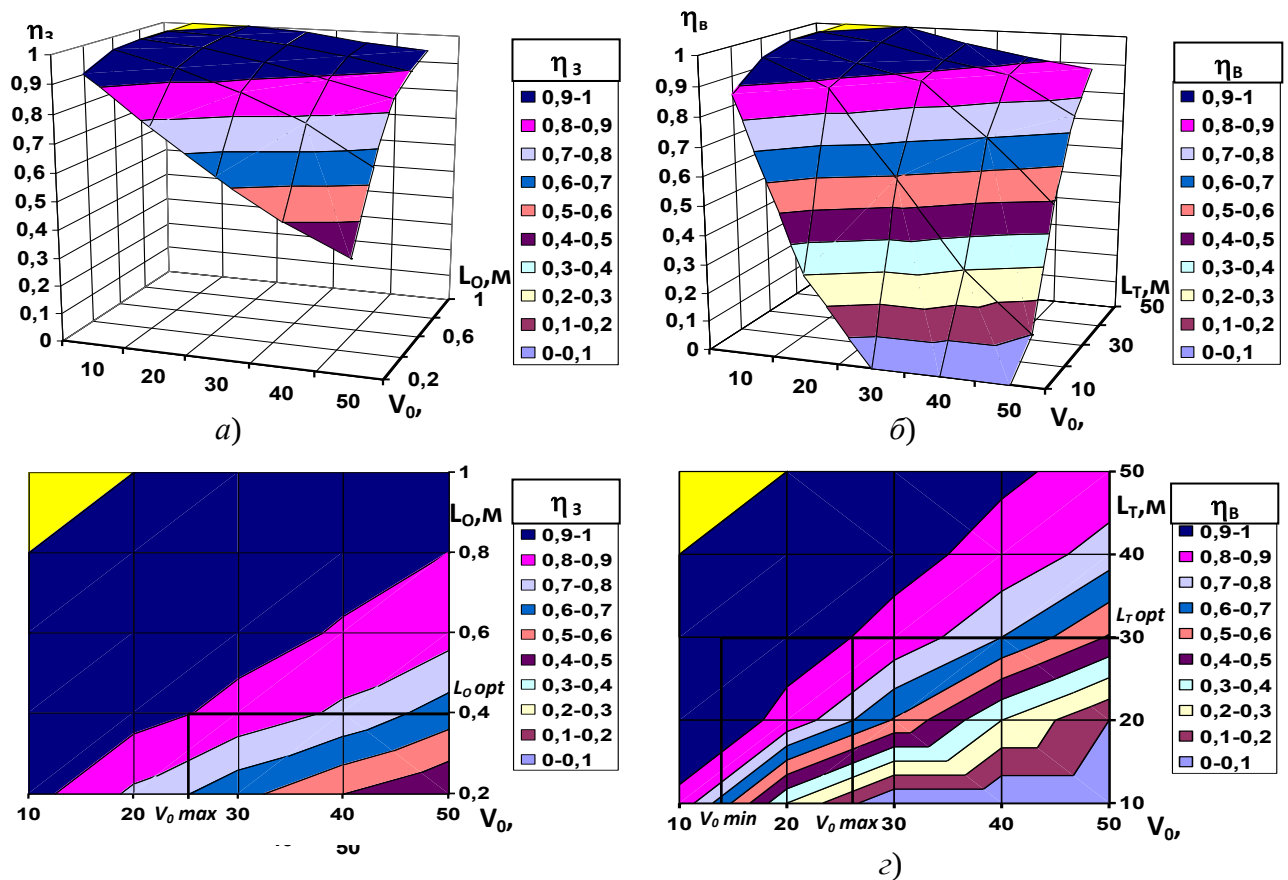


Рис. 9.12. Графіки залежностей: а – $\eta_z (L_0, v_0)$; б – $\eta_e (L_T, v_0)$; в, г – їх двомірні перетини парних взаємодій L_0, v_0 ; L_T, v_0 на η_z і η_e .

- маса захваченої води стрічкою транспортера в розрахунку на 1 м^2 стрічки, Δm_e (кг/м^2) – визначається експериментальним шляхом і залежить від матеріалу стрічки ($\Delta m = 0,20 - 0,35 \text{ кг/м}^2$);
- питома теплоємність сухого субстрату C_0 (Дж/кг град) – визначається з довідникових матеріалів;
- вологість субстрату, $\omega_1 = 70\text{-}80\%$;
- вологість субстрату після проходження термокамери, $\omega_2 = 60\text{-}70\%$;
- температура вермикомпосту на виході з термокамери, $T_2 = 333 - 343 \text{ К}$ ($60 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$);
- коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу, λ ($\text{Вт/м}^2\text{К}$) – визначається з довідникових матеріалів;
- товщина ізоляційного матеріалу, δ (м) – значення залежить від матеріалу;
- тепловміст повітря на вході в термокамеру, I_1 (Дж/м^3) – визначається з довідникових матеріалів, значення параметра залежить від температури повітря;
- тепловміст повітря на виході з термокамери, I_2 (Дж/м^3) – визначається з довідникових матеріалів;
- тепловміст атмосферного повітря, I_0 (Дж/м^3) – визначається з довідникових матеріалів;

Швидкість поперечного транспортера визначається за формулою (9.38).

Питомі витрати тепла і гарячого повітря, які необхідні для відділення дощових черв'яків від вермикомпосту тепловим впливом, визначається, відповідно, за формулами (9.48), (9.49). Коефіцієнт корисної дії термокамери визначається за формулою (9.50).

Розрахунок відділювача продуктивністю більше 1000 кг/год проводиться в наступній послідовності.

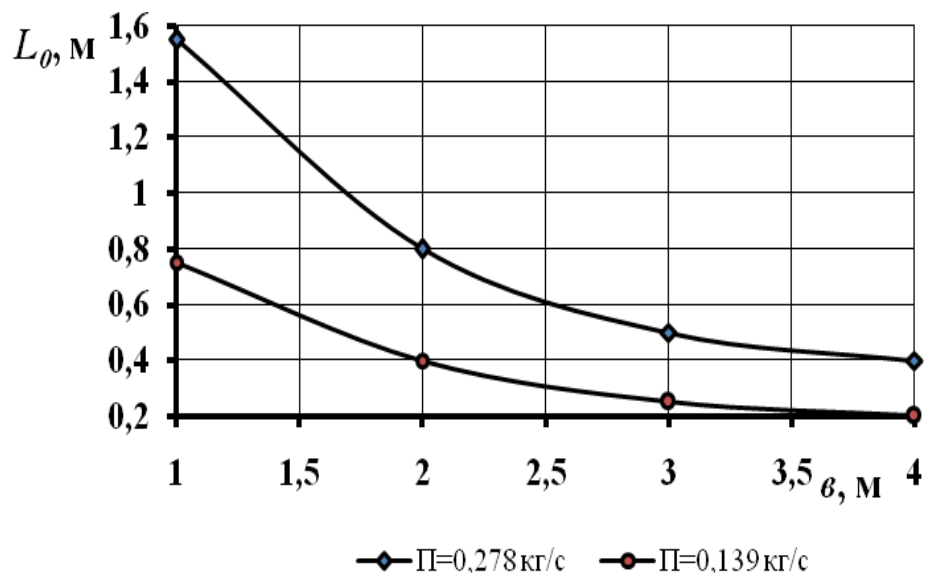
Тривалість впливу світлом t_0 на черв'яків, які знаходяться на поверхні вермикомпосту, для їх занурювання в вермикомпост, визначається за графіком рис. 9.10. При цьому приймається значення коефіцієнта занурювання η_3 .

Тривалість температурного впливу t_H на вермикомпост для прийнятого значення коефіцієнта відділення η_e визначається за графіком рис. 9.11.

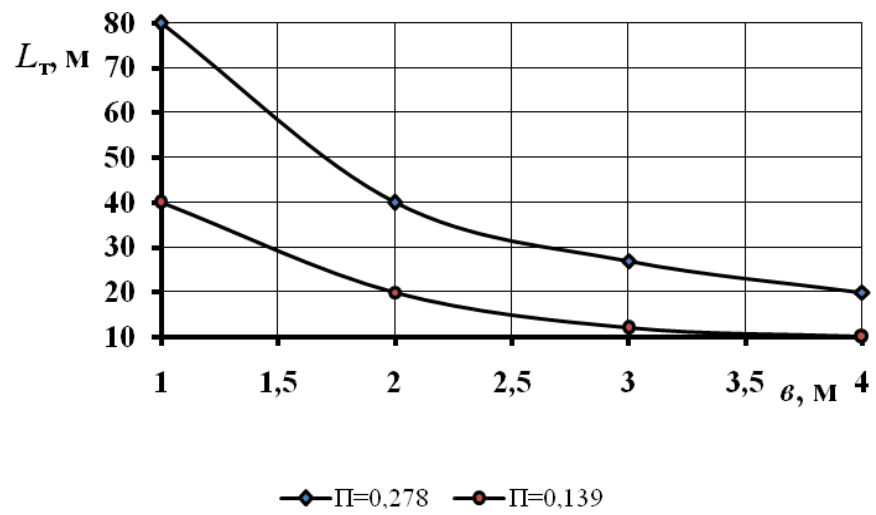
Тоді визначається довжина освітлювальної і термокамери відповідно за формулами (9.25), (9.27).

Швидкість руху конвейєра визначається за формулою (9.24).

Для відділювача дощових черв'яків від вермикомпосту з оптимальною продуктивністю 0,139-0,278 кг/с (500-1000 кг/год по вермикомпосту) ширина конвейєра $b = 2,0$ м, довжина освітлювальної камери $L_o = 0,4$ м, довжина термокамери $L_T = 30$ м. Для забезпечення ступеня відділення черв'яків 90-95% відділювач повинен забезпечувати режими роботи при швидкості конвейєра $v_0 = 0,0035$ -0,0070 м/с (12,5-25,0 м/год).

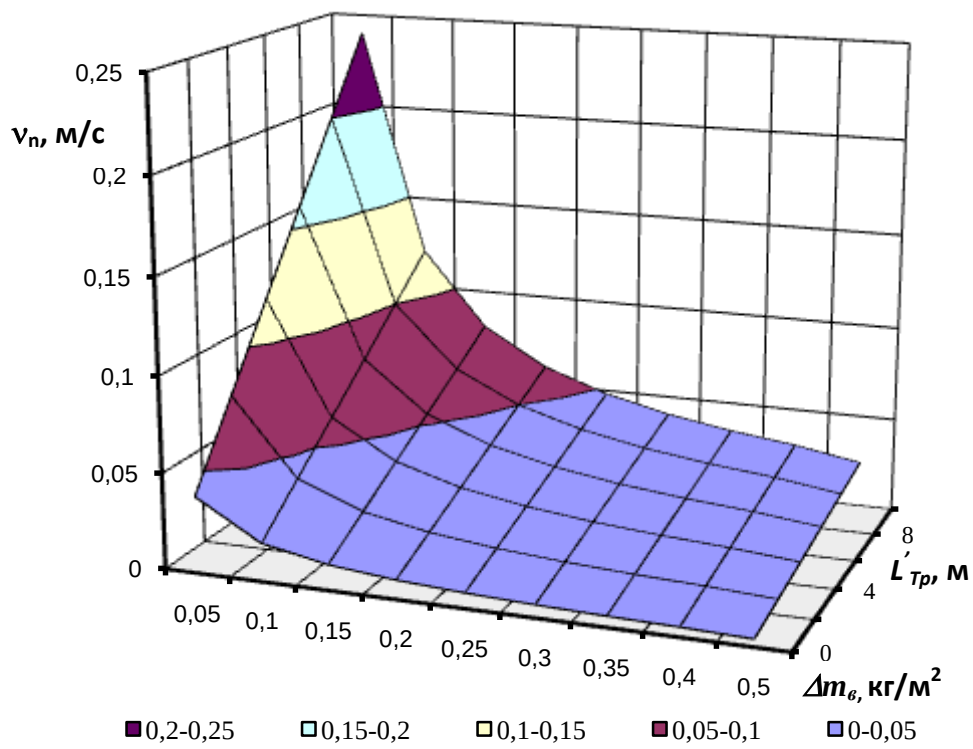


a



б

Рис. 9.13. Залежності довжини освітлювальної (а) і термокамери (б) від ширини конвеєра



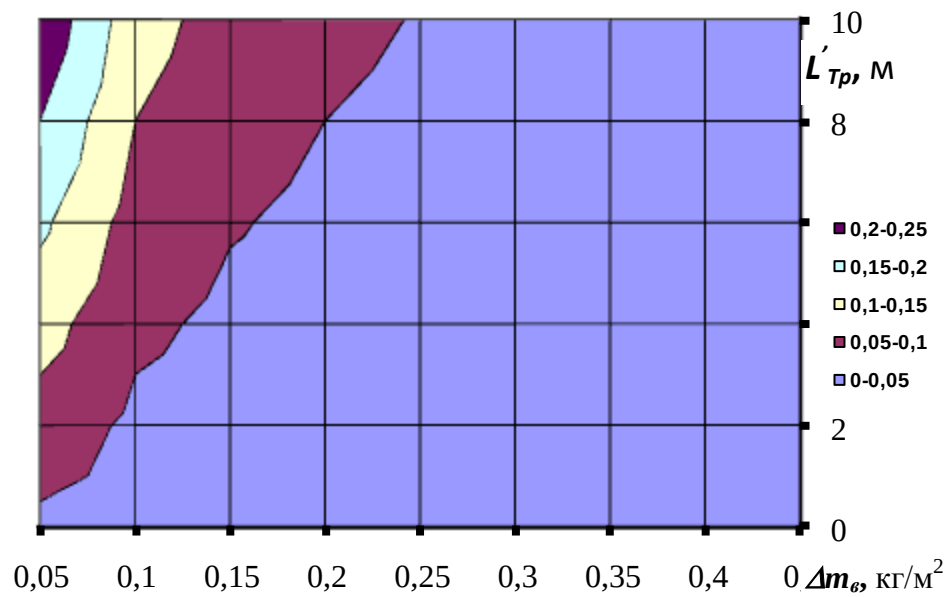


Рис. 9.14. Залежності v_n (L'_{Tp} , Δm_6) і їх двомірні перетини парних взаємодій.

9.2.6. Відділення дощових черв'яків від вермикомпосту за методом нанесення шару свіжого субстрату на поверхню бурта з дозрілим вермикомпостом.

Дослідження процесу переповзання черв'яків з дозрілого вермикомпосту в свіжий субстрат проводилось на одному фоні: де на поверхню шару вермикомпосту висотою 0,5 м і площею поверхні – 2 м² з вологістю – 76,4%, вмістом черв'яків 3,4% від загальної маси вермикомпосту і вмістом копролітів – 67,2% було нанесено шар субстрату товщиною 0,1 м і вологістю 82%, приготовленого з гною ВРХ, в якому вміст соломи становив 50% і який пройшов ферментування протягом 3-х місяців. Визначення ступеня вмісту черв'яків у вермикомпості після нанесення шару субстрату проводилось в п'яти повторностях з періодичністю 2 доби, що забезпечує граничну похибку $\pm 2\sigma$ при довірчій імовірності 0,99 [144] з використанням методу кількісного обліку черв'яків [234]. Цей метод реалізують на облікових майданчиках (рис. 9.15) за допомогою пробника (див. рис. 9.16).

Для взяття проби у вибраному місці пробник занурюють у вермикомпост до дна бурта, а потім обережно виймають разом із взятою пробою (рис. 9.16).

Ступінь вмісту черв'яків у вермикомпості визначають за формулою (9.78):

$$\xi_i = \frac{M_{ri}}{M_{\theta}} \cdot 100\%, \quad (9.78)$$

де ξ_i – ступінь вмісту дощових черв'яків у i -тій пробі, %; M_{ri} – маса черв'яків в пробі, кг; M_{θ} – маса проби з черв'яками, кг.

Виходячи з формули (9.51), ступінь відділення черв'яків визначали за формулою:

$$\eta_{ui} = \frac{\xi_0 - \xi_i}{\xi_0} \cdot 100\%. \quad (9.79)$$



Рис 9.15. Вигляд поверхні бурта з вермикомпостом.

Інтенсивність відділення визначалась за формулою:

$$\frac{d \eta_i}{d t} = \frac{\Delta \eta_i}{\Delta t} = \frac{\eta_{i+1} - \eta}{t_{in} - t_i}, \quad (9.80)$$

де Δt – проміжок часу, діб.

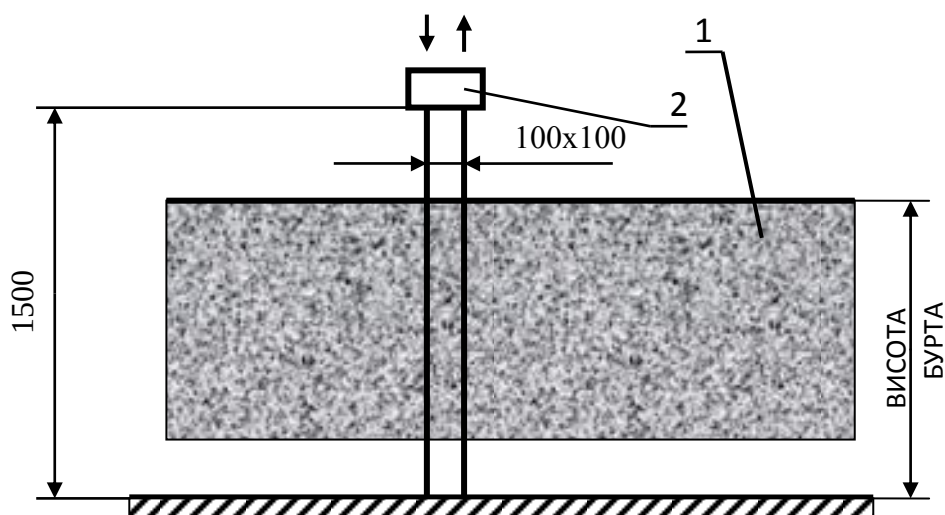


Рис 9.16. Схема відбору проб за допомогою пробника:
1 – бурт з вермикомпостом; 2 – пробник.

Середні значення показників, отриманих в результаті експериментального вивчення процесу відділення дощових черв'яків від вермикомпосту методом нанесення на поверхню бурта свіжого субстрату при температурі навколишнього середовища 19 – 20 °С .

В результаті досліджень отримані емпіричні залежності коефіцієнта відділення від тривалості процесу $\eta = F_e(t)$ і інтенсивності відділення дощових черв'яків від вермикомпосту. $d\eta/dt = f_e(t)$ (рис. 9.17):

За допомогою програмного забезпечення MS EXCEL визначено параметри α, β, γ математичних моделей (9.64), (9.65),: $\alpha = 0,12$, $\gamma = 2,16$, $\beta = 4,03$. Після чого підставивши значення коефіцієнтів в формули (9.64 і 9.65) отримали теоретичні залежності ступеня відділення і інтенсивності відділення від часу.

$$f(t) = \frac{d\eta}{dt} = 0,12t \exp\left\{-\frac{(t-2,16)^2}{4,03}\right\} \quad (9.81)$$

$$F(t) = \eta = 0,24 \left(\exp\{-1,15\} - \exp\left\{-\frac{(t-2,16)^2}{4,03}\right\} \right) + \\ + 1,4\sqrt{2\pi} \left[\Phi_0\left(\frac{t-2,16}{4,03}\right) - \Phi_0(-0,53) \right] \quad (9.82)$$

Адекватність емпіричних і теоретичних залежностей ступеня відділення від тривалості процесу $\eta = F_e(t)$ і $\eta = F(t)$ підтверджується тим, що максимальне відхилення значень даних функцій не перевищує значення похибки експерименту $\pm 2\sigma$; $\Delta \eta_{\max} = 0,022 < 0,034$. Звідси можна зробити висновок, що залежності (9.81) і (9.82) з достатньою точністю описують процес відділення дощових черв'яків від вермикомпосту методом нанесення на поверхню бурта свіжого субстрату. За графіками рис. 9.17 встановлено, що через 45 діб, після нанесення на вермикомпост свіжого субстрату в вермикомпості залишиться 5 – 10 % черв'яків від загальної маси, а коефіцієнт відділення $\eta = 0,9-0,95$.

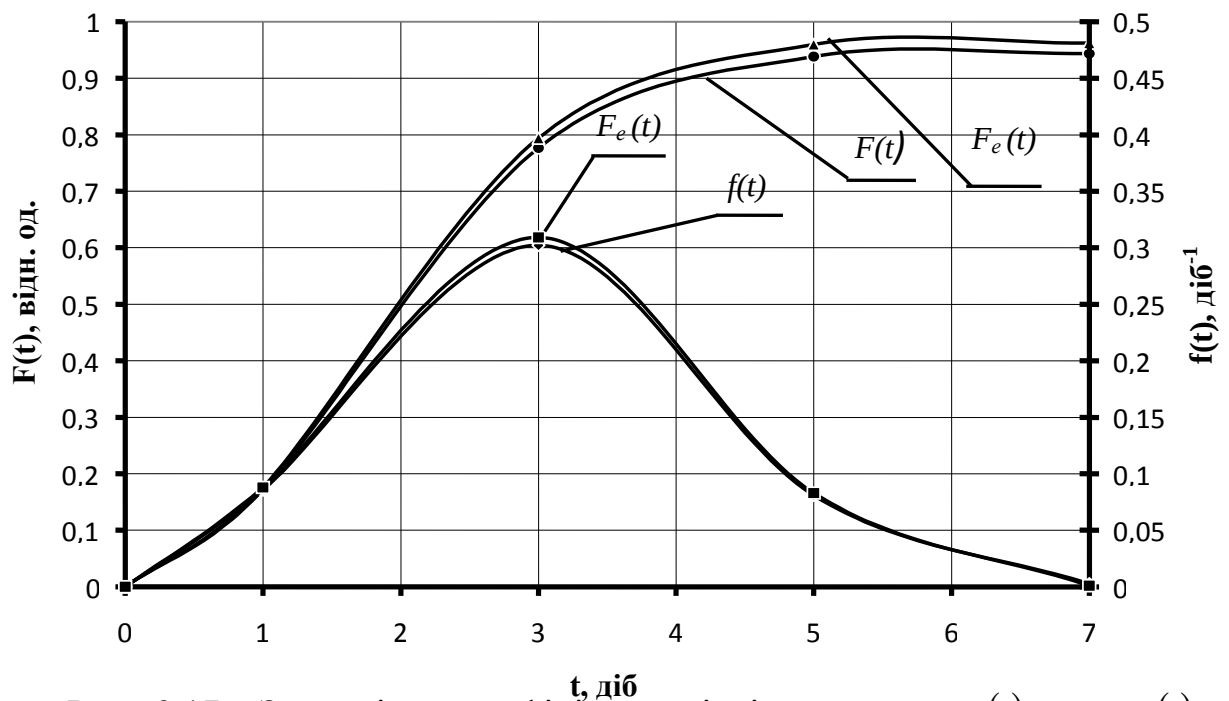


Рис 9.17. Залежність коефіцієнта відділення $\eta = F_e(t)$, $\eta = F(t)$ та інтенсивності відділення дощових черв'яків від вермикомпосту $d\eta/dt = f_e(t)$, $d\eta/dt = f(t)$ від тривалості процесу: $F_e(t)$, $f_e(t)$ – емпіричні функції; $F(t)$, $f(t)$ – теоретичні функції.

9.3. Енергетичний аналіз механізованої технології одержання товарного біогумусу.

Енергетичний аналіз проводився для оцінки ефективності використання техніки та пошуку ефективних схем виробництва біогумусу.

Вихідними даними для проведення аналізу були вихідні вимоги на технології і технічні засоби виробництва біогумусу [36 – 48], а також довідкові матеріали енергоємностей сільськогосподарських машин і знарядь, трудових ресурсів, енергетичних ресурсів, добрив, сільськогосподарських культур [84, 140].

Енергетичний аналіз технології виробництва товарного біогумусу проводився в три етапи:

- енергетичний аналіз процесу підготовки субстрату (компостування) і визначення енергоємності 1 кг субстрату (компосту);
- енергетичний аналіз вермикомпостування і визначення енергоємності 1 кг вермикомпосту;
- енергетичний аналіз технологічного процесу переробки вермикомпосту в товарний біогумус і визначення його питомої енергоємності.

Енергетичний аналіз проводився згідно [84,140] з використанням технологічних схем (рис. 8.6, 8.7, 8.17).

Використовуючи результати розрахунків, а також технологічні схеми (рис.8.6 а, б) розрахунок енергоємності 1 кг субстрату (компосту) проводився, виходячи з умови, що витрати води для поливання буртів в розрахунку на 1 т гною складають 0,1 т, а вихід ферментованої маси становить 85% від початкової маси гною.

Для визначення енергоємності виробництва 1 кг вермикомпосту розрахунок проводився за технологічними схемами рис.8.7 а, б. Розрахунок проводився з умови:

- вихід вермикомпосту без черв'яків складає 70%;
- вихід вермикомпосту з черв'яками – 73,5%;
- на 1 м² майданчика переробляється 1 т субстрату в рік (два цикли переробки по 0,5 т);
- маса субстрату при формуванні нових лож – 0,15 т/м² ;
- маса субстрату при заселенні черв'яками – 0,05 т/м²;
- витрати води на зволоження субстрату– 100 л/т;
- потреба в соломі для утеплення буртів – 0,05 т /м.

Переробку вермикомпосту в товарний біогумус проводять за технологічними схемами згідно з рис. 8.17 а, б, в, г.

Для визначення енергоємності 1 кг товарного біогумусу прийнято такі умови:

- вміст черв'яків в субстраті – до 23%;
- вміст черв'яків у вермикомпості – 23%;
- вихід біогумусу після сушіння – 60%;
- ступінь відділення черв'яків – 95%;
- вихід субстрату з черв'яками – 30%;
- вихід вермикомпосту після попередньої переробки – 85%;
- вихід товарного біогумусу – 45%.

Виходячи з прийнятих умов, енерговитрати на переробку 1 т гною в субстрат, 1 т субстрату у вермикомпост, 1 т вермикомпосту в біогумус визначали за формулою:

$$g_j = \sum_{i=1}^n g_i,$$

де g_j – енерговитрати на переробку 1 т гною, субстрату, вермикомпосту, МДж/т; g_i – енерговитрати на виконання i -тої технологічної операції в розрахунку на переробку 1 т гною, субстрату, вермикомпосту, МДж/т.

Енергоємність 1 кг субстрату, вермикомпосту, біогумусу (МДж/кг) визначали за формулою:

$$\hat{g} = \frac{0,001 \cdot 1,3}{z} \cdot \sum_{j=1}^k g_j, \quad (9.83)$$

де z – вихід субстрату, вермикомпосту, біогумусу, відн. од; 1,3 – коефіцієнт додаткових енерговитрат.

Результати розрахунків подані в табл. 9.3.

Аналіз показав (табл. 9.3.), що від технологічної схеми вермикомпостування залежить енергоємність 1 кг субстрату, вермикомпосту та товарного біогумусу. Тому за основну технологічну схему вермикомпостування і виробництва товарного біогумусу приймається така технологія, за якою енергоємність одержання продукції буде мінімальна. Це – технологічний

процес одержання субстрату згідно з технологічною схемою рис. 8.6б, вермикомпосту (рис. 8.7а), товарного біогумусу (рис. 8.17в).

Енергетична ефективність продукції вермикомпостування при внесенні в ґрунт порівняно з гноєм визначалась з умови, що внесення в ґрунт 4 т/га біогумусу-сирцю рівноцінне внесенню гною 40 т/га [53], а внесення 3 т/га біогумусу, рівноцінне його локальному внесенню в нормі 0,4 т/га.

Енергетична ефективність визначається коефіцієнтом енергетичної ефективності K_{ee} .

$$K_{ee} = \frac{\hat{g}_{ст}}{\hat{g}_{нт}}, \quad (9.84)$$

де $\hat{g}_{ст}$, $\hat{g}_{нт}$ - енергоємність продукції за базовою і новою технологіями.

Нова технологія вважається ефективною при $K_{ee} > 1$.

Таблиця 9.3. – Енергоємність гною, субстрату (компосту, вермикомпосту, товарного біогумусу.)

Технологічна схема за рисунками	Енергоємність, МДж/кг		
	субстрату	вермикомпосту	біогумусу
рис.8.6а	0,686	-	-
рис.8.6б	0,638	-	-
рис.8.6а, 8.7.а	-	0,987	-
рис.8.6а, 8.7в	-	0,957	-
рис.8.6б, 8.7а	-	0,939	-
рис.8.6б, 8.7б	-	0,909	-
рис.8.6а, 8.7а, 8.17а	-	-	36,023
рис.8.6а, 8.7а, 8.17в	-	-	2,106
рис.8.6а, 8.7а, 8.17г	-	-	10,880
рис.8.6а, 8.7б, 8.17б	-	-	61,770
рис.8.6б, 8.7а, 8.17а	-	-	35,970
рис.8.6б, 8.7а, 8.17в	-	-	2,070
рис.8.6б, 8.7а, 8.17г	-	-	10,860
рис.8.6б, 8.7б, 8.17б	-	-	61,740

9.4. Технічні засоби для виробництва та використання товарного біогумусу.

Обладнання для подрібнення і фракціонування біогумусу розроблено в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Воно призначене для подрібнення і розділення біогумусу на три фракції величиною гранул до 1 мм, 1 – 2 мм і 2 – 3 мм .

Технічна характеристика обладнання для подрібнення і фракціонування біогумусу представлена в табл. 9.4.

Обладнання (рис. 9.18) складається з таких основних базових вузлів: рами 1; подрібнювача 2; транспортера 3; решітного блока 4; барабанного сепаратора 5;

Рама 1 являє собою металеву зварну конструкцію на колісному ході, до якої кріпиться подрібнювач біогумусу 2, транспортер 3 і на яку монтуються решітний блок 4 та барабанний сепаратор.

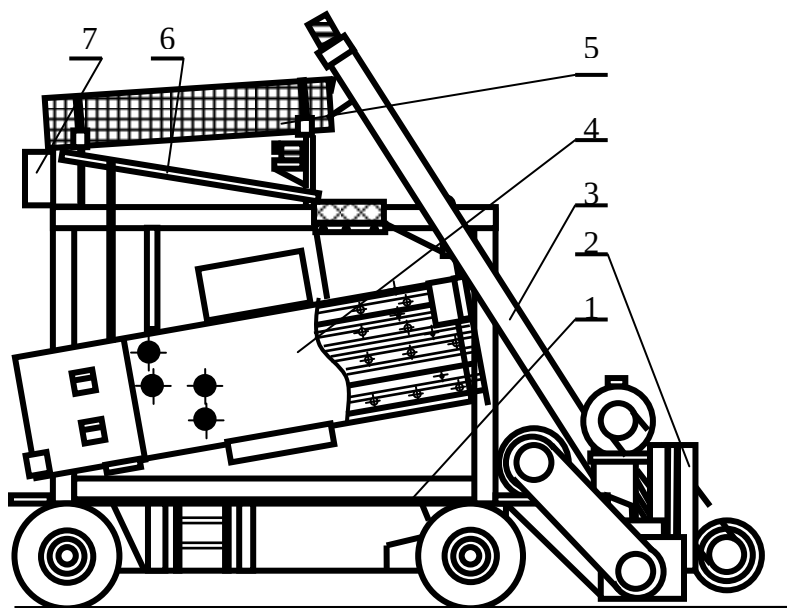


Рис. 9.18. Схема обладнання для подрібнення і фракціонування біогумусу:

1- рама; 2 – подрібнювач біогумусу; 3 – скребковий транспортер; 4 – решітний блок; 5 – барабанний сепаратор; 6 – лоток; 7 – лоток для крупної фракції біогумусу.

Таблиця 9.4 – Основні параметри обладнання для подрібнення і фракціонування біогумусу

Назва параметра	Числове значення
1. Продуктивність, кг/год.	Не менше 5000
2. Тип	Мобільне з автономним приводом на ведучі колеса
3. Максимальна швидкість руху, км/ год	1
4. Частота обертання барабана подрібнювача, хв ⁻¹	500
5. Частота обертання шнека, хв ⁻¹	100
6. Продуктивність скребкового транспортера, кг/год	Не менше 10000
7. Діаметр барабана сепаратора, мм	600
8. Частота обертання барабана, хв ⁻¹	50

9. Продуктивність барабанного сепаратора, кг/год	Не менше 10000
10. Продуктивність решітного блоку, кг/год	Не менше 5000
11. Кількість решітних рамок, шт.	16
12. Розмір решіт, мм	665x915
13. Загальна площа решіт, м ²	10,64
14. Кути нахилу решітного кузова, град.	4 - 10
15. Частота коливань, хв ⁻¹	250 – 320
18. Амплітуда, мм	5-15
19. Установлена потужність, кВт	Не більше 15
20. Габаритні розміри обладнання, мм:	
– довжина	6000
– ширина	3000
– висота	4000
21. Маса, кг	7500

Подрібнювач біогумусу 2 призначений для підбирання з бурта біогумусу та його подрібнення, а також для доставки його на транспортер 3. Робочий орган подрібнювача являє собою барабан, на якому розміщені спеціальні ножі (рис 9.18.). Барабан приводиться в обертовий рух за допомогою ланцюгової передачі. Для подачі подрібненого біогумусу в транспортер встановлено шнек.

Транспортер 3 служить для подачі подрібненого біогумусу в барабанний сепаратор. Використовується скребковий транспортер типу ТС-40.

Барабанний сепаратор служить для відділення крупних фракцій біогумусу і зменшення навантаження на решітний блок, робочим органом якого є сітчастий барабан.

Просіяний біогумус за допомогою лотка 6 потрапляє в решітний блок, а крупна фракція за допомогою лотка 7 вивантажується в транспортний засіб.

Обладнання для попередньої переробки біогумусу-сирцю (далі відділювач включень) призначено для подрібнення біогумусу-сирцю та видалення із нього твердих включень. Розробник обладнання – ННЦ «ІМЕСГ».

Це є агрегат, який складається з трактора типу ЮМЗ, МТЗ, гноєрозкидача ПРТ-7, на якому встановлено відділювач включень (рис. 9.19).



Рис. 9.19. Загальний вигляд відділювача включень.

Відділювач включень також може використовуватись для переробки компосту, торфу, сапропелю. Він складається (рис. 9.19) з каркасу 2, відокремлювачів сторонніх домішок 3, поперечного стрічкового транспортера 5 і ротора 6.

При переробці біогумус-сирець формують у бурт шириною до 3 м і висотою до 2 м. Потім відділювач, рухаючись вздовж бурта, за допомогою завантажувача МПБ-Ф-0,5 перекидає біогумус-сирець з бурта на гноєрозкидач ПРТ-7. Після чого за допомогою транспортера він вивантажується з розкидача у відділювач включень. Біогумус-сирець без включень вивантажується на сторону з формуванням нового бурта, а включення подаються в бункер.

Технічна характеристика відділювача включень від вермикомпосту представлена в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 – Основні параметри відділювача включень від вермикомпосту

Назва параметра	Числове значення
1. Продуктивність, кг/год	Не менше 15000
2. Тип	Мобільне, агрегатування з тракторами класу 14кН
3. Мінімальний розмір включень, що відділяються, мм	20 - 50
4. Габаритні розміри обладнання, мм:	
– довжина	7200
– ширина	2880
– висота	2500
5. Маса відділювача (без гноєрозкидача), кг:	1500

9.5 Вивчення впливу локального внесення біогумусу на урожайність цукрових буряків.

Основна мета виробничого впровадження виробництва товарного біогумусу полягала в експериментальному визначенні доцільності використання механізованих технологій переробки вермикомпосту в біогумус для широкого впровадження в господарствах.

Для вирішення поставленого завдання було виготовлено макетний зразок установки для подрібнення і фракціонування біогумусу (рис. 9.20). Використовуючи цю установку було підготовлено 3000 кг товарного біогумусу, хімічний склад якого наведено в табл. 9.6. Дослідження проводились для виявлення економічної доцільності використання товарного біогумусу для локального внесення його при посіві цукрових буряків. Для цього було переобладнано бурякову сівалку ССТ-12А туковисіваючими апаратами, які дають можливість локально вносити товарний біогумус в рядок під час посіву буряків (рис. 9.21.).

Виробниче впровадження проводилось в Укр НДПВТ ім. Л. Погорілого. Біогумус вносився локально під час посіву цукрових буряків на площі 4 га; норма внесення становила 750 кг/га (рис. 9.22.).

Результати впровадження подано в табл. 9.7.

Енергетичний аналіз даного експерименту проводився на основі наступних даних:

- вміст енергії в урожаї цукрових буряків -18,26 МДж/кг сухої речовини [140];
- вміст сухої речовини в коренеплодах цукрових буряків – 14 %;
- приріст врожаю – 4100кг/га;
- внесено біогумусу – 750 кг/га;
- енергоємність біогумусу – 2,07 МДж/кг;
- енергоємність внесеного біогумусу в розрахунку на 1 га становить 1552,5 МДж, а енергоємність приросту врожаю з 1 га – 10481,24 МДж.

Звідси коефіцієнт енергетичної ефективності $K_{ee} = 6,75$.



Рис. 9.20. Загальний вигляд установки для подрібнення і фракціонування біогумусу.

Таблиця 9.6 – Хімічний склад біогумусу.

Показник	Верми-ком-пост	Товар-ний біогу-мус	Вимоги до біогумусу		
			за міжна-родними нормами [2]	за євро-пейськи-ми нор-мами [2]	за норма-ми СНД [69]
1. Суха речовина, %	45,5	64,9	60-80	50-55	45-75
2. Гумус, %	25,4	27,2	-	10-12	10-25
3. Азот загальний, %	1,05	1,5	1	0,9-3,0	1,0-4,0
4. Фосфор, P_2O_5 , % (рухомий)	1,54	2,1	1,5	1,3-2,5	1,0-5,0
5. Калій K_2O , % (обмінний)	1,96	2,26	1,0	1,2-2,5	0,5-2,0



Рис. 9.21. Загальний вигляд бурякової сівалки ССТ-12А з туковисіваючими апаратами для локального внесення біогумусу.



Рис. 9.22. Агрегат для посіву цукрових буряків з одночасним внесенням товарного біогумусу в роботі.

Розрахунок економічної ефективності від використання біогумусу проводили у відповідності з рекомендаціями академіка Городнього М.М. [53]. Результати наведено в табл. 9.8.

Таблиця 9.7 – Ефективність використання біогумусу при локальному внесенні його під цукровий буряк

Показник	Біогумус 750 кг/га	Контроль без добрив	Приріст врожаю	
			фактична	Відносна, %
1. Біологічна врожайність коренеплодів, ц/га	470	429	41	9,5
2. Цукристість, %	16,3	16,1	0,2	1,2
3. Вихід цукру, ц/га	76,6	69,0	7,6	11

Таблиця 9.8 – Ефективність використання біогумусу (в розрахунку на 1 га)

Показник	Розмірність	Значення показника
1. Внесення біогумусу	т	0,75
2. Приріст врожаю	т	4,1
3. Вартість додаткового врожаю	грн.	369
4. Затрати на виробництво і використання біогумусу і збору додаткового врожаю	грн.	159
5. Чистий прибуток від використання біогумусу	грн.	210
6. Рівень рентабельності	%	132

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що механізоване багатотоннажне виробництво біогумусу є ефективним, а використання його – доцільним.

9.6. Методика розрахунку пункту для механізованого виробництва біогумусу.

Перехід вермикомпостування на механізовані технології дає можливість створювати крупні вермигосподарства. Проте слід відмітити, що концентрація виробництва призводить до збільшення витрат на перевезення сировини, що позначається на собівартості продукції.

Розглянемо можливі шляхи підвищення ефективності виробництва біогумусу в крупних вермигосподарствах на етапі їх створення. Метод полягає у визначенні оптимальної річної продуктивності вермигосподарства з урахуванням транспортних витрат на перевезення сировини (відходів тваринницьких ферм), при мінімальній собівартості виробництва.

За наявності сировини для одержання біогумусу в господарстві (господарствах), з урахуванням відстані перевезення її до вермигосподарства, складається таблиця (табл. 9.9).

Таблиця 9.9 – Наявність органічних відходів залежно від відстані їх перевезень

Маса відходів, т	M_{b1}	$M_{b1} + M_{b2}$	$M_{b1} + M_{b2} + \dots M_{bn}$
Відстань до вермигосподарства, км	l_1	l_2	l_n

За даними табл. 9.9 будується графічна залежність (рис. 9.23) і визначається її тренд. Тоді собівартість вермикомпостування в розрахунку на одиницю вихідної продукції визначається за формулою:

$$C = \frac{Z_6}{M(l) \cdot \beta} + \frac{z_n \cdot l}{\beta}, \quad (9.85)$$

де C – собівартість виробництва однієї тонни біогумусу, грн./т; Z_6 – затрати на виробництво, грн.; z_n – питомі транспортні витрати, грн./т·км; β – коефіцієнт перетворення відходів на біогумус ($\beta=0,5-0,6$).

За формулою 9.85 будується функція $c = f(l)$ (рис. 9.24), а також, дослідивши її на екстремум $\frac{dc}{dl} = 0$, визначається відстань до вермигосподарства $l_{кр}$, за якою собівартість виробництва мінімальна.

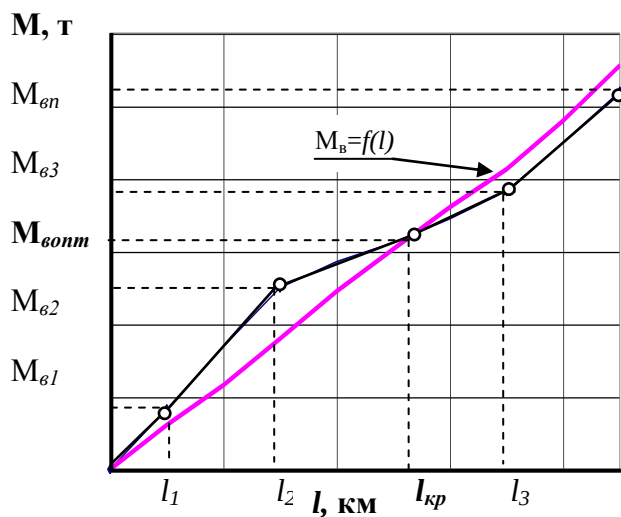


Рис. 9.23. Графік залежності наявності сировини від відстані до вермигосподарства.

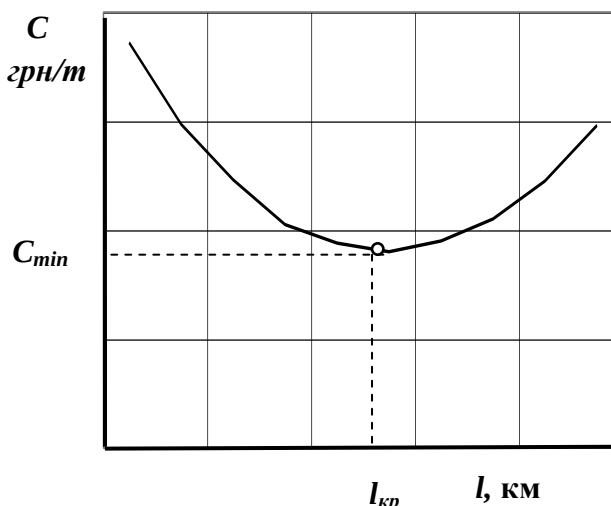


Рис. 9.24. Графічне зображення функції $c = f(l)$

Розмір вермигосподарства, з урахуванням річної переробки відходів $M_{eонт}$, визначається за графіком рис. 9.23 при $l_{кр}$ (рис. 9.24).

Отримання високоякісного біогумусу та ефективне використання дощових черв'яків можливе у разі правильного вибору режиму роботи обладнання, забезпечення ефективними популяціями черв'яків. З цією метою рекомендується використовувати вермиінкубатори, які базуються на інтенсивному вермикультивуванні.

Завдяки використанню високоефективних штамів маточних дощових черв'яків, якісного субстрату, а також можливості дотримання оптимальних режимів вермикультивування у вермиінкубаторі, досягається максимальна продуктивність переробки субстрату в біогумус. Це дає можливість одержувати продуктивну маточну культуру для промислового виробництва біогумусу.

Для інтенсивного вермикультивування необхідно забезпечити умови оптимального розвитку дощових черв'яків:

- температура субстрату – 19-25°C;
- вологість субстрату – 75-80%;
- відношення вуглецю до азоту в субстраті – близько 20;
- реакція середовища рН – 6,5-7,5.

Субстрат повинен пройти ферментування:

- в теплий період року – не менше 2-3 місяців;
- в холодний період року – 3-5 місяців при використанні традиційних методів компостування.

Дослідження, проведені в УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, показали, що збільшення копролітів у вермикомпості в процесі вермикультивування знаходиться в залежності від тривалості вермикультивування і питомого вмісту черв'яків у компості.

Тривалість вермикультивування визначається з формули (9.86) за умови, що ступінь вмісту копролітів у вермикомпості повинен становити не менше 60%, а один черв'як в добу поїдає субстрату вагою рівною його вазі:

$$\tau = 0,6 \frac{1000}{X_1}, \quad (9.86)$$

де X_1 – питомий вміст черв'яків в субстраті, г/кг.

Фактичну тривалість вермикультивування визначають за формулою:

$$\tau_e = \tau \cdot t_b, \quad (9.87)$$

де τ_e – фактична тривалість вермикультивування, діб; t_b – коефіцієнт гарантії технологічного процесу ($t_b = 1-1,5$).

Річна продуктивність вермиінкубатора визначається за формулою:

$$M_b = M_T \cdot t_b, \quad (9.88)$$

де M_b – річна продуктивність вермиінкубатора, т/рік; M_T – розрахункова маса субстрату, який перероблять черв'яки в біогумус, т/рік.

Тут:

$$M_T = M_0 \tau (R + R^2 + \dots + R^i), \quad (9.89)$$

де M_0 – маса дощових черв'яків на початку року, т; τ – період, за який

визначено збільшення біомаси черв'яків у вермикомпості, діб; R – показник збільшення маси черв'яків за встановлений період, разів:

$$i = \frac{365}{\tau}. \quad (9.90)$$

Важливо відмітити, що на різних видах субстрату розвиток черв'яків проходить неодинаково і фізико-хімічний склад біогумусу різний. За даними НДЦ „Біогумус”, за 1,5 місяці в субстраті на основі курячого посліду, біомаса черв'яків збільшилась в 4 рази, на основі свинячого гною - в 3 рази, на основі гною ВРХ - в 2,8 рази, на основі осаду стічних вод – в 2,6 рази.

При заданій масі субстрату, яку необхідно переробити в біогумус за рік, визначають необхідну для придбання масу черв'яків:

$$M_0 = \frac{M_T}{\tau(R + R^2 + \dots + R^i)}. \quad (9.91)$$

Максимальна місткість вермиінкубатора розраховується за формулою:

$$M_{b\max} = \frac{M_b \cdot \tau_e}{365}, \quad (9.92)$$

де $M_{b\max}$ – максимальна місткість вермиінкубатора, т.

Практичний досвід вермикультивування і наукові дослідження свідчать, що тривалість переробки субстрату в біогумус на відкритому майданчику залежить від кліматичних умов і якості виконання технологічного регламенту вермикультивування, який складає в основному 3 місяці. Де τ_e – приймається як 90 діб. Переробка проводиться в основному в два цикли, $i = 2$.

Початкова маса черв'яків визначається за формулою (9.91). Річний вихід біогумусу сирцю визначають за формулою:

$$M_T = M_0 \tau_e (R_b + R_b^2), \quad (9.93)$$

$$\text{де} \quad R_b = R \frac{\tau_e}{\tau}. \quad (9.94)$$

На відкритому майданчику субстрат переробляють в ложах (буртах). Бажано, щоб майданчик мав тверде покриття.

Необхідну кількість буртів визначають за формулою:

$$n_{\delta} = \frac{M_b^1}{l_{\delta} \cdot b_{\delta} \cdot h_{\delta} \cdot \rho}, \quad (9.95)$$

де $l_{\delta}, b_{\delta}, h_{\delta}$ —відповідно: ширина, довжина і висота бурта, мм; ρ —питома маса субстрату, т/м³.

$$\text{Тут} \quad M_b^1 = M_0 \tau_e \cdot R_b^2. \quad (9.96)$$

Параметри майданчика визначають за формулами:

$$\text{— ширину:} \quad b_m = n_{\delta} \cdot b_{\delta} + b_{np} \cdot n_{np}, \quad (9.97)$$

де b_m — ширина майданчика, м; b_{np} — ширина проходу між буртами, м; n_{np} — кількість проходів;

$$\text{— довжину:} \quad l_m = l_{\delta} + 2b_z, \quad (9.98)$$

де l_m — довжина майданчика, м; b_z — ширина заїзду між буртами, м.

Площа майданчика визначається за формулою:

$$F_m = b_m \cdot l_m, \quad (9.99)$$

де F_m — площа майданчика, м².

Комплектування технологій вермикомпостування технічними засобами пов'язано з обґрунтуванням варіантів найбільш ефективної їх експлуатації. Критерієм такої оцінки є мінімальна питома собівартість виконання технічними засобами технологічної операції.

Ефективність використання технічного засобу слід розглядати як динамічний процес в залежності від річного завантаження роботою при використанні формули (9.100), яка характеризує економічну суть визначення питомої собівартості виконання технічним засобом технічної операції.

$$y = \frac{a}{x} + v, \quad (9.100)$$

де y — собівартість виконання технологічної операції технічним засобом, грн./т, грн./м³, грн/т км і т.д.; a — витрати, які не залежать від річного завантаження роботою технічного засобу, грн.; v — питомі витрати, які залежать від річного

завантаження роботою технічного засобу, грн./т, грн./ м³ і т.д.; x – величина річного завантаження технічного засобу (змінна величина), т, м³, і т.д.

Річне завантаження роботою технічного засобу визначається за формулою:

$$X_{onm} = \frac{R\Pi \cdot \tau_3}{T}, \quad (9.101)$$

де X_{onm} – річне завантаження роботою технічного засобу, т, м³ і т.д.; R – ресурс технічного засобу, год.; T – строк служби технічного засобу, років; Π – продуктивність технічного засобу, т/год., м³/год. і т.д.; τ_3 – коефіцієнт використання змінного робочого часу.

Необхідна кількість технічних засобів для виконання заданого обсягу робіт при виконанні технологічної операції визначається за формулою:

$$n_{\delta} = \frac{Q}{\Pi \cdot t \cdot \tau \cdot \tau_3 \cdot m}, \quad (9.102)$$

де n_{δ} – необхідна кількість технічних засобів, шт; Q – необхідний обсяг виконання робіт, т, м³ і т.д.; t – тривалість зміни, год; τ – коефіцієнт змінності; m – тривалість виконання робіт, год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрахам Л. Значение органических удобрений в интенсивном земледелии // Международный с.-х. журнал. – 1981. № 6. – С. 32-85.
2. Агранат Б.А. Ультразвуковая технология. – М.: Металлургия, 1974. – 323 с.
3. Александров В.И., Барер Н.Б. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин в 2-х томах – Т2. – М: Машгиз., 1961. – 862 с.
4. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985 – 488с.
5. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983 – 471с.
6. Афанасьев В.Н., Огородник А.И., Ярощук В.А. и др. Производство твердых органических удобрений: Методические указания. – Л.: 1984. – 48 с.
7. Анатов В.А., Париков В.А. Ультразвук и его применение в ветеринарии. – М.: Колос, 1970. – 210 с.
8. Андерсон Г.Я. Исследование влажности и механических примесей в жидком навозе откармливаемого крупного скота. – Научные труды ЛСХА. Вып. 86. 1974. – С. 50-65.
9. Анохин Б., Титов И. Сравнительное клиническое изучение действия экстракта из тканей дождевого червя // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 82-83.
10. Анохин Б.М., Титов И.И. Предварительные результаты клинического применения экстракта из тканей дождевого червя // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 93-94.
11. Артюшин А.М., Державин Д.М. Краткий справочник по удобрениям. – М.: Колос, 1984. – 203 с.

12. Баадер В. и др. Биогаз: теория и практика. – М.: Колос, 1982. – С. 20-21.
13. Бабенко Г.А., Погрибный И.П. Биофизико-химические и микробиологические показатели тканей и биожидкостей калифорнийского дождевого червя, их биологическая активность лечебных средств // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 49-51.
14. Бабенко Г.А., Мельник И.А. О протекторных и лечебных свойствах препаратов, полученных из биомассы красного калифорнийского дождевого червя // Тезисы докладов 3 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов». – М: Ассоциация «Биоконверсия». – 1994 – С. 12-13.
15. Бацула и др. Органические удобрения. – К.: «Урожай» 1988. – 208 с.
16. Берглунд С. и др.. Транспортирование жидкого навоза. Перевод со шведского. – М.: Колос, 1968. – С. 183.
17. Биестур У.Э., Шмите И.А. Биотехнология. – Рига: Знание, 1987. – 530 с.
18. Биоконверсия – перспективное направление агробиологической науки и практики. - Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия», 1992. – 24с.
19. Бикін А., Городний М. Удосконалення способів використання продуктів біоконверсії органічних відходів // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». - К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 7-9.
20. Боговін А.В. та інш. Підвищення продуктивності сіножатей і пасовищ. – К.: Уро-жай, 1986. – 232 с.
21. Боксор Дж.. Удаление, хранение и обработка навоза // Сельское хозяйство за рубежом. № 4, 1971. – С. 39-47.
22. Бондаренко А.И., Коваленко В.П. Определение доз коагулянтов при обезвоживании навозных стоков ленточными вакуум-фильтрами. // Труды ВНИПТИМЭСХ. – 1978. – Вып. 30. – С. 65-74.

23. Брык И.И. Исследование процесса внесения органических удобрений из куч и обоснование параметров валкователя-разбрасывателя. / Автореф. дисс. канд. техн. наук. – К.: 1976. – 23 с.
24. Вагин Б.И., Побединский В.М. Практикум по механизации животноводческих ферм. – Л.: Колос, 1983. – С. 12-16.
25. Василенко П.М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований. – М.: Госгортехиздат, 1958. - 9 с.
26. Васильев В.А., Филиппова Н.Ф. Справочник по органическим удобрениям. – М.: Росагропромиздат, 1988. – С. 66-67, 132.
27. Васильев В.А., Шведов М.И. Применение бесподстилочного навоза для удобрения. – М.: Колос, 1983. – 179 с.
28. Вермикультура и ее эффективность // Обзорная информация: Новое в науке, технике и производстве. (Серия: Земледелие, агрохимия, сельскохозяйственная мелиорация.) – К.: УкрНИИТИ, 1990. – 37с.
29. Величко В.А., Стоказов И.П. Плодородие российской пашни. // Химия в сельском хозяйстве, 1993, №7. – С. 3-5.
30. Волков В.А. Приближенный расчет движения тел в сопротивляющейся среде // Труды ВИСХОМ. – 1969. – Вып. 24. – С. 45-47.
31. Вольф Г.В. Статистическая обработка опытных данных. – М.: Колос, 1966. – 254 с.
32. Володрович М.П. Исследование реологических свойств дисперсных систем // Колоидный журнал. – 1954. – № 16. – С. 227-240.
33. Вороницкий И.А. и др. Способы переработки и утилизации жидкого навоза // Техника в сельском хозяйстве. – 1980 – № II. – С. 23-24.
34. Вышинский А.М. Органические удобрения и значение торфа в их накоплении. – К.: Урожай, 1965. – 197 с.
35. Высовень В.В. Обоснование технологий и средств механизации переработки бесподстилочного навоза на полноценные компосты

«организованным смесеобразованием» : Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Глеваха, 1986. – 22 с.

36. Вт 46.16.20.30-97 Вихідні вимоги на відділювач черв'яків з субстратом / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1997. – 6с.

37. Вт 46.16.20.12-93 Вихідні вимоги на установку для відділення черв'яків від субстрату / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1993. – 6с.

38. Вт 46.16.20.13-94 Вихідні вимоги на установку для відділення черв'яків від компосту і сушіння біогумусу / Сенчук М.М.- К.: Мінсільгосппрод України, 1994.-6с.

39. Вт 46.16.20.14-94 Вихідні вимоги на обладнання для сушіння біогумусу / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1994. – 5с.

40. Вт 46.16.20.12-94 Вихідні вимоги на обладнання для попередньої переробки червокомпосту і видалення твердих включень / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1994. – 5с.

41. Вт 46.16.20.15.94. Вихідні вимоги на обладнання для подрібнення біогумусу / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1994. – 5с.

42. Вт 46.16.20.16.94. Вихідні вимоги на обладнання для фракціонування біогумусу / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1994. – 5с.

43. Вт 46.16.20.29-96 Вихідні вимоги на механізовану технологію виробництва біогумусу на відкритих майданчиках / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1996. – 12с.

44. Вт 46.16.20.23-95 Вихідні вимоги на комплексну біотехнологію виробництва товарного біогумусу / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1995. – 11с.

45. Вт 46.16.20.22-95 Вихідні вимоги на комплексну біотехнологію утилізації рідких і твердих відходів тваринницьких ферм / Клименко В.П., Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1995 – 11 с.

46. Вт 46.16.20.28.96. Вихідні вимоги на комплект обладнання для приготування субстрату / корму для черв'яків / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1996. – 6с.

47. Вт 46.16.20.25.96. Вихідні вимоги на буртоутворювач субстрату / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1996. – 5с.

48. Вт 46.16.20.26.96. Вихідні вимоги на обладнання для аерування вермикомпосту / Сенчук М.М. – К.: Мінсільгосппрод України, 1996. – 5с.

49. Гладков Н.Г. Зерноочисні машини. Конструкція, розрахунок, проектування і експлуатація. – М: Машгиз, 1961. – 367 с.

50. Глуховський В.С. Комплексна механізація виробництва цукрових буряків. – К.: Урожай, 1976. – 234 с.

51. Глуховский В.С., Зуев Н.М., Забаштанский С.А. и др. Операционная технология возделывания сахарной свеклы. – К.: Урожай, 1988. – 240 с.

52. Горин В.Г. Утилизация навоза на крупных фермах // Животноводство, 1975, № 6. – С. 75-80.

53. Городний М.М., Мельник И.А. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве. – К.: Урожай, 1990. – 285 с.

54. Городний М.М., Шеремет О.П. Влияние вермикомпоста на урожай и качество капусты белокачанной // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды»: – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия». – 1992. – С. 35-36.

55. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3-х томах. Том 3. – М.:Колос, 1965 – 384 с.

56. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т. I, 2, 3, 4 – М.: Колос, 1968.

57. Гребенник В.И. Исследование вязкости свежего навоза КРС. // Труды ВИМ, 1967. т. 43. – С. 107-114.

58. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. М.: Машиностроение, 1982. – 350 с.

59. Гудзон Н. Охрана почв и борьба с эрозией. Пер. с англ. М.: Колос, 1974. – 304 с.
60. Джерик Г.И. Микроэлементы в биогумусе // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 77-79.
61. Дегодюк Э.Г., Бацула А.А. Эффективность жидкого навоза. / Органические удобрения. – К.: Урожай, 1981. – С. 81-83.
62. Дегодюк Е.Г. Екологічні основи використання добрив. – К.: Урожай. – 1988. – 232 с.
63. Дмитриев А.М., Калинин В.Н., Ветров В.С. Радиационная обработка сточных вод животноводческих комплексов. Минск: Ураджай, 1981. – 195 с.
64. Дмитренко І.О., Носко Б.С., Лінник М.К. і інш.. Довідник по удобренню сільськогосподарських культур. – К.: Урожай, 1987. – 206 с.
65. Дозорець М.П. Основи теплотехніки і теплопостачання тваринницьких ферм. – К.: Вища школа, 1973. – 256 с.
66. Докучаев Н.А. и др. Удаление и использование навоза. М.: Россельхозиздат, 1984. – 175 с.
67. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 341 с.
68. Дубовой В., Советов В. Технология выращивания красного калифорнийского червя в условиях стеллажной теплицы // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 132.
69. Дубинская А.П., Сбитнева Н.Д. Получение экологически чистых кормовых добавок на основе вермикультуры // Тезисы докладов 3 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов». – М: Ассоциация "Биоконверсия". – 1994 – С. 52-53.
70. Дубинская А.П., Сбитнева Н.Д. Получение кормовых экологически чистых продуктов на основе вермикультивирования // Биоконверсия органических отходов: Тезисы докладов 3 Международного конгресса

«Биоконверсия органических отходов». – М: Ассоциация «Биоконверсия». – 1994 – С. 98-100.

71. Дубровский В.С., Биестур У.Э. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов, Рига, «Знание», 1988 – 230 с.

72. Духин С.С., Дерягин Б.В. Электрофорез. – М.: Наука, 1976. – 328 с.

73. Жуков А.И., Карелин Я.А. Канализация. – М.: Наука, 1964 – 480 с.

74. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (ч.3). Машини для приготування та внесення добрив. – Харків: Око. 2002 – 252 с.

75. Игонин А.М. Как повысить плодородие почвы в десятки раз с помощью дождевых червей. – М.: Информационно-внедренческий центр: Маркетинг, 1995. – 82с.

76. Евилевич А.З. Осадки сточных вод. М. – Л.: Стройиздат, 1965. – 215 с.

77. Ермолаев П.С. Вибрационные грохоты для народной промышленности. - В кн.: Вибрационная техника. – М. – С. 172-176.

78. Ермоленко В.А. Совершенствование технологического процесса разделения жидкого навоза на фракции и определение параметров шнекового пресса. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – К., 1987. – 23 с.

79. Каневец Г.Е., Петрик М.Р. Опыт использования вермикюльтуры для обезвреживания осадков сточных вод в условиях г. Черновцы // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». - Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 31-32.

80. Калинин В.А. Параметры самотечных каналов для удаления навоза // Механ. и электриф. сельск. х-ва, 1979, № 7. – С. 16-18.

81. Капустин А.П. Влияние ультразвука на кинетику кристаллизации. М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 132 с.

82. Касатков В.А., Кравченко М.Е. Эффективность вермикомпоста на основе навоза крупного рогатого скота при внесении под полевые культуры // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – № 4. – С. 17.

83. Карпец Н.П., Мельник И.А. Вермикультура - источник нового эффективного удобрения // Достижение науки и техники АПК. – 1990. – №10. – С. 17-19.

84. КНД 46.16. 02.11-95. Техніка сільськогосподарська. Випробування. Методи визначення біоенергетичної ефективності машин для рослинництва. Введ. 01.04.96. – Дослідницьке: УкрНДПТВТ, 1995. – 24с.

85. Кленин Н.И., Попов И.Ф. и др. Сельскохозяйственные машины. Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. – М.: Колос, 1970. – 456 с.

86. Кабець М.І. Органічне землеробство в контексті сталого розвитку, пр. «Аграрна політика для людського розвитку» Київ, Україна – Травень 2004(5)

87. Ковалев Н.Г., Всяких А.С., Линник И.К. и др.. Методические рекомендации по проектированию систем удаления обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. – М.: Колос, 1983. – 60 с.

88. Ковалев Н.Г., Линник И.К.и др.. Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и подготовки к использованию навоза и помета (ОНТП 17-81). – М.: Колос, 1983. – 32 с.

89. Ковалев А.А., Лосяков В.П. Результаты исследований экспериментальной биогазовой установки // Механ. и электриф. сельск. х-ва, 1987, № II. – С. 60-62.

90. Коваленко В.П. Механизация обработки бесподстилочного навоза. – М.: Колос, 1984. – 139 с.

91. Коновроцки Ю. Совершенствование механизации внесения органических удобрений // Международный с.-х. журнал, № 3, 1982. – С. 29-32.

92. Копилевич В.А., Городний Н.М. Разработка способов получения биологически активных микроэлементных составов на базе биогумуса // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов

народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 81.

93. Кориат Г. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения. Предисловие и перевод с немецкого П.Я.Семенова. – М.: Колос. 1978. – 217 с.

94. Костенко К., Осьмак Г., Сенчук С.М. Вплив біогумусу-сирцю і аміачної селітри на врожайність ярого ячменю // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробовування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Вип.4. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1999. – С.84-88.

95.Красниченко А.Л. Интенсификация производства яиц как биотехнической системы: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. - Ереван» 1990. - 36 с.

96.Круглицкий Н.Н. Ультразвуковое диспергирование глинистых минералов. К.: Наукова думка, 1973. – 293 с.

97. Кузьменко И.И. и др.. Утилизация навоза на фермах проявленного типа. К.: Урожай, 1971. – 104 с.

98. Куйв М.Н. Исследование конструктивных параметров режущих органов насоса для жидкого навоза. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Каунас, 1970. – 180 с.

99. Кукта Г.М. Испытание сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение. 1964. - 248 с.

100. Линник Н.К. Исследование процесса внесения органических удобрений роторными разбрасывателями // Мех. и электриф. сельск. хоз-ва. – К.: Урожай, 1969. – Вып. II. – С. 93-107.

101. Линник Н.К., Ярощук В.А. Механизированный пункт для приготовления компостов // Техника в сельск. хоз-ве. - 1971, № II. -С. 27-28.

102. Линник Н.К. и др.. Технология и оборудование для переработки бесподстилочного навоза // Техника в сельск. хоз-ве. – 1976. – № 4. – С. 37-39.

103. Лінник М.К., Висовень В.В. Технологічні схеми компостування рідкого гною з торфом і соломкою // Вісник с.-г. науки. – 1976. – № 8. – С. 69-74.

104. Линник Н.К. и др.. Приготовление компостов послойным способом // Техника в сельск. хоз-ве. – 1980. – № II. – С. 21-22.

105. Линник Н.К., Супрун В.П. К выбору технологической схемы уборки навоза с отделением навозной жижи // Механ. и электриф. сельск. хоз-ва. – К.: Урожай, 1931. – Вып. 51. – С. 12-17.
106. Линник Н.К. Механизация транспортировки и внесения в почву бесподстилочного навоза и продуктов его переработки // Органические удобрения / Под ред. Н.К. Крупского. – К.: Урожай, 1981. – С. 113-132.
107. Линник Н.К, и др.. Разбрасыватель полужидких органических удобрений // Техника в сельск. хоз-ве. – 1982. – № 3. – С. 58-59.
108. Линник Н.К., Супрун В.П., Портман М.Л. Комплексная технико-экономическая оценка технологических схем уборки и утилизации навоза // Механ. и электриф. сельск. хозва. – 1985. – № II. – С. 3-6.
109. Линник П.К. и др.. Исследования свойств фракций жидкого навоза // Механ. и электриф. сельск. хозва. – 1986. – №12. – С. 10-11.
110. Линник Н.К., Супрун В.П., Портман М.Л. Топливо-энергетическая оценка механизированных технологий удаления и утилизации навоза // Вестник с.-х. науки. – 1989. – № 3. – С. 109-113.
111. Линник Н.К. Совершенствование технологий и технических средств для использования органических удобрений // Техника в сельском хоз-ве. – 1990. – №5. – С. 51-53.
112. Лінник М.К., Шкодкін І.І. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів фільтр-преса для розділення безпідстилкового гною на фракції // Механ. і електриф. сільськ. гос-ва. – К.: Урожай, 1991. – В. 74. – С. 7-10.
113. Лінник М.К., Пономарьов Г.В., Шкодкін І.І. Визначення оптимальних режимів роботи відділювача домішок рідкого гною // Механіз. і електриф. сільськ. госва. – К.: Урожай. – Вип. 75. – С. 34-39.
114. Лыков А.М. Страж плодородия. М.: Московский рабочий. 1976. – 111 с.
115. Лысенко В.П. Технология переработки и утилизации помета, // Промышленное птицеводство / Сост. Фисинин В.И. – Агропромиздат, 1985. – С. 464-474.

116. Лысенко В.П. Используйте птичий помет // Птицеводство. – 1990, № 1. – 40 с.
117. Лазурський О.В. Гній і мінеральні добрива у польових сівозмінах. К.: Урожай, 1972. – 213 с.
118. Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов. Пер. с англ. – М.: Колос, 1979. – 414 с.
119. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. - Львів, 2002. -797 с.
120. Летошев М.М. Сельскохозяйственные машины. М.– Л.: Сельхозизд, 1955. – 764 с.
121. Лукьяненко И.И. Приготовление и использование органических удобрений. М.: Россельхозиздат, 1982. – 207 с.
- 122. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1977. – 528 с.**
123. Любінецький М.М., Бакун О.І., Озерянський Л.А. Можливості альтернативного землеробства на Поліссі // Вісник с.-г. науки № 9, 1993. – С. 93-98.
124. М 46.16.20.01-94 Методика: Техніка сільськогосподарська. Обладнання для механізації процесів вермикомпостування. Методи функціональних випробувань: Введ. 01.03.1995. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ, 1994. – 59с..
125. Мазур Г.А. Научные основы технологии расширенного воспроизводства и регулирования плодородия дерновоподзолистых почв Украинского Полесья. Автореф. дисс. д-ра с.-х. наук. – Харьков, 1990. – 38 с.
126. Мазур Г.А. Підвищення родючості кислих ґрунтів. К.: Урожай, 1984. – 175 с.
127. Малофеев В.И. Технология переработки помета. П.: Колос, 1981. – 116 с.
128. Малофеев В.И. Технология безотходного производства в птицеводстве. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с.

129. Мамченков И.П., Васильев В.А. Агрономические требования к проектированию систем уборки, хранения и использования бесподстилочного навоза для удобрения // Вестник с.-х. науки. - 1980. V 2. - С. 45-54.

130. Марковская Г.К., Соколов В.С. Влияние вермикомпоста на урожайность с.-х. культур и биологическую активность почвы // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». - Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 61.

131. Марченко Н.М. Состояние и основные направления механизации внесения органических удобрений. В кн.: Научные основы механизации внесения органических удобрений. – М.: 1974. – С. 3-16.

132. Марченко И.М. Технологические основы качества внесения удобрений // НТБ ВИМ, 1982, вып. 52. – С. 47-50.

133. Марченко Н.М. и др.. Типовая технология производства и внесения твердых органических удобрений. М.: ВИМ, 1987. – С. 3-76.

134. Марченко Н.М. и др.. Технология внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений. М.: ВИМ, 1987. – С. 3-52.

135. Мартиненко І.І. і інш.. Очистка фільтру рідкого гною електрофлотаційним методом з застосуванням коагулятора // Вісник с.-г. науки. – 1975. - № 8. – С. 19-23.

136. Мартыненко И.И. и др.. Подготовка сточных вод животноводческих комплексов к озонированию путем обработки ультразвуком. // Механиз. и электриф. сельск. хоз-ва. – К.: Урожай, 1985. – Вып. 64. – С. 3-6.

137. Матов Б.М. Флотация в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность. – 1976. – 168 с.

138. Минеев В.Г., Васильев В.А., Лукьяненок И.И. и др. Органические удобрения в интенсивном земледелии. – М.: Колос, 1984. – 303 с.

139. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Физматгиз, 1971. – 576 с.

140. Медведовський О.К., Іваненко І.П. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. – К.: Урожай, 1988. – С. 192-205.
141. Мельник И.А. Методические указания по промышленному разведению дождевых червей и получению органического удобрения «Биогумус». – Ивано-Франковск: МТЦИНТИ, 1989. – 46с.
142. Мельник И.А. Дождевые черви на службе сельского хозяйства // Достижение науки и техники АПК. – 1990. – №8. – С. 18.
143. Мельник И.А., Гуцуляк В.Д. Биогумус и урожай овощей // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – №15. – С. 15-16.
144. Мельников В.Р. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1972. – 200с.
145. Морозов Н.М. Экономическая эффективность комплексной механизации животноводства. П.: Россельхозиздат, 1986. – 228 с.
146. Морозов В.В., Сазыкова С.П. О компостировании сапропелей // Земледелие, 1993, № 7. – С. 26.
147. Мусаев А.Х., Шебалкин А.Е. Физико-механические свойства жидкого бесподстилочного навоза / Научные труды ВАСХНИЛ. – М., 1974. – С. 50-54.
148. Нагорный Н.Н. Технологии и средства механизации защиты почв от эрозии на пахотных склоновых землях Украинской ССР / Автореф. дисс. доктора техн. наук. – М., 1989. – 34 с.
149. Назаров С.И., Сыман П.Е. Физико-механические свойства основных включений жидкого навоза. В кн.: Механизация применения удобрений в сельском хозяйстве. – Минск, 1970. – С. 32-36.
150. Новиков Г.И. Методика расчета оптимальных размеров бригад и ферм. – М.: Колос, 1967. – 240 с.
151. Назаров С.И. Экспериментально-теоретические основы механизации процесса сплошного внесения минеральных удобрений / Дисс, доктора техн. наук. – М.: 1969. – 403 с.

152. Некрасов З.Т. Оценка экономического эффекта метанового сбраживания навоза.// Техника в сельск. хоз-ве. 1989, № 6. – С. 27-29.

153. Несчисляев В.А., Петров В.Ф. Изучение возможности использования биомассы красного калифорнийского червя в качестве субстрата для изготовления бактериологических сред // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 84.

154. Нефедов Г.Н. Природное разнообразие и популяции навозного червя // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 15-16.

155. Никитин Д.П. Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда (гигиенические аспекты). – М.: Медицина, 1980. – 255 с.

156. Никулин С.И., Буцыкин А.И., Комаров В.С. К вопросу внесения жидких органических удобрений с помощью дождевальных установок // Научн. труды ВНИИ механ. и техники полива. – Коломна. 1972. Т.3. – С. 182-188.

157. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1983. – 270 с.

158. Носко Б.С., Бацула О.О., Ліник М.К. і інш.. Довідник працівника агрохімслужби. – К.: Урожай, 1986. – 315 с.

159. Норми годівлі сільськогосподарських тварин та поживність кормів. Довідковий матеріал з курсу «Годівля сільськогосподарських тварин» для студентів біолого-технологічного факультету ветеринарної медицини / В.С. Бомко, С.П. Бабенко, М.М. Сломчинський та ін. - БНАУ. - Біла Церква, 2008.- 142 с.

160. Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. ОНТП 17-86. Минсельхоз СССР. – БИ. 1979. – 64 с.

161. Олещенко Р.К. Механізація удобрення луків. Львів: Каменярь, – 1976. – 55 с.

162. Орлов Д.С., Амосова Я.М. Сравнительная характеристика некоторых вермикозияств // Тезисы докладов 3 Международного конгресса „Биоконверсия органических отходов”. – М: Ассоциация "Биоконверсия". – 1994 – С. 69-70.

163. Орловский З.А. Очистка сточных вод за рубежом. – М.: Стройиздат, 1974.– 190 с.

164. Осипов Н.М. Методы оценки измельчителей кормов при испытаниях и оптимизации их параметров: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Дослідницький, 1989. – С. 55-56.

165. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрения и урожай. – М.: Колос, 1977. – 413 с.

166. Панфилов В.А. Оптимизация технологических схем кондитерского производства. М.: Пищевая промышленность, 1980. – 248 с.

167. Парфенов В.С. Обработка навоза постоянным током // Сб. научных трудов работ Саратовского СХИ. – 1978. – Вып. 121. – С. 133-133.

168. Пат. №2005361 С1 Россия, МКИ А01К67/033, С05F 3/6. Устройство Сташевского для извлечения дождевых червей из среды обитания / Сташевский И. И. (Россия). – №5031121/15; Заявл. 09.03.92. Оpubл. 15.01.94, Бюл. №1. – 10с.

169. Пат. № 2005362С1 Россия, МКИ А01К67/033, С05F 3/06 Устройство Сташевского для выращивания дождевых червей / Сташевський І.І. (Россия). – №5131122/15; Заявл. 09.03.92; Оpubл. 15.01.94, Бюл. №1. – 12с.

170. Пат. № І3895А Україна, МІЖ А 01 К 67/033, С05F9/04. Спосіб одержання біогумусу із червокомпосту і установка для його здійснення / Сенчук М.М. Таргоня В.С., (Україна); УкрНДІПВТ. – №94097022; Заявл 21.09.94; Оpubл. 25.04.97, Бюл. №2. – 4с.

171. Пат. № 20210А Україна, МПК А01К67/033, С05F 4/06. Установка для одержання товарного біогумусу із вермикомпосту / Сенчук М.М., Погорілий Л.В. (Україна); УкрНДІПВТ. – №96041385; Заявл.09.04.96 ; Оpubл. 27.02.98, Бюл. №1. – 4с.

172. Пат № 17772А Україна, МПК. А01К67/00 Установка для відділення черв'яків від субстрату / Погорілий Л.В., Сенчук М.М., Ясенецький В.А., Таргоня В.С., Клименко В.П., Іваненко І.М., Грищенко Л.В. (Україна); УкрНДПВТ. – №96083168; Заявл.07.08.96; Опубл. 30. 10.97, Бюл. №.5. – 3с.

173. Пахарь И.И., Донец С.М., Яли И.И. Механизация уборки, транспортировки и внесения в почву навоза. К., 1986 (Обзор инф. УкрНИИНТИ). – 27 с.

174. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. – Т. 2. – М.: Наука, 1978. – С.451 – 452.

175. Письменов В.Н. Уборка, транспортировка и использование навоза. М.: Россельхозиздат, 1973. – 157 с.

176. Письменов В.Н. и др.. Влияние примесей кормов в навозе на работу самотечных систем // Техника в сельском хозяйстве, 1976, №1. – С. 19-22.

177. Петров В.Ф., Сафонова Г.М. Исследование ферментативной живности в препаратах, выделенных из красного калифорнийского червя // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 89-90.

178. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. – М.: Машиностроение, 1972. – 400 с.

179. Погорілий Л.В., Єрмоленко В.О. Загальні концепції створення біоконверсного комплексу // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції „Випробування, прогнозування і адаптація до виробничих умов вітчизняної та зарубіжної техніки і технології для рослинництва та тваринництва”. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1995 – С. 171

180. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытания сельскохозяйственных машин. – К.: Техника, 1981 – 175 с.

181. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытания сельскохозяйственных машин. К.: Техника, 1981. – 174 с.

182. Погорелый Л.В. и др.. Машины для приготовления и внесения органических удобрений (конструкция и расчет). – К.: Техника, 1992. – 106 с.

183. Погрибный И.П. Влияние феромона тревоги калифорнийского дождевого червя на химически индуцированный гепотенез у крыс // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 51-52.

184. Полищук Н.Г. Повышение почвенного плодородия экологически чистым биоудобрением «Биогумус» // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». - К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 132.

185. Понис Дж., Окун Д.А. Сбор и удаление сточных вод в населенных пунктах. Перев. с англ. – Женева. Всемирная организация здравоохранения, 1977. – 328 с.

186. Попов Л.П. и др.. Оптимизация технологических процессов в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1982. – 78 с.

187. Портман М.Л. Методика оптимального проектирования технологических линий кормоприготовления на животноводческих комплексах / Труды ВИМ. – М., 1978, № 79. – С. 104-109.

188. Проведення систематизації та наукове обґрунтування технологічних рішень і роз-робка комплексу технічних засобів для механізованої технології вермикомпостування на відкритих майданчиках: Звіт про НДР (проміжний) / УкрНДПВТ; № ДР 0197U013837. –Дослідницьке, 1996. – 135 с.

189. Проведення систематизації та наукове обґрунтування технологічних рішень і розробка комплексу технічних засобів для механізованої технології вермикомпостування на відкритих майданчиках: Звіт про НДР УкрНДПВТ, № ДР 0197U013837. – Дослідницьке, 1998. – 205с.

190. Пузанков А.Г., Мхитарян Р.Я. Обеззараживание стоков животно-водческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1986. – 175 с.

191. Ржаницин Б.А. Электрохимическое закрепление грунтов. // Гидрогеология и инженерная геология. 1940, № 5. – 7-17.

192. Розстальной В. Влияние навоза и биогумуса на калийный режим почвы, урожай и качество сельскохозяйственных культур в севообороте // Тезисы докладов IV конгресса «Биоконверсия органических отходов и охрана окружающей среды», К.: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – №1 – С. 15-18.
193. Рыженко Н. Использование продуктов вермипроизводства в сельском хозяйстве // Достижение науки и техники АПК. – 1996– С.126.
194. Рыжов С.В. Оборудование для получения биогаза // Техника в сельск. хоз-ве, 1987, №4. – С. 24.
195. Розробити компостоприготувальні технології для виробництва орґано-мінеральних добрив, що забезпечують захист навколишнього середовища від забруднення і виключають втрати корисних речовин: Звіт про НДР/ УкрЦВТ; № ДР 0293U000608. – Дослідницьке, 1992. – 51 с.
196. Розробка технологічних та системно-технічних рішень та обладнання для переробки та утилізації відходів тваринного і рослинного походження для виробничого споживання в складі біоконверсного комплексу: Звіт про НДР (проміжний) / УкрНДІПВТ; № ДР 0394U000935. – Дослідницьке, 1993. – 126 с.
197. Розробка технологічних та системно-технічних рішень та обладнання для утилізації відходів: Звіт про НДР (проміжний) / УкрНДІПВТ; № ДР 0194U025879. – Дослідницьке, 1994. – 129 с.
198. Розробка технологічних та системно-технічних рішень та обладнання для утилізації відходів: Звіт про НДР / УкрНДІПВТ; № ДР 0194U025879. – Дослідницьке, 1995.– 182 с.
199. Розробка технологічних та проектних рішень по створенню біоконверсного комплексу: Звіт про НДР / УкрНДІПВТ; № ДР 0194U025879. – Дослідницьке, 1995. – 78 с.
200. Романенко Н.А. Санитарная гельминтология. М.: Медицина, 1982. – 136 с.
201. Рубцов Г.М. Удаление, хранение и обработка навоза // Сельское хозяйство за рубежом, 1971, № 4. – С. 21-23.

202. Рязанцев В.П., Данилкина В.С., Текучева М.С. Проблемы уборки и утилизации навоза // АПК, достижения науки и техники, 1988, № 12. – 27 с.
203. Садовский В.Н. Системный подход и общая теория систем. / В кн.: Системные исследования: Ежегодник, 1979. – С. 29-54.
204. Сайко.В.Ф. Вилучення з інтенсивного обробітку малопродуктивних земель та їхнє раціональне використання. Методичні рекомендації /Ін-т землеробства України. – Київ: – Аграрна наука, 2000 – 38 с.
205. Сдобников С.С. Использование органических удобрений в плодородии почвы // Земледелие, 1982, № I. – С. 56-59.
206. Севернев М.М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. - М.: Колос, 1992. - С. 187,
207. Сенчук С.М. Перспективи використання нетрадиційних органо-мінеральних добрив // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Універсальна мобільна енергетика, модульно-блочна техніка і прогресивні механізовані технології в сільськогосподарському виробництві ХХІ століття». – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 2001. – С. 25.
208. Сенчук М.М. Марущак А.Т. і ін. Вивчення зміни клітинних стінок соломи під впливом компостування і вермикомпостування.//Зб. наук праць. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке.- 2004. - С. 359-364
209. Сенчук М.М. Інтенсифікація процесів одержання біогумусу-сирцю // Удоскона-лення системи машин та випробування сільськогосподарської техніки. – Дослідницьке: УкрЦВТ. – 1993. – С. 146-155.
210. Сенчук М.М. Теоретичні основи механізованого вермикомпостування. // Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип.3. – Дослідницьке: УкрНДПВТ . – 2000. – С. 132-138.
211. Сенчук М.М, Осьмак Г.М. Вивчення фракційного складу біогумусу // Технічні та технологічні аспекти розвитку та випробування нової с.- г. техніки і технологій. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1995. – С. 197-204.

212. Сенчук М.М., Осьмак Г.М. Фізико-хімічний аналіз процесу перетворення субстрату в біогумус // Технічні та технологічні аспекти розвитку та випробування нової с.- г. техніки та технологій. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1995. – С. 208-220.

213. Сенчук М.М. Біомаса дощових черв'яків і основні напрямки використання. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип.1. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1998. – С. 145-147.

214. Сенчук М.М. Перспективи використання вермикомпостування в Україні і його технічне забезпечення. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип.4. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 2001. – С. 171-175.

215. Сенчук М.М. Розробка технології механізованого вермикомпостування. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип.1.- Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1998. – С. 184-192.

216. Сенчук М.М. Обґрунтування основних параметрів і розробка технічних засобів для одержання біогумусу. // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції „Універсальна мобільна енергетика і прогресивні механізовані технології в сільськогосподарському виробництві ХХІ століття” – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 2001. – С.15.

217. Сенчук М.М. Вивчення процесу відділення черв'яків від вермикомпосту. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип. 1. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1998. – С.151-154.

218. Сенчук М.М., Осьмак Г.М. Визначення фізико-механічних характеристик біогумусу, вермикомпосту, субстрату.// Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип. 2. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1999. – С.88-94.

219. Сенчук М.М. Теоретичні основи механізованого вермикомпостування.// Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробовування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип. 3. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 2000. – С. 132-138.

220. Сенчук С.М., Таргоня С.В. Дослідження впливу біогумусу на відтворення родючості ґрунтів // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип. 3. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 2000. – С. 138-142.

221. Синягин И.И. Агротехнические условия высокой эффективности удобрений. М.: Россельхозиздат, 1980. – С. 222.

222. Сыман П.Е. Измельчающее приспособление к центробежным насосам // Техника в сельск. хоз-ве, 1974, № 12. – С. 29-31.

223. Скурятин И.Ф. Совершенствование технологий внесения органических удобрений // Техника в сельск. хоз-ве, 1988, № 4. – С. 44-47.

224. Слободян В.А. Развитие вермикультуры на различных видах органических отходов // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия». – 1992. – С. 47-48.

225. Слободян В.А., Слободян Н.С. Влияние биогумуса на микробиологические процессы в почве // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – №4. – С. 8-9.

226. Слободян В.А. Продуктивність дощових черв'яків при утилізації курячого посліду // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія». – 1996. – С. 12-13.

227. Слободян В.А., Слободян Н.С. Использование вермикультуры в медицине и ветеринарии // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 47-48.

228. Слободян В.А. Перспективы использования дождевых червей в медицине// Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навко-лишнього середовища». – К.: Асоціація «Біоконверсія» – 1996. – С. 90.

229. Смаилова Т. Агрохимические показатели биогумуса и перегноя // Химия в сельском хозяйстве. - 1994. - №4. - С. 11-12.

230. Смирнов О.П. и др.. Сооружения по подготовке к использованию отходов животноводства. К.: Урожай, 1989. - 150 с.

231. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия. – М.: Колос, 1977. – 239 с.

232. Соколов В.П., Лінник М.К. Проблеми механізації процесів утворення ґрунту // Вісник с.-г. науки, 1977, № 1. – С. 68-73.

233. Соколов В.М. і інш.. Машини для приготування і внесення добрив. К.: Урожай, 1977. – С. 167.

234. Способ отделения дождевых червей от почвенного субстрата: А.с. 1500225 СССР, МКИ АО1 К 67/00 / Морев Ю. В.(СССР). – №4283204/30-15; Заявлено 24.06.87; Оpubл. 15.03.1989, Бюл №30. – 1с.

235. Способ выращивания червей и червеобразных организмов: А.с. 17293551 СССР, МКИ А 01 К 67/00 / Мельник В.П.(СССР). - №4761851/15; Заявлено 12.09.89; Оpubл. 30.04.92, Бюл. №16. – 6с.

236. Справочное пособие по вермикультивированию. – Ивано-Франковск: Ассоциация "Биоконверсия", 1992. – 72 с.

237. Слюзко А.М. Некоторые приемы использования удобрительных свойств осадка сточных вод для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Автореф. дис. канд. с.-х наук. – Белая Церковь, 1971 – 23 с.

238. Створити системно-технічні засоби для вдосконалення меліоративно-структурного відновлення ґрунту на основі копролітів вермикюльтури: Звіт про НДР / УкрНДІПВТ; № ДР 0192U0112211. – Дослідницьке, 1992. – 256с.

239. Сурнин В.И. Использование жидкого навоза. М.: Россельхозиздат, 1978. – 64 с.
240. Сушилка для куриного помета. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Запоріжжя: КТИСМ, 1992. – 42с.
241. Тарарико А.Г. Агроэкологические основы почвозащитного земледелия. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
242. Тарарико А.Г. Почвозащитное земледелие на склоновых землях Лесостепной зоны Украинской ССР: Автореф. дисс. доктора с.-х. наук. – Киев, 1986. – 45 с.
243. ТУ 113-03-90 С. Органічне добриво «Біогумус». Технічні умови.
244. Турбин Б.Г. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет - Л.: Машиностроение, 1967. – 577 с.
245. Федотов В.М., Кузьменко И.И. Отделитель механических включений // Техника в сельск. хоз-ве, 1981, № 12. – С. 21-22.
246. Федоров Н.Ф., Шифрин С.М. Канализация. М.: Высшая школа, 1968. – 592 с.
247. Феруччи К. Домашнее хозяйство по разведению дождевых червей в экологических ящиках // Тезисы докладов симпозиума «Биоконверсия органических отходов и экологическое оздоровление населенных пунктов». - Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия». – 1992. – С.136-137.
248. Фокина В.Д. Охрана окружающей среды от загрязнения отходами животноводства (Обзорная информ. ВАСХНИЛ). – М., 1980. – 43 с.
249. Фортъе А. Механика суспензий. М.: Мир, 1971. – 264 с.
250. Цуркан М.А. Органические удобрения и их использование в Молдавии. – Кишинев: Штипица, 1976. – 100 с.
251. Холодова О.П., Нефедов Г.Н. О влиянии некоторых факторов отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды: Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 16-17.

252. Холодова О.П., Болотецкий Н.М. и др. Селекция навозного червя для вермикультивирования // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – № 4. – С.11.

253. Холодова Ю.Д., Повхан М.Ф. Ткани червя Ейзения фоеида как источник сырья для выработки фармакологических препаратов // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 138-139.

254. Холодова Ю. Д., Морозова Ф. В. Применение биологически активной основы для производства медицинских косметических пищевых и кормовых средств из биомассы дождевых червей // Тези доповідей 4 Міжнародного конгресу «Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища». – К.: Асоціація "Біоконверсія" – 1996. – С. 97.

255. Шапиро М.А. и др.. Ускоренная переработка мусора и использование компоста за рубежом. М. : Колос, 1964. – 121 с.

256. Шарабора И.Д. Состояние и перспективы развития биогазовых установок. М.: ЦНИИТЭИ, 1986. – 38 с.

257. Швец И.Т., Толубинский В.И.. Теплотехника. – К.: «Вища школа», 1976 – 517 с.

258. Шейченко В.О., Сенчук М.М Розробка технологічної лінії для виробництва високобілкових добавок з екскрементів тварин та птиці // Тези доповідей Міжнародної науковопрактичної конференції «Випробування і адаптація до виробничих умов вітчизняної та зарубіжної техніки і технологій для рослинництва та тваринництва». – Дослідницьке: УкрЦВТ. – 1995. – С. 109-110.

259. Шемелинский Л. А. Выбор и обоснование параметров подающего устройства разбрасывателей жидких органических удобрений : Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Минск, 1974. – 27 с.

260. Шикула Н., Доля Н. Коцепция биологизации земледелия для производства экологически чистой продукции // Эколого-экономические

проблемы причерноморского региона. Материалы международного научно-практического семинара (г. Очаков, 21-23 сентября 1992 года). - Николаев, 1993. - С. 26-38 .

261. Шикула М.К. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Наукова монографія/НАУ. – Київ:- ПФ “Оранта”,1998 – 680с.

262. Шикула Н.К., Фантух В.С. Экологические аспекты вермикомпостирования органических удобрений и применение их в почвозащитном земледелии // «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды»: Тезисы докладов 2 Международного конгресса. – Ивано-Фран-ковск: Ассоциация «Биоконверсия», 1992.– С.4.

263. Шикула Н.К., Фантух В.С. и др. Влияние вермикомпоста на воспроизводство плодородия серых лесных почв. // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – №4. – С. 13-14.

264. Шкарда М. Производство и применение органических удобрений /Пер. с чеш. З.К.Благовещенской. – М.: Агропромиздат, 1985. – 364 с.

265. Шкодкин И. И. и др.. Разделение бесподстилочного навоза на фракции // Земледелие, 1987, № 10. – С. 46-47.

266. Шкодкин И. И., Донец С,М. , Линник Н.К. Анализ и выбор устройства для разделения жидкого навоза на фракции // Механиз. и электриф. сельск. хоз-ва, – К.: Урожай, 1975, № 31. – С. 84-88,

267. Шпильчак М.Б. Влияние биогумуса на рост сеянцев лесных культур // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». – Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 67-68.

268. Шпильчак М.Б., Слободян В.А. Влияние биогумуса на урожай и качество сельхозпродукции // Тезисы докладов 3 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов». – М: Ассоциация «Биоконверсия». – 1994 – С. 55-56.

269. Шумаков В. Б. Борьба с гельминтами на фермах промышленного типа. М.: Колос, 1975. – 123 с.

270. Устройство для отделения беспозвоночных животных от субстрата // А.с. 685251, СССР МКИ. А 01 К 67/00/ Жигунов В.М., Кондратов А.Ф., Крюков А.Ф., Шашкин П.Е., Хрюкин В.Н.; №2598469/30-15; Заявлено 31.03.78; Оpubл. 15.09.79, Бюл. №34. – 2 с.

271. Устройство для отделения беспозвоночных животных от субстрата: А.с. 888892 СССР, МКИ А 01 К 67/00 / Крюков А. Ф. (СССР). – №2935344/30-15; Заявлено 06.06.80; Оpubл. 15.12.81, Бюл. №46. – 3с.

272. Установка для отделения беспозвоночных животных (червей) от субстрата: А.с. 398235 СССР, МКИ А 01 К 67/00 / Чичин А.А. (СССР). – №1747174/30-15; Заявлено 14.11.72; Оpubл. 27.09.73, Бюл. №38. – 2с.

273. Єрмоленко В.О., Клименко В.П. Комплексна біотехнологічна переробка вторинної сировини тваринництва і рослинництва // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції „Випробування, прогнозування і адаптація до виробничих умов вітчизняної та зарубіжної техніки і технології для рослинництва та тваринництва”. – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1995. – С. 171-173.

274. Єрмоленко В., Свередюк О. Експериментальні дослідження впливу органо-мінеральних добрив на ріст і розвиток рослин. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип.1. –Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1998. – С. 132-140.

275. Юхимчук Г.В., Гуцуляк В.Д. Перспективы и эффективность использования биогумуса в овощном хозяйстве // Тезисы докладов 2 Международного конгресса «Биоконверсия органических отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды». - Ивано-Франковск: Ассоциация «Биоконверсия» – 1992. – С. 58-61.

276. Яблочков В. И. Исследование процесса выделения дисперсных частиц из свиного навоза центрифугированием : Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Ленинград-Пушкин, 1974. – 24 с.

277. Якубаускас В. И. Технологические основы механизированного внесения органических удобрений. М.: Колос, 1973. – 231 с.
278. Ясенецький В.А. Проблема, яку необхідно вирішувати // Сільськогосподарська техніка України.-1998. – №6. – С-36-37.
279. Ярощук В. А. Обоснование и исследование технологии и средств механизации приготовления органических удобрений на основе использования осадков сточных вод: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Ленинград-Пушкин, 1978. – 22 с.
280. Ялі І.І., Дробот В.Ф. Механізація видалення гною на фермах і комплексах. К.: Урожай, 1981. – 72 с.
281. Achfild G. The methane generation-Feedlot Monag. 1981,V.22, №4.
282. Allievi L. Qitterio B., Ferrari A Vermicomposting of rabbit manure: modifications of microflora // Compst: Prod. Qual. and Use: Proc. Symp, Undine, 17-19 Apr. 1986. – London: New-Jork. – 1987. – P. 115-126.
283. Bolke M. Absatzverhalten von Gulle und technologische Anforderungen bei ihrer Lagerung. // Aktuelle Probleme der organischen Dungung unter Berücksichtigung der Gullewirtschaft – Berlin, DDR, – s. 131-139.
284. Buch W. Der Regenwurm im Garten // Verlag Eugen Ulmer. – 1987. – P.121.
285. Chan Paul L.S., Griffiths D.A. The vermicomposting of pretreated pig manure // «Biol Wastes».- 1988. – Vol. 24, № 1. – P. 57-69.
286. Ebert K. Gewinnung trockenbstantreicher Gulle in der Rinderproduktion.// Aktuelle Probleme der organischen Dungung unter Berücksichtigung der Gullewirtschaft – Berlin, DDR, – s. 109-217.
287. Eckstaedt H. Hummel. Transport von Gülle Probleme und Lösungswege. – Melioration und Landwirtschaftsbau. 1983,17. Jg. №8 – s.386-388.
288. Fayolle L. Valeur des ordures menageres. Comme milieu d'élevage pour *Eisenia foetida* // Revue d'écologie et de biologie du sol. – 1985. – Vol. 22, № 3. – P. 353-365

289. Flack F.M., Hatrenstein R. Growth of the earthworm *Eisenia foetida* on microorganism and cellulose // *Joil Biology and Biochemistri.* – 1984. – Vol.16, №5. – P. 491-495.
290. Genevini P.L. Vermicomposte. Caratterizzazione chimica e valore fertilizzante // *Informatore agricolo.* – 1983. Vol.39. №44. – P. 109-115.
291. Gradewald A., Richter K., Gulle Kreisee-pumpen-eine Konstruktive Losung fur den hydromechanischen Transport in oler Landwirtschaft.// *Deutsche Agrartechnik*, 1971, № 8, – s. 371-375
292. Gray D.H., Mitcell J. K. Fundamental Aspekts of Electroosmosis in Soils // *Jpurnal of the soil Mechanics and Foundations Division* // *Proceeding of the ASCE.* 1967. 93/ Nov. P. 209-236.
293. Haimi J., Huhta V. Comparison of composts produced identical wastes by "Vermistabilization" and contional compostind // "*Pedobiologia*". – 1987. Vol. 30, №2. - P. 137-144.
294. Hamilton I. Worm – worked Compost and manure // *Juccessul organic gardening.* – 1987. – P. 31-32.
295. Hand P. Vermicomposting of cow slurry // *Pedobiologia.* – 1993. – Vol. 31, №3-4. – P.199-209.
296. Hand P., Frankland I.C, Satchell I. E. Vermicomposting of cow clurry. // "*Pedobiologia*". – 1978. Vol. 31, – № 3-4. – P. 199-209.
297. Hennuy B., Gaspar C. Le traitement des dechets par les lombricilns // "*Bull rech. Agron. Gembloux*".– 1986. – Vol. 21, № 3. – P. 359-367.
298. Humus von *Eisenia* // *Agrarpaxis.* – 1987. – №4. – P. 28-31.
299. Jasienieckij W. A, Targonia W. C, Klimenko W. P. Sienczuk N. N. Kompleksowa biotechnologia utylizacyi odchodow na fermach Bidla i otrzymywanie nawozow organicznych dla rolnictwa alternatywnego // *Ukrainski Centralny Instytut Techniczny w Kiyowie, Materiały na Konference Nowoczesne technologie chowu bydla i trzody chlewney zuwzczednieniem wimogan ochroni srodowriska.* – Warszawa, 18 wrzeinia 1996. – S. 67-68.

300. Mba C.C. Vermicomposting and Biological N-Fixation – Intern // Symp. on soil biology, proceeding. – 1987. – №1. – P.547-552.

301. Merkel J. A. M. Managing livestock wastes-westport, Conn. AVL publ. co., 1981-1X. – 419 s.

302. National Organic Standard Board Recommendations (National Organic Program USDA) Интернет-ресурс: <http://www.ams.usda.gov/nop/nosbinfo.htm>

303. Organic Agriculture and Food Security (IFOAM Dossier 1, 2002). Интернет-ресурс: www.ifoam.org

304. Penpinck R., Verdonck O. Earthworm compost versus classic compost in horticultural substrates // Connost Prod. Qual. And Use: Proc., Symp., Udine, 17-19 Apr. 1986, London. – 1987. – P. 814-817.

305. Reinecke A. Y.; Venter J. M. Moisture preferences, growth and reproduction of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta) Bio. // Biol., Fertil., Soils. – 1987. – Vol. 3, №1. – P. 135-141.

306. Report and Recommendations on Organic Farming (Washington DC: USDA, 1980), p. xii. NAL Call # aS605.5 U52

307. Sweeten J. Methane production from Livestock Waste.- Texas Agr. Progr. 1978, 24, 3. 19-22.

308 Schulz M. Ausbringen vor festen und flüssigen organischen Düngern mit Fahrzeugen.// Aktuelle Probleme der organischen Düngung unter Berücksichtigung der Güllewirtschaft. – Berlin, DDR, – s 193-201.

309. Tomati U., Grappelli A. Fertilisers from vermiculture as an option organic wastes recovery // Agrochimica. – 1984 – Vol.27, №2/3. – P.244-251.

310. Zandvirts Fleddermann A. Komposte als Humus. – Nährstoff- und Wirkstoffträger: Eine Untersuchung zur Erstellung von Qualitätskriterien unter besonderer Berücksichtigung von Wurmkomposten: Diss. Dokt., – Hohenheim. Zandvirts. Fak. Rhein. Friedrich – Wilhelms – Univ, Bonn. – 1990. – 160 p.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
Розділ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ОБРИВ	9
1.1. Види органічних добрив і їх основні характеристики	9
1.1.1. Загальні положення	9
1.1.2. Гній та пташиний послід	10
1.1.3. Солома.....	23
1.1.4. Торф.....	26
1.1.5. Сапропелі.....	28
1.1.6. Мул ставків.....	28
1.1.7. Органічні відходи комунальних господарств і промисловості.....	28
1.1.8. Зелені добрива.....	34
1.1.9. Аналіз чинників, які знижують ефективність органічних добрив і шляхи їх усунення.....	38
1.2. Розробка основних положень органічного землеробства.....	41
1.2.1. Суть терміну «органічне землеробство».....	41
1.2.2. Обґрунтування концепції біологізації землеробства для виробництва екологічно чистої продукції.....	42
1.2.3. Обґрунтування оптимальної структури посівних площ, потреби в добривах та поголів'я худоби господарства для органічного землеробства.....	44
1.2.4. Розрахунок основних елементів системи органічного землеробства.....	45
1.2.5. Приклади розрахунків основних елементів системи органічного землеробства для господарства.....	53
Розділ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ І КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДЛЯ ПРИБИРАННЯ І УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ	57
2.1. Системний підхід до механізації прибирання гною і застосування органічних добрив в сільському господарстві.....	57

2.2. Розробка математичної моделі і алгоритму оптимізації технологічних схем і комплектів машин.....	59
2.3. Аналіз технологічних схем утилізації гною і їх оптимізація.....	63
Розділ 3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГНОЮ ЯК ОБ'ЄКТУ ПЕРЕРОБКИ І ЗАСТОСУВАННЯ ЙОГО ЯК ДОБРИВО ДЛЯ ҐРУНТУ.....	
3.1. Визначення фізико-механічних показників гною.....	69
3.2. Визначення теплотехнічних показників гною.....	83
Розділ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ БЕЗПІДСТИЛКОВОГО ГНОЮ ІЗ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ.....	
4.1. Аналіз існуючих технологій і засобів механізації для видалення безпідстилкового гною з тваринницьких приміщень з відділенням рідини.....	85
4.2. Обґрунтування технологічної схеми процесу видалення рідкого гною з відділенням рідини.....	86
4.3. Аналітичні і експериментальні дослідження параметрів сепаруючої поверхні контейнерів.....	89
4.4. Виробнича перевірка технологічної лінії видалення гною з відділенням рідини.....	93
Розділ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ І ТЕХНІЧНІ РОЗРОБКИ ПРОЦЕСІВ ПІДГОТОВКИ БЕЗПІДСТИЛКОВОГО ГНОЮ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ НА ЙОГО ОСНОВІ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ.....	
5.1. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів віддільника крупних включень безпідстилкового гною.....	98
5.2. Дослідження процесу перемішування безпідстилкового гною у відкритих сховищах лопатевими мішалками.....	103
5.3. Підготовка безпідстилкового гною шляхом подрібнення органічних домішок.....	107

5.4. Дослідження і обґрунтування засобів механізації для розділення рідкого гною на фракції.....	113
5.5. Електрофізичні способи обробки рідкого гною і продуктів його переробки.....	123
5.5.1. Очищення гнойових стоків свиногокомплексів вапняною суспензією активізованою ультразвуком.....	123
5.5.2. Електрофлотація з хімічною інтенсифікацією очищення фільтрату безпідстилкового гною в безперервному потоці.....	126
5.5.3. Інтенсифікація обробки і утилізації біомаси активного мулу стічних вод методом електроосмосу.....	134
5.6. Приготування органічних добрив із заданими фізико-механічними властивостями і збалансованих по поживним речовинах.....	141
Розділ 6. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПОВЕРХНЕВОГО І ВНУТРІГРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ	152
6.1. Обґрунтування технологічних і технічних рішень застосування напіврідкого гною.....	152
6.2. Внутрігрунтове внесення рідких органічних добрив	158
6.3. Вдосконалення процесу внесення органічних добрив роторними розкидачами.....	166
6.4. Тенденції і шляхи вдосконалення машин і устаткування для застосування органічних добрив.....	173
Розділ 7. СТАН І ТЕНДЕНЦІЙ АНАЕРОБНОЇ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ.....	178
7.1. Суть процесу анаеробного зброджування органічної маси і біотехнічні вимоги до систем її переробки.....	178
7.2. Основні тенденції розвитку технічних засобів для анаеробної переробки гною.....	191
7.3. Методика розрахунку біогазової установки.....	197

Розділ 8. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГУМУСУ	200
8.1. Огляд і аналіз основних технологій утилізації органічних відходів вермикомпостуванням.....	200
8.2. Агрозоотехнічні передумови переробки вермикомпосту.....	210
8.3. Аналіз і класифікація технологічних рішень і обладнання для переробки вермикомпосту в товарний біогумус.....	218
8.4. Дослідження показників товарного біогумусу.....	225
8.5. Фізико-хімічний аналіз процесу перетворення субстрату в біогумус.....	234
Розділ 9. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО - ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГУМУСУ.....	236
9.1. Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень з обґрунтування основних параметрів технічних засобів для переробки вермикомпосту в товарний біогумус.....	236
9.2. Розробка обладнання для відділення черв'яків від вермикомпосту.....	243
9.2.1. Вибір і обґрунтування технологічної та конструкційної схеми пристрою для відділення черв'яків від вермикомпосту.....	243
9.2.2. Визначення основних конструкційно-технологічних параметрів відділювача черв'яків від вермикомпосту.....	247
9.2.3. Визначення основного рівняння теплового балансу термокамери та питомих витрат гарячого повітря.....	252
9.2.4. Дослідження процесу відділення черв'яків від вермикомпосту, розробка математичної моделі процесу.....	254
9.2.5. Методика інженерного розрахунку відділювача черв'яків від вермикомпосту.....	272
9.2.6. Відділення дощових черв'яків від вермикомпосту за методом нанесення шару свіжого субстрату на поверхню бурта з дозрілим вермикомпостом.....	277

9.3. Енергетичний аналіз механізованої технології одержання товарного огумусу.....	280
9.4. Технічні засоби для виробництва та використання товарного біогумусу.....	283
9.5 Вивчення впливу локального внесення біогумусу на урожайність цукрових буряків.....	287
9.6. Методика розрахунку пункту для механізованого виробництва біогумусу.....	290
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	296