

УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК

НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР  
„ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА”  
(ННЦ “ІМЕСГ”)

**СЕНЧУК МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 1.171:631.468.514.239

**ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ І РОЗРОБКА  
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВЕРМИКОПОСТУ**

05.05.11 - Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

сmt Глеваха – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському науково-дослідному інституті по прогнозуванню та випробуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва (УкрНДІПВТ) Міністерства аграрної політики України та Національному науковому центрі “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” УААН.

**Науковий керівник:** академік УААН та РАСГН, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України **Погорілий Леонід Володимирович**, Український науково-дослідний інститут по прогнозуванню та випробуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва, директор.

**Офіційні опоненти:** доктор сільськогосподарських наук, професор, академік УААН **Лінник Микола Кіндратович**, Українська академія аграрних наук, заступник академіка-секретаря відділення механізації і електрифікації;

кандидат технічних наук **Шацький Віктор Васильович**, Інститут механізації тваринництва Української академії аграрних наук, директор .

**Провідна установа:** Львівський державний аграрний університет Міністерства аграрної політики України.

Захист відбудеться “16” червня 2004 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 27.358.01 при ННЦ “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” УААН за адресою: 08631, смт Глеваха, Васильківський район, Київська область.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ННЦ “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” за адресою: 08631, смт. Глеваха, Васильківський район, Київська область, ННЦ “ІМЕСГ”.

Автореферат розісланий 15 травня 2004 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради канд. техн. наук

В.В. Адамчук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми** визначається назрілою необхідністю виробництва нових видів високоефективних добрив на основі гуміномістких речовин в зв'язку із значним скороченням тваринництва в Україні. Їх дефіцит складає близько 300 млн. т на рік.

На даний час розробка теорії і практики біоконверсії органічних речовин з застосуванням технології вермикомпостування є одним з важливих напрямків забезпечення сільського господарства ефективними добривами - біогумусом, а також цінним білком з біомаси дощових черв'яків. Для впровадження таких технологій в господарствах необхідно відпрацювати промислову технологію виробництва біогумусу.

Виробництво біогумусу дасть змогу замінити до 30% нормативної потреби в мінеральних добривах та підвищити їх віддачу на 25-30%.

Крім біогумусу, в сільськогосподарському виробництві біомасу дощових черв'яків доцільно використовувати для виробництва білкового борошна, білкових добавок, виготовлення медичних і фармакологічних препаратів, розробки бактеріологічних поживних середовищ, а також для годівлі птиці і риби.

Проте, не дивлячись на актуальність, вермикомпостування не набуло широкого розповсюдження в Україні через відсутність технічних засобів механізації основних технологічних операцій для його виробництва з прийнятними витратами.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.**

Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувалися у відповідності з державними програмами: "Програма виробництва технологічних комплексів машин і обладнання для агропромислового комплексу на 1998-2005 р.", „Програма робіт по розробці обладнання для виробництва товарного біогумусу”, та науковими роботами тематичного плану Міністерства аграрної політики України (1992-1998 роки): "Створити системо-технічні засоби для вдосконалення меліоративно-структурного відновлення ґрунту на основі копролітів вермикультури" ( № ДР 0192U112211); „Розробка технологічних та системо-технічних рішень і обладнання для утилізації відходів” ( № ДР 0194U025879); „Проведення систематизації та наукове обґрунтування технологічних рішень і розробка комплексу технічних засобів для механізованої технології вермикомпостування на відкритих майданчиках” (№ ДР 0197U013837).

**Мета роботи** - підвищення ефективності виробництва товарного біогумусу і біомаси дощових черв'яків на основі механізації технологічних процесів переробки вермикомпосту.

**Завдання досліджень.** Для досягнення поставленої мети сформульовані такі основні завдання досліджень:

- визначити фізико-механічні характеристики біогумусу;

- визначити і обґрунтувати раціональний спосіб відділення дощових черв'яків від вермикомпосту, обґрунтувати технологічну і конструкційну схеми відділювача черв'яків;
- на основі теоретичних і експериментальних досліджень визначити оптимальні параметри і режими роботи відділювача черв'яків;
- визначити технологічну ефективність переробки вермикомпосту в товарний біогумус.

**Об'єкт досліджень** - механізований технологічний процес переробки вермикомпосту.

**Предмет досліджень** - технічні засоби для переробки вермикомпосту.

**Методи досліджень.** При вирішенні поставлених задач досліджень використано комплексний метод, який включає теоретичні і експериментальні дослідження. Теоретичні дослідження ґрунтуються на застосуванні теорії імовірності, математичного моделювання та теорії інженерного експерименту. Експериментальні дослідження проводилися як за загальноприйнятими, так і за спеціально розробленими методиками на основі методів планування багатofакторного експерименту, обробки експериментальних даних на ЕОМ з використанням методів математичної статистики і оптимізації параметрів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Удосконалено технологічний процес переробки вермикомпосту. Обґрунтовано схему пристрою для відділення дощових черв'яків від вермикомпосту, де характерним є використання спільної дії світла і гарячого повітря, спочатку під дією світла примушують їх занурюватися у вермикомпост, а потім під дією температури перепозати в штучно створене середовище, що підвищує ефективність роботи відділювача. Встановлено експоненційну залежність інтенсивності занурювання черв'яків у вермикомпост під дією світла і інтенсивності відділення черв'яків від вермикомпосту під дією тепла від тривалості технологічного процесу. На цій основі визначено значення критерію оцінки якості виконання технологічного процесу технічним засобом, а також функціональний зв'язок між вищевказаним критерієм і конструкційними параметрами відділювача, що дало можливість визначити його оптимальні параметри і режими роботи.

Визначено фізико-механічні характеристики субстрату, вермикомпосту, товарного біогумусу, новизна яких полягає в тому, що вперше встановлено графічні залежності об'ємної маси, кутів обвалення і схилу та коефіцієнтів тертя стандартних фракцій біогумусу від його вологості.

В результаті проведеного енергетичного і економічного аналізів використання технічних засобів для вермикомпостування вперше: встановлено питомі енергоємності субстрату, вермикомпосту, товарного біогумусу; визначено оптимальні техніко-експлуатаційні і економічні показники обладнання для переробки вермикомпосту в товарний біогумус: продуктивність, номінальне річне завантаження, балансову вартість, питому собівартість виконання технологічного процесу.

Технічна новизна розроблених технічних засобів захищена патентами України на винаходи № 20210 А від 15.07.97 р., № 17772 А від 20.05.96 р., № 13895 А від 25.04.97 р..

**Практичне значення отриманих результатів.** Вперше обґрунтовано раціональну технологічну схему механізованого виробництва товарного біогумусу, розроблено спосіб і пристрій для відділення дощових черв'яків від вермикомпосту, технічну новизну якого захищено патентами України на винахід, визначено оптимальні технологічні конструкційні і енергетичні параметри відділювача і розроблено методику їх інженерного розрахунку, розроблено вихідні вимоги на комплект обладнання для виробництва біогумусу і методику його випробувань М 46.16.20.01-94, що дає можливість проводити дослідно-конструкторські роботи.

В УкрНДПВТ, ННЦ „ІМЕСГ” та НАУ, по замовленню Міністерства промислової політики України, проводиться дослідно-конструкторська робота на тему: „Розробка обладнання для переробки біогумусу-сирцю”, де в результаті її виконання буде виготовлено дослідні зразки обладнання для попередньої переробки біогумусу і видалення із нього твердих предметів (метал, скло, каміння), обладнання для подрібнення і фракціонування біогумусу. Економічна ефективність від впровадження виробництва і використання товарного біогумусу складає 210 грн./га, що забезпечує рівень рентабельності його використання - 132%.

**Особистий внесок автора.** Дисертація є самостійною роботою автора. Вона базується на відомому способі переробки органічних відходів вермикомпостуванням і отримання біогумусу і біомаси дощових черв'яків. У дисертації і наукових статтях здобувачем викладено результати досліджень механізованого процесу отримання біогумусу і біомаси черв'яків, які полягають у проведенні енергетичного аналізу і визначення енергоємностей субстрату, вермикомпосту і товарного біогумусу, визначенні фізико механічних характеристик субстрату, вермикомпосту і стандартних фракцій біогумусу, в обґрунтуванні і розробці обладнання для переробки вермикомпосту.

Обґрунтовано конструкційно - технологічну схему відділювача черв'яків від вермикомпосту, а також досліджено закономірності виконання ним технологічного процесу. На цій основі встановлено критерій оптимізації, а також функціональну його залежність від конструкційних параметрів відділювача, обґрунтовано конструкційні параметри і режими роботи відділювача.

За результатами наукових досліджень розроблено вихідні вимоги на такі технічні засоби для переробки вермикомпосту: обладнання для попередньої переробки і видалення твердих включень, подрібнювач біогумусу, обладнання для фракціонування біогумусу, відділювач черв'яків з субстратом, обладнання для сушіння біогумусу, установка для відділення черв'яків від субстрату та установка для відділення черв'яків від компосту і сушіння біогумусу.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались на міжнародній науково-технічній конференції „Науково-технічні засади розробки, випробування і прогнозування перспективної сільськогосподарської техніки і технологій” присвяченій 55-річчю заснування системи випробувань сільськогосподарської техніки в Україні (УкрЦВТ, 2003 р.), міжнародній науково-практичній конференції „Випробування, прогнозування

і адаптація до виробничих умов вітчизняної та зарубіжної техніки і технологій для рослинництва та тваринництва” ( УкрЦВТ, 1995 р.), міжнародній науково-практичній конференції „Механізація і автоматизація технологічних процесів в молочному господарстві” ( Львівський державний аграрний університет, 1999 р.), міжнародній науково-практичній конференції „Універсальна мобільна енергетична модульно-блочна техніка і прогресивні технології в сільськогосподарському виробництві XXI століття” ( УкрНДПВТ, 2001 р.)

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 15 друкованих праць в т.ч. 10 у фахових виданнях України.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури з 140 найменувань (з них -17 іноземною мовою) і 11 додатків. Дисертація викладена на 115 сторінках комп’ютерного набору і включає 62 рисунки і 13 таблиць. Загальний об’єм дисертації 176 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

### **Розділ 1. Сучасний стан технологій і технічних засобів для виробництва біогумусу.**

#### **Завдання досліджень**

Наведено аналіз і класифікацію технологій і технічних засобів для одержання біогумусу. На його основі встановлено, що технологія вермикомпостування складається з таких технологічних процесів: підготовки субстрату (корму для черв’яків), вермикомпостування (вирощування дощових черв’яків), переробки вермикомпосту для отримання біогумусу і біомаси черв’яків. Встановлено, що до типового регламенту процесу переробки вермикомпосту входять такі технологічні операції: відділення черв’яків від вермикомпосту; попередня переробка вермикомпосту, яку проводять з метою видалення з нього твердих предметів, використовуючи віброгрохоти, пруткові елеватори і барабанні сепаратори; сушіння біогумусу, яке проводять в основному в умовах навколишнього середовища під навісами, іноді використовують спеціальні сушарки; подрібнення, для чого використовують фрезерні дробарки; фракціонування біогумусу яке проводять за допомогою плоских віброрешіт.

Аналіз наукових розробок показав, що значний внесок у вивченні питання переробки органічних відходів вермикомпостуванням зробили Городній М.М., Мельник І.П., Слободян В.А., Поліщук Н.Г., Шпільчак М.Б., Карпець М.П., Копелевич В.А., Ігонін А.М., Канівець Г.Е., Hennyu B., Qaspar C., Uelendy S., Reinecke A.Y. та інші.

Теоретичні розробки по обгунтуванню конструкційно-технологічних параметрів технічних засобів: віброгрохотів, пруткових елеваторів, сушильного обладнання, обладнання для подрібнення грудок, обладнання для фракціонування сипучих матеріалів, які використовуються в техно-

логії вермикомпостування, подаються в роботах Горячкіна В.П., Лурье А.Б., Петрова Г.Д., Летошева М.М., Кльоніна Н.І., Гладкова Н.Г, Олександрова В.І., Турбіна В.Г. та інших.

Узагальнення теоретичних та експериментальних даних дозволило встановити, що на даний час відсутнє наукове обґрунтування ефективної механізованої технології виробництва біогумусу, а також його фізико-механічних характеристик. Теоретичні та експериментальні розробки не мають наукового підтвердження доцільності вибору того чи іншого механізованого способу відділення дощових черв'яків від вермикомпосту; конструкційно-технологічні характеристики відділювачів мало вивчені. Крім того, в літературі відсутні дослідження по визначенню комплексного зв'язку між конструкційними та технологічними параметрами технічних засобів відділення черв'яків від вермикомпосту.

Необхідність вирішення цих питань обумовила мету і завдання наукових досліджень.

## **Розділ 2. Теоретичні дослідження з обґрунтування схеми та конструкційно-технологічних параметрів технічного засобу для відділення черв'яків від вермикомпосту**

На основі проведеного аналізу літературних і патентних джерел 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. В розглянутих схемах даних пристроїв зовнішніми чинниками, які створюють у вермикомпості несприятливі для черв'яків умови, є тепло, світло, холод, вода, вібрація. В основу конструкційно-технологічної схеми відділювача використано винахід Жигунова В.М., Крюкова А.Ф. (а.с.СРСР №№685251, 888892), за яким у вермикомпості несприятливі умови для черв'яків створюють одночасно світлом, холодним повітрям і ворушилкою. В прийнятій схемі нового пристрою для відділення черв'яків від вермикомпосту є характерним використання світла і гарячого повітря, причому вплив на поверхню вермикомпосту виконують спочатку світлом – для занурення черв'яків у вермикомпост, щоб зменшити негативний вплив гарячого повітря, а потім - теплом (рис. 1).

Робота відділювача характерна тим, що на стрічку конвейєра 1 з бункера дозатора 3 наспається вермикомпост з черв'яками шаром певної товщини. Стрічка конвейєра повинна бути виготовлена таким чином, щоб забезпечити переповзання черв'яків в піддони для збору біомаси. Вермикомпост переміщують в освітлювальну камеру 4. Черв'яки, які знаходяться на поверхні, під дією світла занурюються в субстрат, після чого вермикомпост потрапляє в термокамеру, де нагріте теплогенератором 5 повітря створює у вермикомпості несприятливі умови для черв'яків. Черв'яки під дією температури переповзуть в піддони для їх збору. Після відділення черв'яків вермикомпост вивантажується в бункер-нагромаджувач, а тепле повітря з термокамери повертається в теплогенератор для його нагрівання до заданої температури.

В конструкційній схемі відділювача для механізованого видалення дощових черв'яків використано 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 бункері-нагромаджувачі черв'яків знаходиться вода. Частина нижньої вітки поперечного транспортера занурюється у воду, а спеціальною щіткою 10 черв'яки вичісуються з імітатора в бункер – нагромаджувач 8. Вода служить для охолодження стрічки транспортера.

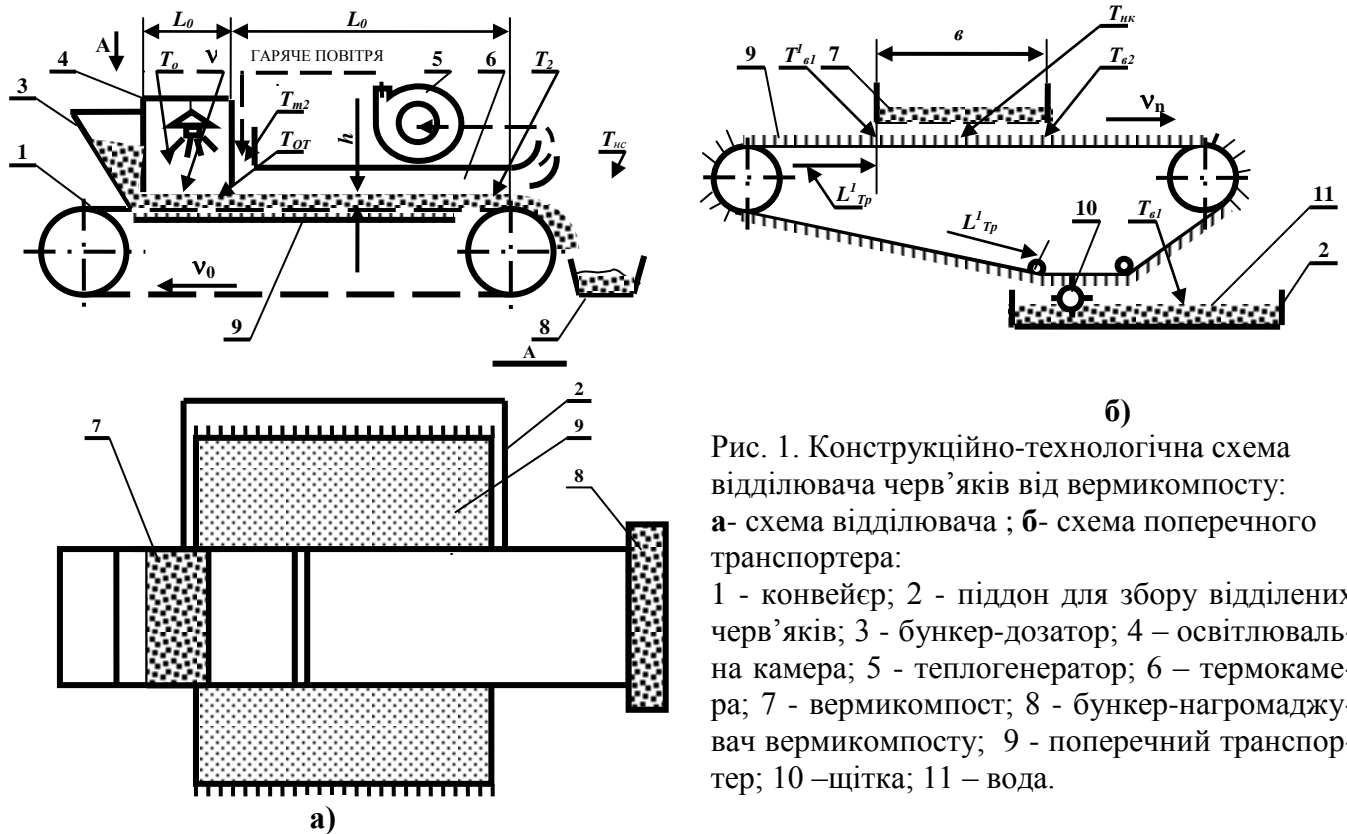


Рис. 1. Конструкційно-технологічна схема відділювача черв'яків від вермикомпосту: а- схема відділювача ; б- схема поперечного транспортера:

1 - конвейєр; 2 - піддон для збору відділених черв'яків; 3 - бункер-дозатор; 4 – освітлювальна камера; 5 - теплогенератор; 6 – термокамера; 7 - вермикомпост; 8 - бункер-нагромаджувач вермикомпосту; 9 - поперечний транспортер; 10 – щітка; 11 – вода.

Аналіз досліджуваних процесів механізованого відділення черв'яків від вермикомпосту показав, що ці процеси можна розглядати як випадкові величини, які протікають у часі. Розглядаючи дані процеси як вірогідності складних подій, визначено ступінь відділення дощових черв'яків від вермикомпосту  $\eta$ :

$$\eta = \frac{\xi_e}{0,01\xi_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

де  $\xi_0$  - ступінь вмісту черв'яків у вермикомпості, %;  $\xi_e$  - коефіцієнт відділення;  $\xi_e = \frac{M^1}{M_e}$ ;

$M^1$  - маса відділених черв'яків, кг;  $M_e$  - маса вермикомпосту з черв'яками, кг.

Для обґрунтування оптимальних режимів роботи відділювача - освітленості  $v$  і температури  $T_0$  в освітлювальній камері, температури в термокамері  $T_{m2}$ , швидкості руху конвейєра  $v_0$ , питомих витрат гарячого повітря  $L$  і продуктивності  $\Pi$ ; конструкційних параметрів: довжини освітлювальної і термокамер  $L_0$ ,  $L_T$ , ширини конвейєра  $\phi$ , питомих витрат тепла  $g_{нк}$ , коефіцієнта ко-



рисної дії термокамери  $\eta_K$  - за критерій оцінки якості виконання технологічного процесу занурювання черв'яків у вермикомпост прийнято ступінь занурювання  $\eta_3$ , а для процесу відділення черв'яків від вермикомпосту – ступінь відділення  $\eta_6$ .

Спостереженнями за процесом відділення черв'яків встановлено, що в початковий момент часу інтенсивність відділення рівна 0. Далі під дією зовнішніх чинників, з затримкою часу від початку його дії  $t_n^1$ , інтенсивність відділення буде зростати, до тих пір поки основна маса черв'яків не відділиться. Після цього інтенсивність буде спадати і прямувати до нуля (рис.2). На основі аналізу процесів занурювання черв'яків під дією світла і переповзання їх в інше середовище під дією тепла прийнято наукову гіпотезу про те, що інтенсивність цих процесів визначається рівнянням:

$$\frac{d\eta}{dt} = a(t - t_n^1) \exp\left\{-\frac{(t - t_n^1 - \gamma)^2}{\beta}\right\}. \quad (2)$$

Проінтегрувавши функцію (2), визначено залежність ступеня занурення черв'яків у вермикомпост, а також їх відділення від вермикомпосту від тривалості проходження процесу (рис.2):

$$\eta(t) = \frac{1}{2} a\beta \left[ \exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{(t - t_n^1 - \gamma)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi a\gamma\beta} \left[ \Phi_0\left(\frac{t - t_n^1 - \gamma}{\beta}\right) - \Phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right], \quad (3)$$

де  $t$ -тривалість проходження процесу, с, хв, год;  $a, \gamma, \beta$ -коефіцієнти (визначаються експериментальним методом);  $t_n^1$ - період, який характеризується тривалістю дії зовнішнього чинника на черв'яків до початку проходження технологічного процесу (занурювання черв'яків у вермикомпост, переповзання черв'яків в інше середовище), с, хв, год;  $\Phi_0$  – функція Лапласа.

На основі рівняння (3) отримано функціональний зв'язок  $\eta$  від параметрів відділювача:  $L_0$ ,  $L_T$ ,  $v_0$ ,  $v$ ,  $h$ ,  $\Pi$ , який визначається наступними формулами:

- для процесу занурювання черв'яків в вермикомпост:

$$\eta_3 = \frac{1}{2} a\beta \left[ \exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_0}{v_0} - t_n^1 - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi a\gamma\beta} \left[ \Phi_0\left(\frac{\frac{L_0}{v_0} - t_n^1 - \gamma}{\beta}\right) - \Phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right], \quad (4)$$

$$\eta_6 = \frac{1}{2} a\beta \left[ \exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_0 v h \rho_6}{\Pi} - t_n^1 - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi a\gamma\beta} \left[ \Phi_0\left(\frac{\frac{L_0 v h \rho_6}{\Pi} - t_n^1 - \gamma}{\beta}\right) - \Phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right], \quad (5)$$

- для процесу відділення черв'яків від вермикомпосту:

$$\eta_{\epsilon} = \frac{1}{2} a\beta \left[ \exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_T}{v_0} - t_n^1 - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi} a\gamma\beta \left[ \Phi_0\left(\frac{L_T}{v_0} - t_n^1 - \gamma\right) - \Phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right], \quad (6)$$

$$\eta_{\epsilon} = \frac{1}{2} a\beta \left[ \exp\left\{-\frac{\gamma^2}{\beta}\right\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_T \epsilon h \rho_{\epsilon}}{\Pi} - t_n^1 - \gamma\right)^2}{\beta}\right\} \right] + \sqrt{2\pi} a\gamma\beta \left[ \Phi_0\left(\frac{L_T \epsilon h \rho_{\epsilon}}{\Pi} - t_n^1 - \gamma\right) - \Phi_0\left(\frac{-\gamma}{\beta}\right) \right], \quad (7)$$

Отримано залежність швидкості поперечного транспортера  $v_n$  (м/с) від довжини стрічки  $L_{TP}$  (м) і маси захопленої води в розрахунку на одиницю площі стрічки транспортера  $\Delta m_{\epsilon}$  (кг/м<sup>2</sup>);

$$v_n = \frac{\alpha_{\epsilon} \left( L_{TP} + \epsilon \right) \left( T_{nc} - \frac{T_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 2}}{2} \right)}{c_{\epsilon} \cdot \Delta m_{\epsilon} \cdot \Delta T_n}, \quad (8)$$

де  $\alpha_{\epsilon}$  - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до води, Вт/м<sup>2</sup>К;  $T_{nc}$  - температура навколишнього середовища, К;  $T_{\epsilon 1}$  - початкова температура поверхні транспортера, К;  $T_{\epsilon 2}$  - температура нагрівання поверхні транспортера, К;  $c_{\epsilon}$  - питома теплоємність води, Дж/кгК;  $\Delta T_n = T_{\epsilon 2} - T_{\epsilon 1}$ .

Виведено формули для розрахунку конструкційних параметрів відділювача:

- довжина освітлювальної камери, (м): 
$$L_0 = \frac{\Pi}{\epsilon \cdot h \cdot \rho_{\epsilon}} t_0 ; \quad (9)$$

- швидкість конвейєра, (м/с): 
$$v_0 = \frac{\Pi}{\epsilon \cdot h \cdot \rho_{\epsilon}} ; \quad (10)$$

- довжина термокамери, (м): 
$$L_T = \frac{\Pi}{\epsilon \cdot h \cdot \rho_{\epsilon}} t_n ; \quad (11)$$

де  $t_0$  - час впливу світлом, необхідний для занурення черв'яків у вермикомпост, с;  $\Pi$  - продуктивність відділювача, кг/с;  $\rho_{\epsilon}$  - об'ємна маса вермикомпосту, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  - товщина шару вермикомпосту, м;  $\epsilon$  - ширина шару вермикомпосту, м;  $t_n$  - тривалість температурного впливу на черв'яків, с;  $t_n = t_{\rho} + t_n$ , де  $t_{\rho}$  - час, необхідний для створення несприятливих умов у вермикомпості, с;  $t_n$  - час, необхідний для переповзання черв'яків через щілини конвейєра в інше середовище, с;

- швидкість руху поперечного транспортера, (м/с):

$$v_n = \frac{\alpha_{\epsilon} \left( L_{TP}^1 + \frac{\Pi}{h \cdot \rho_{\epsilon} \cdot v_0} \right) \left( T_{nc} - \frac{T_{\epsilon 1} + T_{\epsilon 2}}{2} \right)}{c_{\epsilon} \cdot \Delta m_{\epsilon} \cdot \Delta T_n}. \quad (12)$$

Отримано основне рівняння теплового балансу термокамери:

$$L \cdot (I_1 - I_2) = \left[ C_0 \left( 1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_{\epsilon} \frac{\omega_1}{100} \right] \cdot \Pi \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \times (T_2 - T_{OT}) + \frac{\lambda}{\delta} (T_{m2} - T_{nc}) \cdot F, \quad (13)$$

на основі якого виведено формули для розрахунку таких показників:

- питомих витрат тепла, (Дж/м<sup>3</sup>·с):

$$g_{nk} = \frac{\left[ C_0 \left( 1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_{\epsilon} \frac{\omega_1}{100} \right] \cdot \Pi \cdot \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \times (T_2 - T_{om}) + \frac{\lambda}{\delta} (T_{m2} - T_{nc}) \cdot F}{\eta_n}, \quad (14)$$

де  $\eta_n$  – коефіцієнт тепловтрат в повітромагістралі;

- питомих витрат гарячого повітря:

$$L = \frac{\left[ C_0 \left( 1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_{\epsilon} \frac{\omega_1}{100} \right] \cdot \Pi \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \cdot (T_2 - T_{OT}) + \frac{\lambda}{\delta} (T_{T2} - T_{nc}) \cdot F}{I_1 - I_2}, \quad (15)$$

- коефіцієнта корисної дії термокамери:

$$\eta_K = \frac{\left[ C_0 \left( 1 - \frac{\omega_1}{100} \right) + C_{\epsilon} \frac{\omega_1}{100} \right] \cdot \Pi \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \cdot (T_2 - T_{OT})}{L(I_1 - I_2)} \cdot \eta_n. \quad (16)$$

де  $L$  - питомі витрати гарячого повітря, м<sup>3</sup>/с;  $I_1$  - тепловміст повітря на вході в термокамеру, Дж/м<sup>3</sup>;  $I_2$  - тепловміст атмосферного повітря, Дж/м<sup>3</sup>;  $C_0$  - питома теплоємність сухого вермикомпосту, Дж/кг·К;  $\omega_1, \omega_2$  - вологість вермикомпосту до термокамери і після неї, %;  $C_{\epsilon}$  - питома теплоємність води, Дж/кг·К;  $T_{OT}, T_2$  – температура вермикомпосту відповідно на вході і виході термокамери, град;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності стінок термокамери, Вт/м·К;  $\delta$  - товщина стінок термокамери, м;  $F$  - загальна площа стінок термокамери, м<sup>2</sup>;  $T_{m2}$  - температура гарячого повітря, К.

### **Розділ 3. Експериментальні дослідження технологічних процесів відділення черв'яків від вермикомпосту, фракційного складу біогумусу і його фізико-механічних показників**

Програмою експериментальних досліджень передбачено:

- вивчити фракційний склад біогумусу;
- визначити об'ємну масу, кути обвалення і схилу, та значення коефіцієнтів тертя субстрату, вермикомпосту, біогумусу, а також його фракцій в залежності від вологості;
- визначити оптимальні режими роботи відділювача черв'яків від вермикомпосту: товщину шару вермикомпосту, температуру повітря в освітлювальній камері, освітленість на поверхні вермикомпосту, температуру повітря в термокамері, а також значення коефіцієнтів  $\alpha, \gamma, \beta$  формул (2-7) для оптиміального режиму роботи відділювача черв'яків від вермикомпосту;

- визначити оптимальні значення  $\eta_6, \eta_3$ ;
- обґрунтувати оптимальні параметри відділювача: швидкість конвейєра, довжину освітлювальної і термокамер, ширину конвейєра, швидкість поперечного транспортера, питомі витрати тепла, питомі витрати гарячого повітря, коефіцієнт корисної дії термокамери.

В процесі проведення експериментальних досліджень фракційного складу біогумусу, на основі даних академіка Городнього М.М. (1990), що в західних країнах біогумус розділяють на 3 фракції за величиною гранул: найдрібніша – 0,1-0,3 мм, дрібна 0,3-0,7 мм і крупна більше 0,7 мм, в інших країнах, в т. ч. країнах СНГ ці фракції значно крупніші - відповідно до 1 мм, до 2 мм і до 3 мм, одержаний біогумус 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. Кожна фракція підлягала дослідженням на вміст азоту, фосфору, калію, гумусу, копролітів, клітковини та реакції середовища за методикою М 46.16.20.01-94 .

Отримані результати досліджень по вивченню фракційного складу біогумусу співпадають з рекомендаціями академіка Городнього М.М. про доцільність виробництва біогумусу з розмірами гранул до 1, 2 і 3 мм, які є вихідними даними для розрахунків і проектування обладнання для фракціонування біогумусу. В результаті експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей біогумусу, вермикомпосту і субстрату визначено показники (табл.1), які застосовувались при проведенні розрахунків конструкційних параметрів технічних засобів для переробки біогумусу-сирцю при виконанні дослідно-конструкторської роботи в УкрНДПВТ. Схема експериментальних досліджень для визначення параметрів технологічного процесу відділення черв'яків прийнята у відповідності з матрицями планування експериментів. Для вирішення поставлених завдань була виготовлена експериментальна установка, на якій відпрацьовані технологічні режими процесу відділення черв'яків від вермикомпосту технічним засобом.

Таблиця 1.

Фізико-механічні показники біогумусу, вермикомпосту, субстрату

Показник	Біогумус	Вермикомпост	Субстрат
Вологість, %	40-50	70-75	70-80
Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	678	670	550
Кут обвалення, град.	30	90	90
Кут схилю, град.	28,5	60	65
Коефіцієнти тертя:			
внутрішнього	0,68	0,71	0,63
по металу	0,59	0,70	0,68
по деревині	0,72	0,95	0,87
по пластмасі	0,71	0,79	0,64
по склу	0,77	0,90	0,76

В результаті лабораторних досліджень з використанням експериментальної установки визначено оптимальну температуру вермикомпосту  $T_B = 15-25$  °С і на трьох рівнях керованих факторів  $T_0 = 10, 20, 40$  °С,  $\nu = 50, 200, 800$  лк,  $T_{m2} = 60, 80, 100$  °С,  $h = 15, 30, 45$  мм при тривалості

занурення черв'яків у вермикомпост  $t_3 = 3$  хв і тривалості процесу відділення  $t_B = 1,33$  год отримано числові моделі з вихідними параметрами  $\eta_3(T_0, \nu)$ ,  $\eta(T_{m2}, h)$ :

$$\eta_3 = \frac{-109,5415}{T_0 \cdot \nu} - 0,1243 \frac{T_0}{\nu} + 0,9401; \quad (17)$$

$$\eta_e = -0,4368 \frac{T_{m2}}{h} - 3,7204 \frac{h}{T_{m2}} + 3,5334. \quad (18)$$

Поверхні відгуку  $\eta_e(T_{m2}, h)$  (рис.3 а),  $\eta_3(T_0, \nu)$  (рис.3 б) мають випуклий характер з зоною максимуму  $T_0 = 20$  °С,  $\nu = 200$  лк,  $T_{m2} = 80$  °С,  $h = 30$  мм. Використовуючи двомірні перетини (рис.3 в,г), встановлено, що найбільш раціональними режимами роботи відділювача є  $T_0=20-30$  °С,  $\nu = 200-300$  лк,  $T_{m2} = 80-90$  °С,  $h = 30-35$  мм, при яких забезпечується оптимум  $\eta_3$  і  $\eta_e$ .

Для визначення значення критерія оцінки роботи відділювача  $\eta_3$ ,  $\eta_e$  за даними експериментальних досліджень побудовано емпіричні залежності  $\eta_3 = F_e(t)$ ,  $d\eta_3/dt = f_e(t)$ ,  $\eta_e = F_e(t)$ ,  $d\eta_e/dt = f_e(t)$ , за якими аналітично за методом найменших квадратів визначено коефіцієнти  $a$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ . Для процесу занурювання черв'яків у вермикомпост отримано значення коефіцієнтів  $a = 3,8 \times 10^{-13}$ ,  $\gamma = 25,6$ ,  $\beta = -20,8$ . Для процесу відділення черв'яків -  $a=0,11$ ,  $\gamma = 0,14$ ,  $\beta = 0,17$ . З урахуванням залежностей (2), (3), математичні моделі цих процесів будуть мати вигляд: для процесу занурювання черв'яків:

$$f(t) = d\eta_3/dt = 3,8 \cdot 10^{-13} t \exp\left\{-\frac{(t-25,6)^2}{-20,8}\right\}; \quad (19)$$

$$F(t) = \eta_3 = 3,9 \cdot 10^{-12} \left( \exp\{31\} - \exp\left\{-\frac{(t-25,6)^2}{-20,8}\right\} \right) + \\ + 2 \cdot 10^{-10} \sqrt{2\Pi} \left[ \Phi_0\left(\frac{t-25,6}{-20,8}\right) - \Phi_0(1,23) \right]; \quad (20)$$

для процесу відділення:

$$f(t) = d\eta_e/dt = 0,1 t \exp\left\{-\frac{t-0,14}{0,17}\right\} \quad (21)$$

$$F(t) = \eta_e = 7,7 \cdot 10^{-3} (\exp\{-0,82\} - \exp\left\{-\frac{(t-0,14)^2}{0,17}\right\}) + \\ + 0,26\sqrt{2\Pi} \left[ \Phi_0\left(\frac{t-0,14}{0,17}\right) - \Phi_0(-0,12) \right] \quad (22)$$

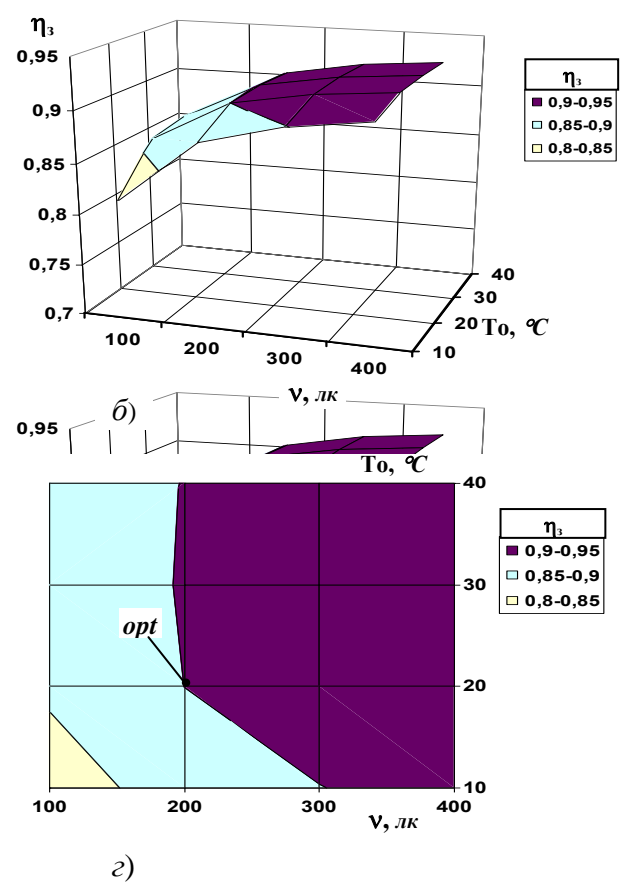
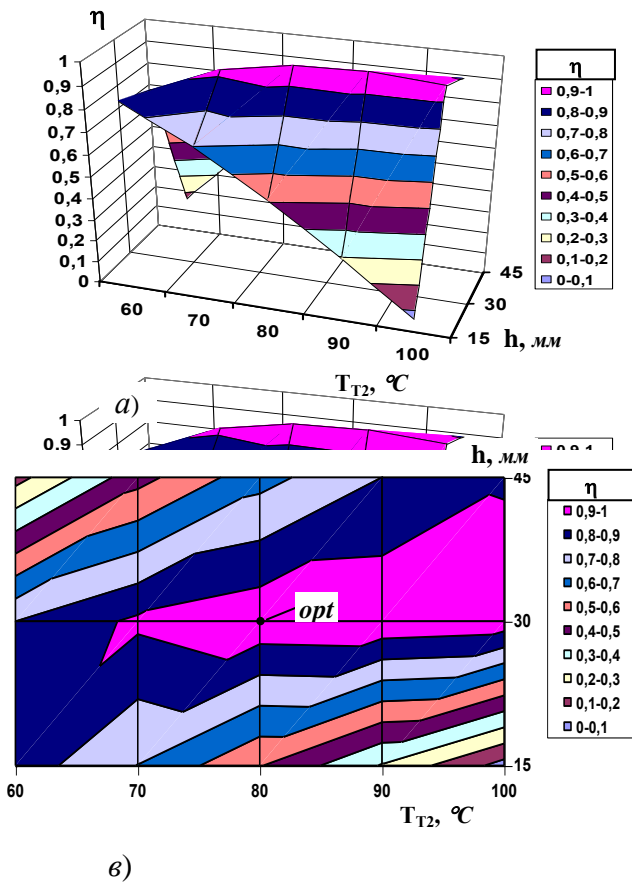


Рис.3. Поверхні відгуку показників якості відділення черв'яків від вермикомпосту: а – ступеня відділення черв'яків від вермикомпосту; б – ступеня занурення черв'яків у вермикомпост; в, г – двомірні перетини парних взаємодій  $T_{m2}, h; T_o, v$ .

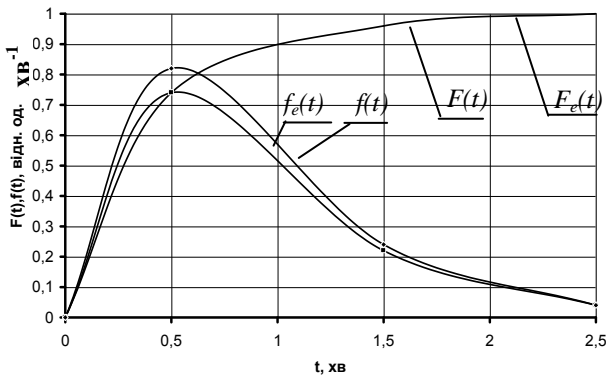


Рис.4. Залежності коефіцієнта занурювання черв'яків у вермикомпост  $\eta_3 = F_e(t)$ ,  $\eta_3 = F(t)$  і інтенсивності  $d \eta_3 / d t = f_e(t)$ ,  $d \eta_3 / d t = f(t)$  від тривалості процесу:  $F_e(t), f_e(t)$  - емпіричні функції;  $F(t), f(t)$  - теоретичні функції.

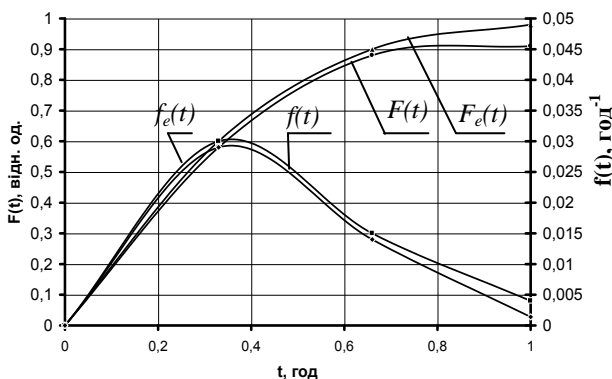
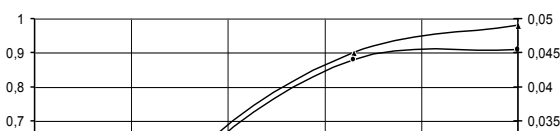


Рис.5. Залежності коефіцієнта відділення черв'яків  $\eta_6 = F_e(t)$ ,  $\eta_6 = F(t)$  і інтенсивності  $d \eta_6 / d t = f_e(t)$ ,  $d \eta_6 / d t = f(t)$  від тривалості процесу:  $F_e(t), f_e(t)$  - емпіричні функції;  $F(t), f(t)$  - теоретичні функції



За графіками (рис.4, 5) визначено, що параметри  $\eta_3 = \eta_e = 0,9-0,95$ . На основі формул (5), (7), (20), (22) отримано функціональні залежності  $\eta_3$  і  $\eta_e$  від  $L_0, L_T, v, h, \Pi, v_0$ :

$$F(t) = \eta_3 = 3,9 \cdot 10^{-12} \left[ \exp\{31\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_0}{60v_0} - 25,6\right)^2}{-20,8}\right\} \right] +$$

$$+ 2 \cdot 10^{-10} \sqrt{2\Pi} \left[ \Phi_0\left(\frac{\frac{L_0}{60v_0} - 25,6}{-20,8}\right) - \Phi_0(1,23) \right];$$
(23)

$$F(t) = \eta_e = 7,7 \cdot 10^{-3} (\exp\{-0,82\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_T}{3600v_0} - 0,14\right)^2}{0,17}\right\}) +$$

$$+ 0,26\sqrt{2\Pi} \left[ \Phi_0\left(\frac{\frac{L_T}{3600v_0} - 0,14}{0,17}\right) - \Phi_0(-0,12) \right];$$
(24)

$$F(t) = \eta_3 = 3,9 \cdot 10^{-12} \left[ \exp\{31\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_0 v h \rho_e}{60\Pi} - 25,6\right)^2}{-20,8}\right\} \right] +$$

$$+ 2 \cdot 10^{-10} \sqrt{2\Pi} \left[ \Phi_0\left(\frac{\frac{L_0 v h \rho_e}{60\Pi} - 25,6}{-20,8}\right) - \Phi_0(1,23) \right];$$
(25)

$$F(t) = \eta_e = 7,7 \cdot 10^{-3} (\exp\{-0,82\} - \exp\left\{-\frac{\left(\frac{L_E v h \rho_e}{3600\Pi} - 0,14\right)^2}{0,17}\right\}) +$$

$$+ 0,26\sqrt{2\Pi} \left[ \Phi_0\left(\frac{\frac{L_E v h \rho_e}{3600\Pi} - 0,14}{0,17}\right) - \Phi_0(-0,12) \right];$$
(26)

За формулами (23) (24) побудовано графіки з вихідними параметрами  $\eta_3 (L_0, v_0)$ ,  $\eta_e (L_T, v_0)$ , а також двомірні перетини парних взаємодій  $L_0, v_0, L_T, v_0$  на  $\eta_3$  і  $\eta_e$  (рис. 6). Також встановлено, що для кожного заданого значення  $L_0, L_T$  відповідає мінімальне і максимальне

значення,  $v_{0min}$ ,  $v_{0max}$  при якому забезпечується оптимум  $\eta_3 = \eta_6 = 0,90 - 0,95$ . Для обґрунтування значень  $L_0$ ,  $L_T$ , а також  $v_{0min}$ ,  $v_{0max}$  використано систему рівнянь:

$$\begin{cases} \Pi_{min} = v_{0min} \cdot v \cdot h \cdot \rho \\ \Pi_{max} = (v_{0min} + \Delta v_0) \cdot v \cdot h \cdot \rho \end{cases} \quad (22)$$

де  $\Pi_{min}$ ,  $\Pi_{max}$  – раціональні значення продуктивності відділювача -  $\Pi_{min} = 0,139$  кг/с (500 кг/год),  $\Pi_{max} = 0,278$  кг/с (1000 кг/год), див. табл.2;  $\Delta v_0 = v_{0max} - v_{0min} = 0,0035$  м/с (12,5 м/год), див. рис. 6 з;  $h = 0,03$  м;  $\rho = 670$  кг/м<sup>3</sup> (табл. 1).

Розв'язком даної системи відносно  $v$  і  $v_{0min}$  є оптимальні значення  $v_{opt} = 2$  м, а також раціональні значення:  $v_{0max} = 0,0035$  м/с (12,5 м/год),  $v_{0min} = 0,007$  м/с (25 м/год). Після чого за рис. 6 в,з визначено оптимальну довжину освітлювальної і термокамери  $L_{0opt} = 0,4$  м,  $L_{Topt} = 30$  м.

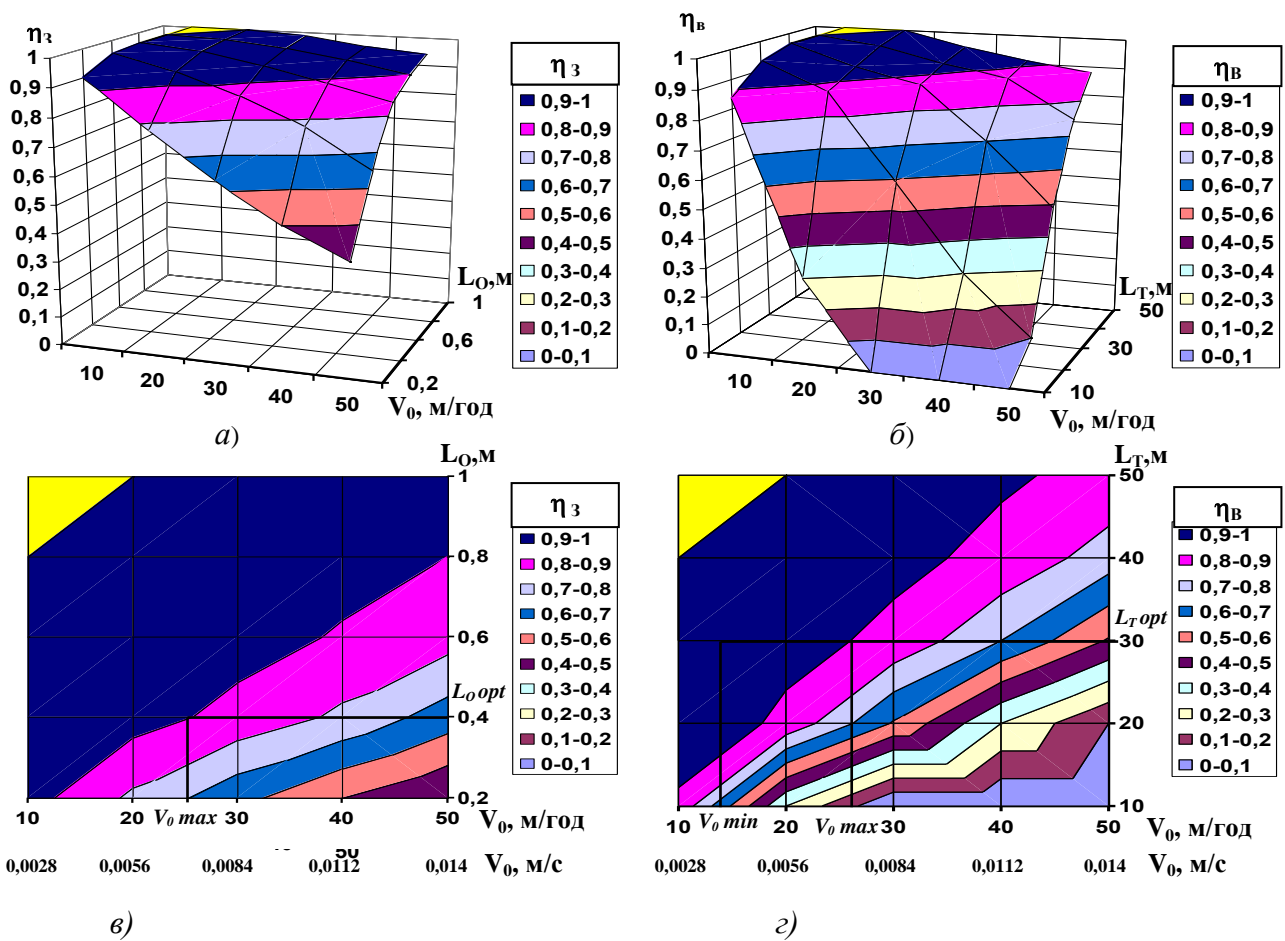


Рис. 6. Графіки залежностей: а -  $\eta_3 (L_0, v_0)$ ; б -  $\eta_6 (L_T, v_0)$ ; в, з – їх двомірні перетини парних взаємодій  $L_0, v_0$ ;  $L_T, v_0$  на  $\eta_3$  і  $\eta_6$ .

За формулою (8) встановлено, що на величину швидкості поперечного транспортера для видалення черв'яків суттєво впливають  $L_T^1$  і  $\Delta m_6$ . Графічним методом  $v_n (L_T^1, \Delta m_6)$  в межах варіювання  $L_T^1 = 0 - 10$  м з інтервалом 2 м і  $\Delta m_6 = 0,050 - 0,500$  кг/м<sup>2</sup> з інтервалом 0,050 кг/м<sup>2</sup> визначено раціональні значення довжини стрічки поперечного транспортера від місця виходу його



з води до конвейєра -  $L_T^1 = 1,5 - 2$  м, масу захопленої води в розрахунку на одиницю площі стрічки транспортера -  $\Delta m_{\epsilon} = 0,25 - 0,4$  кг/м<sup>2</sup>, 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 за формулами (14-16) визначено, що для підтримання температури в термокамері 80-90 °С питомі витрати тепла складають  $g_{nk} = 19,371 - 36,107$  кДж/с, витрати гарячого повітря  $L = 1,9 - 3,6$  м<sup>3</sup>/с, коефіцієнт корисної дії термокамери  $\eta_K = 0,82 - 0,88$ .

#### **Розділ 4. Впровадження і ефективність механізованої переробки вермикомпосту в товарний біогумус**

Для визначення техніко-експлуатаційних і економічних показників обладнання для переробки вермикомпосту проведено розрахунки за критерієм оцінки: оптимальна собівартість виконання технологічної операції. Отримано залежності питомих витрат на виконання технологічної операції,  $z$  (грн./т) від продуктивності,  $\Pi$  (т/год) і балансової вартості обладнання,  $B$  (грн).

$$\text{- для відділювача черв'яків з субстратом: } z = \frac{32.42}{\Pi} + K \frac{B}{\Pi}, \quad (23)$$

$$\text{- для відділення черв'яків від субстрату: } z = \frac{69.14}{\Pi} + K \frac{B}{\Pi}, \quad (24)$$

$$\text{- для сушарки біогумусу: } z = \frac{133.43}{\Pi} + K \frac{B}{\Pi}, \quad (25)$$

$$\text{- для обладнання для видалення твердих предметів: } z = \frac{4.96}{\Pi} + K \frac{B}{\Pi}, \quad (26)$$

$$\text{- для відділювача дощових черв'яків від вермикомпосту і сушіння біогумусу:} \\ z = \frac{135.57}{\Pi} + K \frac{B}{\Pi}, \quad (27)$$

$$\text{- для подрібнювача біогумусу: } z = \frac{5.71}{\Pi} + K \frac{B}{\Pi}, \quad (28)$$

$$\text{- для обладнання фракціонування біогумусу: } z = \frac{5.5}{\Pi} + K \frac{B}{\Pi}, \text{ де } K = 0,00054. \quad (29)$$

За результатами аналізу вищеприведених моделей графічним методом встановлено техніко-експлуатаційні і економічні показники обладнання (табл.2).

Встановлено, що механізовані технології вермикомпостування доцільно використовувати для багатотоннажного виробництва біогумусу без використання високотемпературного сушіння в вермигосподарствах потужністю не менше 1000 тонн на рік, що забезпечує собівартість отримання біогумусу в межах від 67,45 до 135,05 грн/т. Використання високотемпературного сушіння підвищує енергоємність біогумусу в 20-30 разів.

Техніко-експлуатаційні та економічні показники обладнання  
для переробки вермикомпосту в товарний біогумус

Назва обладнання	Продуктивність, т/год	Номінальне річне завантаження, т	Балансова вартість, тис. грн.	Питомі витрати, грн/т.
1.Відділювач дошових черв'яків з субстратом	3 - 5	1050 - 1750	30 - 50	9,7 – 19,8
2.Відділювач дошових черв'яків від субстрату	0,5 – 1,0	350 - 700	100-150	120 – 300
3.Відділювач черв'яків з сушінням біогумусу	0,5 - 1	350 - 700	100 - 150	190 – 433
4.Сушарка біогумусу	0,5 – 1,0	350 - 700	100 - 150	187 – 429
5.Обладнання для попередньої переробки і відділення твердих предметів	10 - 15	7000 - 10500	30 - 50	1,41 – 3,19
6. Подрібнювач біогумусу	5 - 10	3500 - 7000	30 - 50	2,19 – 6,54
7. Обладнання для фракціонування біогумусу	5 - 10	3500 - 7000	30 - 50	2,17 – 6,50

Енергетичним аналізом встановлено, що значення енергоємкості отримання біогумусу залежить від прийнятої технологічної схеми. В результаті чого визначено, що енергоємність субстрату знаходиться в межах 0,638-0,686 МДж/кг, вермикомпосту – 0,909-0,987 МДж/кг, біогумусу 2,070-61,740 МДж/кг, а також встановлено коефіцієнти енергетичної ефективності механізованої технології вермикомпостування: для отримання субстрату - 1,43; вермикомпосту - 1,53 і товарного біогумусу - 1,98. Визначено коефіцієнти енергетичної ефективності використання вермикомпосту - 4,31, товарного біогумусу - 2,70 та при локальному внесенні товарного біогумусу - 20,29.

В результаті виробничого впровадження в ВТБ “Дослідницьке” при локальному внесенні біогумусу під цукровий буряк в дозі 750кг/га отримано підвищення врожайності на 41ц/га в порівнянні контролем без добрив. Економічна ефективність внесення біогумусу становила 210 грн./га, що забезпечує рівень рентабельності його використання – 132%.

### ВИСНОВКИ

На основі виконаної роботи, присвяченої механізованій переробці вермикомпосту для отримання товарного біогумусу, можна зробити такі висновки:

1. Встановлено, що питанням механізованого відділення черв'яків від вермикомпосту не приділяється належна увага. Теоретичні та експериментальні розробки по обґрунтуванню конструкційно-технологічних параметрів технічних засобів для переробки вермикомпосту: подрібнювачів, сушильного обладнання, обладнання для фракціонування, подаються в роботах Горякіна В.П., Петрова Г.Д., Лурье А.Б., Летошева М.М., Кльоніна Н.І., Турбіна В.Г. та ін..

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. Внаслідок цього тенденція розвитку способів і пристроїв для відділення черв'яків від вермикомпосту полягає в розробці технічних засобів, які створюють у верми-

компості несприятливі умови для їх існування за допомогою зовнішніх чинників (тепла, холоду, води, вібрацій), що змушує їх переповзати в штучно створене середовище.

2. Для прийнятої конструкційно-технологічної схеми нового пристрою для відділення черв'яків від вермикомпосту характерним є використання спільної дії світла і гарячого повітря. З метою зняття негативного впливу на черв'яків спочатку дією світла примушують їх занурюватися у вермикомпост, а потім дією температури переповзати в штучно створене середовище, що підвищує ефективність роботи відділювача.

3. Досліджено закономірність виконання технологічного процесу відділювачем, в результаті чого виявлено експоненційну залежність інтенсивності занурювання черв'яків у вермикомпост (2), (19) під дією світла і інтенсивності відділення черв'яків від вермикомпосту під дією тепла (2), (21) від тривалості технологічного процесу  $t$ . На цій основі для обґрунтування критерія якості виконання технологічного процесу технічним засобом отримано основні залежності ступенів занурення черв'яків у вермикомпост і відділення їх з вермикомпосту  $\eta_3$  і  $\eta_6$  від  $t$  (3), (20), (22), що дало можливість визначити функціональний взаємозв'язок  $\eta_3$  і  $\eta_6$  між параметрами відділювача (23-26).

4. Експериментальним шляхом, за критеріями оцінки  $\eta_3$  і  $\eta_6 \rightarrow \max$ , з використанням двомірних перетинів встановлено, що оптимальними режимами роботи відділювача є температура в освітлювальній камері – 15-25 °С, освітленість поверхні вермикомпосту - 200-300 лк, температура в термокамері – 80-90 °С і товщина шару вермикомпосту – 30-35 мм. На основі визначених факторів встановлено значення  $\eta_3$  і  $\eta_6 = 0,9-0,95$ . Підвищення температури в термокамері вище 100 °С негативно впливає на ефективність відділення.

5. За критерієм оцінки  $\eta_3$  і  $\eta_6 = 0,9-0,95$  встановлено оптимальні конструкційні параметри відділювача: довжина освітлювальної камери – 0,4 м, довжина термокамери – 30 м, ширина конвейєра – 2 м, швидкість конвейєра – 0,0035 - 0,007 м/с (12,5-25 м/год), при яких забезпечується оптимальна продуктивність відділювача – 0,139 - 0,278 кг/с (500-1000 кг/год) по вермикомпосту.

6. Визначено довжину стрічки транспортера для видалення черв'яків з відділювача від місця виходу його з води до конвейєра – 1,5-2,0 м, масу захваченої води в розрахунку на одиницю площі стрічки поперечного транспортера – 0,2 – 0,35 кг/м<sup>2</sup>, швидкість поперечного транспортера - 0,01-0,015 м/с (36-58м/год).

7. Встановлено, що для забезпечення температурного режиму в термокамері – 80-90 °С для відділювача продуктивністю 0,139 - 0,278 кг/с питомі витрати тепла складуть 19,371 – 36,107 кДж/с, витрати гарячого повітря – 1,9 – 3,6 м<sup>3</sup>/с, коефіцієнт корисної дії термокамери – 0,82 – 0,88.

8. На підставі досліджень фракційного вскладу біогумусу і його фізико-механічних властивостей встановлено: вихідними даними для розрахунків і проектування обладнання для фракціонування є товарний біогумус розміром гранул до 1 мм, до 2 мм та до 3 мм; об'ємна маса,

кути обвалення і схилу, коефіцієнти тертя суттєво залежать від його вологості. Визначено значення вищевказаних показників, що дало можливість використовувати відомі методики розрахунку параметрів обладнання для переробки вермикомпосту при проведенні дослідно-конструкторської роботи в УкрНДПВТ.

9. На основі залежності питомих витрат на виконання технологічної операції відділення черв'яків від вермикомпосту від продуктивності відділювача і його балансової вартості, визначено раціональну продуктивність відділювача – 500 – 1000 кг/год і його балансову вартість -100-150 тис. грн., що забезпечує питомі витрати на виконання технологічної операції відділення черв'яків від вермикомпосту – 120-300 грн/т.

10. Встановлено, що механізоване виробництво товарного біогумусу є економічно доцільним у вермигосподарствах потужністю не менше 1000 т на рік, а використання високотемпературного сушіння підвищує енергоємність товарного біогумусу в 20 разів. Питомі витрати на виконання технологічної операції технічним засобом лінійно залежать від його балансової вартості і мають нелінійну залежність від продуктивності технічного засобу. Слід відмітити, що прийняття продуктивності на етапі розробки обладнання меншою за оптимальну, суттєво підвищує величину питомих витрат на виконання технологічної операції технічним засобом. Завищення продуктивності технічного засобу, від його оптимальної, суттєво не впливає на ефективність його роботи. Визначено оптимальну продуктивність обладнання для переробки вермикомпосту. А також розроблено технологічну схему механізованої переробки біогумусу, що забезпечує енергоємність виробництва товарного біогумусу – 2,0 - 2,1 МДж/кг, питомі витрати складуть в межах 67,45 – 135,05 грн/т.

11. Експериментальне впровадження механізованої технології виробництва і використання товарного біогумусу в ВТБ „Дослідницьке” дало прибавку врожаю коренеплодів цукрових буряків 41 ц/га, що забезпечило економічний ефект 210 грн./га та рівень рентабельності 132%.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ**

### **НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Сенчук М.М., Осьмак Г.М. Вивчення фракційного складу біогумусу // Технічні та технологічні аспекти розвитку та випробування нової с.-г. техніки і технологій. Збірник наукових праць. / УкрНДПВТ-Дослідницьке, 1995.-С.197-204. *Дисертантом розроблена методика досліджень і проведено аналіз отриманих результатів.*
2. 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. Збірник наукових праць. / УкрНДПВТ-Дослідницьке, 1995.-С.208-220. *Дисертантом розроблена методика досліджень, проведено експериментальні дослідження і аналіз результатів.*
3. Сенчук М.М. Вивчення процесу відділення черв'яків від вермикомпосту // Техніко-технологіч-

- ні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наук. пр./УкрНДІПВТ.- Вип.1.-Дослідницьке, 1998.-С.151-154.
3. 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: Збірник наук. пр./УкрНДІПВТ.- Вип.1.-Дослідницьке, 1998.-С.145-147.
  4. Сенчук М.М. Передумови розвитку механізованого вермикомпостування.// Техніка АПК. – 1998. -№3. –С.20-21.
  5. Сенчук М.М. Передумови розвитку механізованого вермикомпостування.// Техніка АПК. – 1998. -№3. –С.20-21.
  6. Сенчук М.М., Осьмак Г.М., Сенчук С.М. Визначення фізико-механічних характеристик біогумусу, вермикомпосту, субстрату. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наук. пр./УкрНДІПВТ.- Вип.2.-Дослідницьке, 1999.-С.88-94. *Дисертацією розроблена методика досліджень і проведено аналіз отриманих результатів.*
  7. Сенчук М.М. Енергетичний аналіз механізованої технології вермикомпостування. // Агро-інженерні дослідження. Вісник Львівського державного аграрного університету. -Вип.3.-Львів, 1999.-С.180-187.
  8. Сенчук М.М. Теоретичні основи механізованого вермикомпостування. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наук. пр./УкрНДІПВТ.- Вип.3.-Дослідницьке, 2000.-С.132-138.
  9. 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: Збірник наук. пр./УкрНДІПВТ.- Вип.4.-Дослідницьке, 2001.-С.171-175.
  10. Сенчук М.М., Сенчук С.М. Товарний біогумус і енергетична ефективність його локального внесення. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наук. пр./УкрНДІПВТ.- Вип.5.-Дослідницьке, 2002.-С.158-161. *Дисертацією розроблена методика досліджень і проведено аналіз отриманих результатів.*
  11. Сенчук М.М. Обґрунтування основних параметрів і розробка технічних засобів для одержання біогумусу // Праці Міжнар. конф. “Універсальна мобільна енергетична, модульно-блочна техніка і прогресивні механізовані технології в сільськогосподарському виробництві ХХІ століття”.-Дослідницьке:УкрНДІПВТ.-2001р-С.13.
  12. Сенчук М.М. Обґрунтування схеми та конструкційно-технологічних параметрів технічного засобу для відділення дощових черв'яків від вермикомпосту. // Техніко-технологічні аспекти

розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наук. пр./ УкрНДПВТ.- Вип.6 (20), книга 1-Дослідницьке, 2003.-С.220-230.

13. Пат. України № 13895 А АО1К67/033, СО5F9/04 Спосіб одержання біогумусу із червокомпосту і установка для його здійснення / Сенчук М. М. Таргоня В. С., (Україна). - №94097022; Заявл 21.09.94; Опубл.25.04.97; Бюл. №2 – 4с. *Дисертантом розроблено технологічну схему способу.*
14. Пат. № 20210 А Україна, МПК АО1К67/033, СО5F4/06 Установка для одержання товарного біогумусу із вермикомпосту / Сенчук М. М., Погорілий Л. В. (Україна) – Укр.НДПВТ, №96041385; Заявл.09.04.96; Опубл.27.02.98; Бюл. №1.- 4с. *Дисертантом розроблено технологічну схему установки.*
15. Пат № 17772 А Україна, МПК. АО1К67/00 Установка для відділення черв'яків від субстрату / Погорілий Л. В. Сенчук М. М. та інші (Україна) – УкрНДПВТ,-№96083168; Заявл. 07.08.96; Опубл.30.10.97, Бюл. №5.- 3с. *Дисертантом розроблено технологічну схему установки.*

### АНОТАЦІЯ

Сенчук М.М. Обґрунтування основних параметрів і розробка технічних засобів для переробки вермикомпосту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 - Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. - Національний науковий центр “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” Української академії аграрних наук, смт Глеваха, 2004.

Дисертація присвячена питанням механізації переробки вермикомпосту для отримання біогумусу і біомаси дощових черв'яків. У роботі наведено аналітичні дослідження технологічних вирішень механізованої переробки вермикомпосту, розроблено технічні засоби для відділення черв'яків від вермикомпосту і наведена методика їх інженерного розрахунку, а також наведені енергетичний і економічний аналізи технологічного процесу переробки вермикомпосту. Встановлено, що механізовані технології доцільно використовувати для багатотоннажного виробництва біогумусу у вермигосподарствах потужністю не менше 1000 т на рік, що забезпечує собівартість виробництва в межах 67,45-135,05 грн/т. В результаті виробничого впровадження в ВТБ “Дослідницьке” отримано прибавку біологічної врожайності цукрових буряків 41ц з гектара, коефіцієнт енергетичної ефективності використання товарного біогумусу склав 6,75, а економічна ефективність внесення біогумусу становила 210 грн/га .

Ключові слова: вермикомпостування, вермикомпост, вермикультура, біогумус, відходи, технічні засоби.

### АННОТАЦИЯ

Сенчук Н.Н. Обоснование основных параметров и разработка технических средств для переработки вермикомпоста. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 - Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Национальный научный центр "Институт механизации и электрификации сельского хозяйства" Украинской академии аграрных наук, пгт Глеваха, 2004.

Диссертация посвящена вопросам механизации переработки вермикомпоста. В работе приведены аналитические исследования механизированной переработки вермикомпоста, разработаны технические средства для отделения дождевых червей от вермикомпоста и дана методика их инженерного расчета, а также энергетический и экономический анализы технологического процесса переработки вермикомпоста. Механизированные технологии целесообразно использовать в вермихозяйствах мощностью не менее 1000 т биогумуса в год, что обеспечивает себестоимость его производства в пределах 67,45-135,05 грн/т. Экспериментальное внедрение результатов работы позволило получить прибавку биологической урожайности корнеплодов сахарной свеклы 41 ц с гектара, коэффициент энергетической эффективности использования товарного биогумуса составил 6,75, а экономический эффект - 210 грн/га.

Ключевые слова: вермикомпостирование, вермикомпост, вермикультура, биогумус, отходы, технические средства.

#### A N N O T A T I O N

Senchuk M.M. The main parameters substantiation and development of technical means for processing of vermi-compost. - Manuscript.

The thesis on competition of scientific degree Cand.Tech.Sc. 05.05.11 Machines and means for the agricultural production mechanization.- The National center of science "Institute of mechanization and electrification of agriculture" Ukrainian academy of agrarian sciences, Glevaha, 2004.

The project covers theoretical generalization and new solutions on absence of the biohumus production technical means. The scientific problem requires: analytical researches on technological solutions of vermicompost mechanized processing, typical features determination and technical means development for separation worms from vermicompost; experimental verification of theoretical researches and development of a calculation method for the separator; power-producing and economic substantiation of the vermicompost mechanized processing. It is defined, that mechanized technologies are expedient for biohumus large-tonnage production not less than 1000 t a year and 67.45 – 135.05 hrn/t manufacturing cost. Experimental introduction of researches enables to increase yield of sugar beet up to 41 centner per hectar, a coefficient of biohumus application efficiency 6.75 , economical effect – 210 hrn/ha.

Key words: vermicomposting; vermicompost; vermiculture; biohumus; recycling; technical means; processing of vermicompost.

---

Відповідальний за випуск: Шейченко В.О.

Підписано до друку 13.05. 2004р. Формат 60x84 1/16. Папір офс. Гарнітура Times New Roman друк на різнографі . Обсяг 1,0 ум. друк. арк. Наклад 100 прим. Зам. №5. Дільниця оперативного друку Укр НДПВТ, 08654, смт. Дослідницьке Васильківського району Київської обл.