

СУЧАСНІ ВЕРМІКОПОСТЕРИ ЇХНІ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Гетта А.А., Ковров О.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

пр. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро

nastya.getta18@gmail.com, kovrov.o.s@nmu.one

У роботі розглядається вермікомпостування як ефективна біотехнологія переробки органічних відходів за участю дощових черв'яків і супутньої мікрофлори. Проаналізовано екологічні та агрономічні переваги цього процесу, зокрема зменшення навантаження на полігони та виробництво цінного органічного добрива – біогумусу. Основна увага приділена сучасним типам компостерів, які використовуються у вермікультури. Описано особливості основних систем вермікомпостування, їхню конструкцію, принцип дії, переваги та недоліки.

В статті приведений контейнерний метод, що базується на шаровому укладанні субстрату в герметичних або напіввідкритих ємностях і міграції черв'яків між контейнерами для отримання готового біогумусу. Розглянуті траншейні та валкові системи, у яких органічні матеріали викладають у великих траншеях або довгих валках, періодично поливають і перевертають або доповнюють свіжим субстратом, стимулюючи поступове переміщення черв'яків і багатшарове розкладання. Наведені промислові барабанні компостери (роторні обертові барабани) – закриті циліндричні ємності з механізмами змішування та аерації, що працюють як періодичні або безперервні лінії, дозволяючи інтенсивно обробляти великі обсяги відходів із точним контролем температури та повітря. Приведені також вертикальні лоткові системи, де субстрат завантажується тонкими шарами на сітчасте дно, а готовий компост збирається знизу за допомогою скребоків або стягуючих планок, що забезпечує мінімальне втручання і високу чистоту кінцевого продукту. Також розглянуті (Системи безперервної дії) (Continuous Flow–Through, CFT) які базуються на єдиному принципі безперервного потоку субстрату, що забезпечує оптимальні умови для життєдіяльності дощових черв'яків і пов'язаних із ними мікробіологічних спільнот.

Розроблені авторами наведені в якості експериментальних конвеєрні вермікомпостери, які організують постійний потік субстрату зверху вниз або по рухомій стрічці, автоматизуючи надходження корму та збір біогумусу й вермічаю без порушення стабільності біоценозу.

В загальному у роботі проаналізовано основні недоліки сучасних систем вермікомпостування, незважаючи на їхню загальноновизнану ефективність. Зокрема, розглянуто такі обмеження, як високі початкові витрати на комерційні компостери, чутливість дощових черв'яків до змін навколишнього середовища, ризики виникнення шкідників та анаеробних умов при неправильному управлінні, а також обмеження за обсягом переробки органічних відходів.

Зазначено, що ефективність вермікомпостування значною мірою залежить від відповідності обраної системи конкретним умовам експлуатації та рівня підготовленості користувача до дотримання технологічних вимог.

Метою дослідження є оцінка ефективності різних компостерів з огляду на їхню зручність, продуктивність та придатність для використання в умовах різного масштабу. *Ключові слова:* вермікультування, каліфорнійський черв'як *Eisenia fetida*, роторно-барабанні системи, системи безперервної дії, конвеєрні системи.

Modern vermicomposters, their advantages and disadvantages Hetta A., Kovrov O.

The paper considers vermicomposting as an effective biotechnology for processing organic waste with the participation of earthworms and associated microflora. The environmental and agronomic advantages of this process are analyzed, in particular, reducing the load on landfills and producing valuable organic fertilizer – vermicompost. The main attention is paid to modern types of composters used in vermiculture. The features of the main vermicomposting systems, their design, principle of operation, advantages and disadvantages are described.

The article presents a container method based on layered substrate laying in sealed or semi-open containers and worm migration between containers to obtain ready-made biohumus. Trench and roller systems are considered, in which organic materials are laid out in large trenches or long rollers, periodically watered and turned over or supplemented with fresh substrate, stimulating the gradual movement of worms and multi-layer decomposition. Industrial drum composters (rotary rotating drums) are enclosed cylindrical containers with mixing and aeration mechanisms that operate as batch or continuous lines, allowing for intensive processing of large volumes of waste with precise temperature and air control. Vertical tray systems are also presented, where the substrate is loaded in thin layers onto a mesh bottom, and the finished compost is collected from below using scrapers or rupture barriers, which ensures minimal intervention and high purity of the final product. Also considered are (Continuous Flow–Through, CFT) systems, which are based on the single principle of continuous substrate flow, which provides optimal conditions for the life of earthworms and their associated microbial communities.

The authors developed conveyor vermicomposters, which organize a constant flow of substrate from top to bottom or along a moving belt, automating the supply of feed and the collection of vermicompost and vermi-chay without disrupting the stability of the biocenosis, are presented as experimental conveyor vermicomposters.

In general, the paper analyzes the main shortcomings of modern vermicomposting systems, despite their generally recognized effectiveness. In particular, such limitations as high initial costs for commercial composters, the sensitivity of earthworms to environmental changes, the risks of pests and anaerobic conditions with improper management, as well as limitations in the volume of organic waste processing are considered.

It is noted that the effectiveness of vermicomposting largely depends on the compliance of the selected system with specific operating conditions and the level of user preparedness to comply with technological requirements.

The purpose of the study is to assess the effectiveness of various composters in terms of their convenience, productivity, and suitability for use in conditions of different scales. *Key words:* vermiculture, California worm *Eisenia fetida*, rotary drum systems, continuous systems, conveyor systems.

Постановка проблеми. Попри високу ефективність вермікомпостування як біотехнології переробки органічних відходів та його екологічні й агрономічні переваги, зокрема зменшення навантаження на полігони та виробництво цінного добрива, залишаються невирішеними низка практичних питань, пов'язаних із вибором і використанням компостерів [1]. Додатковими обмеженнями є високі початкові витрати, необхідність дотримання вузького діапазону екологічних параметрів, ризик розвитку шкідників, утворення анаеробних зон та обмежена продуктивність малогабаритних установок. Це створює потребу в систематизованій оцінці існуючих типів компостерів із позицій їхньої адаптивності до різних умов експлуатації, що й обумовлює актуальність даного дослідження [2].

Актуальність дослідження. У сучасних умовах зростаючого навантаження на навколишнє середовище та необхідності ефективного управління органічними відходами вермікультивування набуває особливої значущості як екологічно чиста та економічно доцільна біотехнологія [3]. Ефективність впровадження вермікомпостування значною мірою залежить від правильного вибору обладнання та розуміння біологічних особливостей дощових черв'яків, зокрема їхньої здатності до зростання, розмноження та переробки органіки. У зв'язку з цим актуальним є вивчення сучасних типів компостерів, їхніх конструктивних рішень, переваг і обмежень у практичному застосуванні [4]. Таким чином, дослідження спрямоване на вдосконалення практик вермікультивування є своєчасним і важливим з точки зору екологічної безпеки, аграрної ефективності та розвитку циркулярної економіки.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Безперервна подача відходів і одночасний збір компосту дозволяють інтегрувати конвеєрні системи в модель циркулярної економіки, у якій органічні залишки перетворюються на цінний продукт без накопичення біоресурсів на сміттєзвалищах. Це відповідає глобальним екологічним завданням скорочення викидів парникових газів та мінімізації площ під полігонами.

Компактний розмір конвеєрних вермікомпостерів дозволяє інтегрувати потужні установки навіть у обмежені міські приміщення або малогабаритні фермерські двори, що відповідає потребі децентралізованої переробки відходів у передмісті та міських громадах. Пропоновані конвеєрні вермікомпостери надають можливість створення методів дешевої переробки відходів для сільської місцевості та урбанізованих районів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У сучасній науковій та прикладній літературі дедалі більше уваги приділяється вдосконаленню технологій вермікомпостування як ефективної економіки та сталого сільського господарства. В нашій лабораторії дослідження останніх років зосереджені на розробці та оптимізації конструкцій вермікомпостерів, що дозволяють підвищити ефективність переробки органічних відходів, покращити ергономіку експлуатації та зменшити вплив людського фактору.

У багатьох наукових працях аналізуються конструкційні особливості багатоярусних вермікомпостерів, що дозволяють автоматизувати процес відокремлення компосту від черв'яків і збирати вермічай – рідкий добривний продукт [5]. Водночас, дослідники наголошують на ризиках перевантаження таких систем органікою, що може призводити до утворення анаеробних зон та погіршення умов для життєдіяльності черв'яків [6].

Актуальним є також питання енергоефективності та застосування перероблених матеріалів у виготовленні вермікомпостерів [7]. Інженерні підходи спрямовані на створення мобільних і модульних систем, адаптованих до умов міського середовища. Дослідження в цій сфері демонструють ефективність простих контейнерних систем для побутового використання, водночас підкреслюючи обмеження за обсягом переробки [8].

Науковці підкреслюють, що ефективність вермікомпостерів значною мірою залежить не лише від конструкції, а й від обізнаності користувачів у дотриманні температурного режиму, вологості, аерації та раціону черв'яків. Це вказує на необхідність поєднання технічного вдосконалення з інформаційною підтримкою для кінцевого споживача [9].

Таким чином, в сучасних дослідженнях простежується тенденція до інтеграції екологічної доцільності, технологічної ефективності та економічної доступності при створенні вермікомпостерів, але водночас залишаються актуальними питання стандартизації, масштабування та адаптації до різних умов експлуатації.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У межах дослідження виявлено кілька аспектів конвеєрних вермікомпостерів, які досі залишаються недостатньо вивченими або практично не вирішеними:

Існуючі рішення щодо інтеграції датчиків вологості, температури та вентиляції не мають єдиної методики калібрування й адаптації до швидкозмін

у товщині біошару, що може призводити до локальних стресів у популяції черв'яків.

Недостатньо описані зміни рівня стресу, репродуктивного потенціалу та життєдіяльності *Eisenia fetida* в умовах безперервного руху тонкошарового середовища з різними швидкостями конвеєра.

Відсутні узагальнені моделі повернення інвестицій з урахуванням вартості обладнання, електроенергії, технічного обслуговування та екологічної вигоди від зменшення органічних відходів.

Новизна. Поєднання схеми безперервного тонкошарового руху субстрату з багаторівневою конструкцією дозволяє суттєво підвищити продуктивність на одиницю площі й одночасно зберегти рівномірність живлення та середовища для черв'яків.

Запропоновано метод кількісного підбору кута похилу стрічок і рівномірного розподілу біомаси з урахуванням статичних та динамічних параметрів руху, що дозволяє мінімізувати енергозатрати на переміщення стрічок під навантаженням.

Поєднання різних механізмів відділення – самопротруска, тонкосітчастий барабан, рухомі піддони – створює гнучкий «комплект» збору готового вермікасту під конкретні виробничі потреби.

Запропоновано комплексну модель оцінки доцільності впровадження конвеєрних вермікопостерів, що враховує капітальні й експлуатаційні витрати, енергоспоживання, трудовитрати та екологічну вигоду від зменшення викидів метану на полігонах.

Методологічне та загальнонаукове значення.

Вбудовані системи аерації, зволоження та датчики забезпечують постійний моніторинг ключових параметрів середовища, що сприяє глибшому розумінню оптимальних діапазонів температури, вологості та концентрації кисню для різних видів дощових черв'яків і супутніх мікроорганізмів. Модульна конструкція конвеєрних систем дає змогу змінювати об'єми й швидкість подачі субстрату, що полегшує вивчення кінетики біоокиснювальних процесів у умовах, наближених до промислових, та адаптувати результати лабораторних досліджень до практичних застосувань.

Виклад основного матеріалу. У роботі розглянемо сучасні методи вермікомпостування і перший із них – контейнерний метод. Контейнерний метод вирощування компостних черв'яків базується на штучному складанні живильного субстрату в герметичних або напіввідкритих ємностях та забезпеченні оптимальних умов для життєдіяльності черв'яків у обмеженому просторі. Зазвичай субстрат (ферментований гній, рослинні відходи, садові листя) укладають у контейнери, після чого в нього заселяють маточну культуру компостних черв'яків (найчастіше каліфорнійський черв'як *Eisenia fetida*). Контейнери можна розміщувати на вулиці (в тіні) або в закритих приміщеннях, а за потреби переставляти у теплі приміщення на зиму [10-11]. Після того, як верхні

шари субстрату будуть перероблені, до використаної ємності підставляють новий контейнер із свіжим кормом – і черв'яки мігрують до нового живильного середовища, залишаючи за собою готовий біогумус.

Контейнерні системи забезпечують кращий контроль над середовищем вермікомпостування порівняно з відкритими системами. Це полегшує підтримку оптимальних рівнів температури, вологості та рН, особливо при розміщенні в приміщенні. Таке контрольоване середовище мінімізує вплив зовнішніх факторів, таких як несприятливі погодні умови, та допомагає відлякувати шкідників.

Особливо для компактних та вертикальних конструкцій, контейнерні системи є дуже компактними. Вони добре підходять для міського середовища, квартир, гаражів, підвалів або невеликих комерційних операцій, де площа обмежена.

При належному управлінні та достатній аерації, контейнерні баки виробляють мінімальні, земляні запахи, що є значною перевагою перед анаеробними методами розкладання. Постійна аерація запобігає появі неприємних запахів, що робить їх придатними для використання в приміщенні.

Багато контейнерних систем розроблені з вбудованими дренажними механізмами, що дозволяють збирати багату на поживні речовини рідину, яку часто називають вермічай рис. 1. Ця рідина є цінним продуктом, який можна використовувати як потужне рідке добриво для рослин.

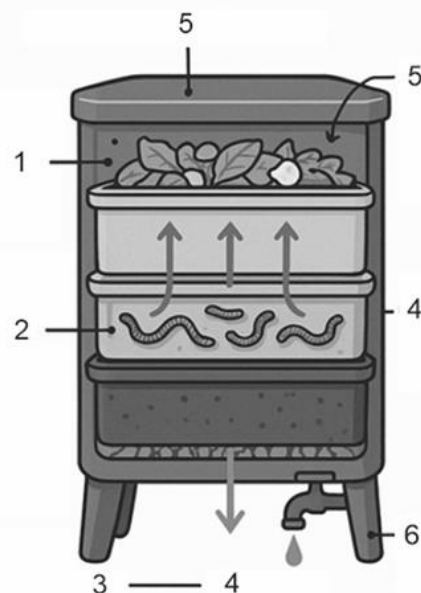


Рис. 1. Контейнерні системи

На рис. 1 зображені контейнерні системи де: 1 – верхній лоток – свіже органічне сміття. Сюди додають нові харчові відходи (овочеві шкідки, чай, кавова гуща тощо). Черв'яки поступово мігрують сюди з нижніх шарів у пошуках їжі. 2 – середній лоток – активна зона. Тут відбувається основна переробка:

черв'яки активно розкладають органіку. Матеріал частково розкладений, вологий і насичений мікроорганізмами. 3 – нижній лоток – готовий вермікомпост. Темна, пухка маса – це кінцевий продукт, багатий на гумус. Його можна зібрати вручну або пересипати через сито. 4 – дренажний шар з краном. Збирає надлишкову вологу (вермічай), яку можна використовувати як рідке добриво. Кран дозволяє зливати рідину без розбирання конструкції. 5 – вентиляційні отвори. Забезпечують доступ кисню. Запобігають утворенню неприємного запаху та анаеробних умов.

Стрілки міграції черв'яків і рідини показують: ▲ Черв'яки рухаються вгору до нової їжі, ▼ Волога стікає вниз до дренажного шару.

Переваги контейнерних систем складається з компактних розмірів, легкості, портативності, можливість використання цілий рік [12].

Але є і певні недоліки менші контейнерні системи мають обмежену здатність переробляти великі обсяги органічних відходів і черв'яки залишаються чутливими до екстремальних температур та заводяться шкідники при перезволоженні субстрату [13].

Траншейні та Валкові Методи (Trench and Windrow Methods). Траншейні та валкові методи вермікомпостування ґрунтуються на створенні статичного багатошарового середовища, в якому органічний субстрат укладається у довгі ряди (валки) або траншей фіксованих розмірів і переробляється дощовими черв'яками та їхньою супутньою мікрофлорою у біогумус. У класичних траншейних системах субстрат із коров'ячого гною або інших агропромислових відходів попередньо витримують у компостері протягом 7–10 днів, після чого поміщають у цегляні або земляні траншей розмірами приблизно $1,25 \times 0,75 \times 4,0$ м. Для підтримання оптимальної аерації та вологості його періодично перевертають і звожують.

На рис. 2а зображена траншейна система де: 1 – вкриваючий шар мульчею. 2 – бокова стінка. 3 – органічний субстрат.

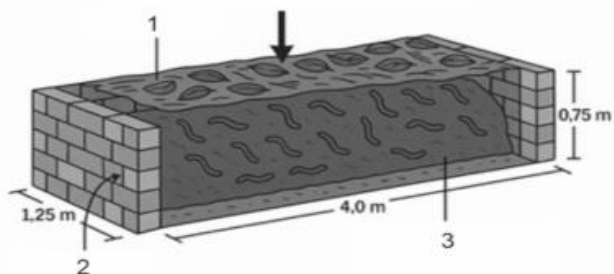


Рис. 2а. Траншейна система

Валкові системи, передбачають формування куп довжиною декілька метрів, висотою та шириною близько 90 см, які заселяють черв'яками. Свіжий субстрат додають до одного кінця валка, стимулюючи поступову міграцію черв'яків у напрямку

нової органіки. Обидві конфігурації часто накривають листям для збереження тіні та запобігання перегріву [14].

На рис. 2б зображена валкова система де: 1 – вкриваючий шар мульчею; 2 – свіжий субстрат; 3 – рух черв'яків.

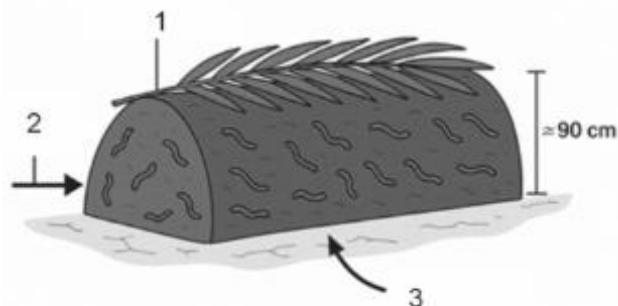


Рис. 2б. Валкова система

Переваги траншейних і валкових методів не потребують складних пристроїв чи автоматизації, можна легко збільшити обсяги обробки продовживши довжину валків або розширивши кількість траншей, відсутність дорогого каркасу чи механізмів, багатошарове укладання багатих на вуглець і на азот матеріалів створює достатню вентиляцію [15].

Недоліки траншейних, валкових методів полягають в регулярному перевертанні, поливі і доповненні субстрату потребують значних трудових витрат. Оптимальні параметри – вологість 40–45 %, температура 25–28 °C, рН 6,5–7,0; їхнє недотримання призводить до стресу черв'яків і зниження продуктивності.

Роторно-барабанні системи. Їхня конструкція включає механічні компоненти для змішування, перемішування та аерації, часто з системами примусової подачі повітря для контролю рівня кисню та температури. Системи можуть бути безперервної подачі, де матеріал додається з одного кінця і вивантажується з іншого, або періодичної дії [16]

На рис. 3 зображені роторно-барабанні системи де: 1 – вхідний патрубок; 2 – примусова аерація; 3 – примусова аерація; 4 – сталевий каркас 5 – примусова аерація 6 – опорні валики; 7 – вихідний патрубок; 8 – барабан; 9 – змішувальний вал.

Переваги барабанних систем полягають в автоматичному перемішуванні та аерації субстрату, можливості безперервного завантаження органіки, інтенсивність контакту обертового барабану з повітрям.

Недоліками барабанних систем є значні капітальні вкладення, енергоспоживання, ризик перегріву, механічний знос.

Вертикальні (лоткові) системи. Вертикальні системи вермікомпостування зазвичай відносяться до «проточних» або «піднятих грядок». Ці системи характеризуються наявністю шару органічного матеріалу (часто глибиною 20 дюймів або більше) з сіт-

частим дном в основі. Сировина додається тонкими шарами (наприклад, 1 дюйм) на верхню поверхню. Збір біогумусу відбувається знизу шляхом переміщення стягуючої планки або скребка по сітчастому дну, що змушує готовий вермікаст падати в зону збору внизу [17]. На рис. 4 зображені вертикальна-вермікомпостерна система де: 1 – тонкий шар субстрату; 2 – органічний шар матеріалу; 3 – вермікаст 4 – сітчастий екран, 5 – стягуюча планка

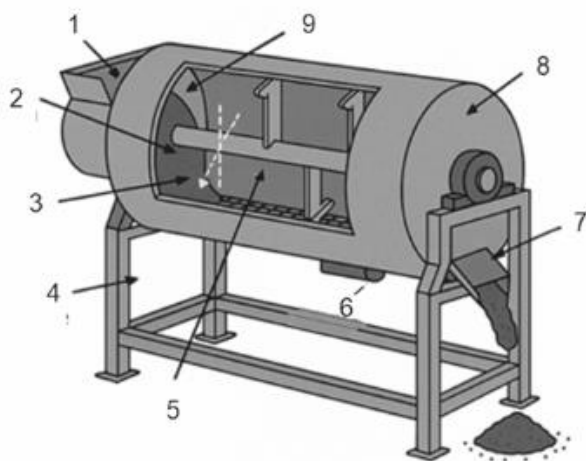


Рис. 3. Промисловий роторно-барабанний компостер

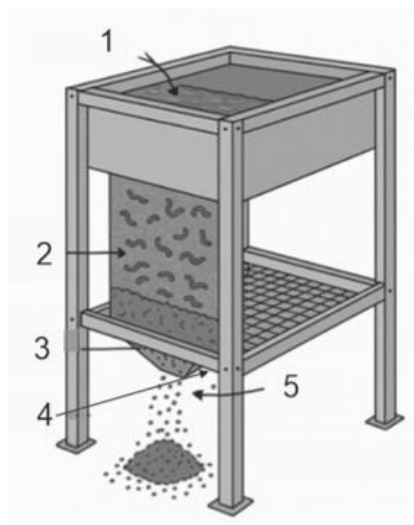


Рис. 4. Вертикальна-вермікомпостерна система

Переваги лоткових систем полягає в компактності конструкції, природна міграція черв'яків вгору сприя самовивантаження, можливість розділення фаз переміщення черв'яків.

Є і недоліки лоткових систем в обмеженні об'єму кожного лотка, необхідність ручної або механізованої заміни лотків і подачі корму зверху, надмірна вологість перешкоджає міграції черв'яків.

Системи безперервної дії (Continuous Flow Through – CFT) Сучасні промислові та напівпромислові вермікомпостувальні системи, незалежно

від конкретного виробника, базуються на єдиному принципі безперервного потоку (Continuous Flow-Through, CFT), що забезпечує оптимальні умови для життєдіяльності дощових черв'яків і пов'язаних із ними мікробіологічних спільнот. Суть цього підходу полягає у створенні модульного середовища, в якому субстрат надходить зверху безперервним потоком, що зображена на рис. 5, а готовий вермікомпост і рідкі продукти (вермічай) вилучаються знизу чи через бічні зйомні лотки без порушення стабільності екосистеми. Завдяки такій організації процесу виключається необхідність великих куп або регулярного перемішування субстрату, що мінімізує стрес для черв'яків і запобігає утворенню анаеробних зон [18]. На рис. 5 зображені системи безперервної дії де: 1 – вхідний бункер; 2 – аерована камера для компостування; 3 – активна зона черв'яка; 4 – дренажний шар; 5 – готовий біогумус; 6 – активна зона черв'яка; 7 – знімні лотки; 8 – кран для вермічаю.

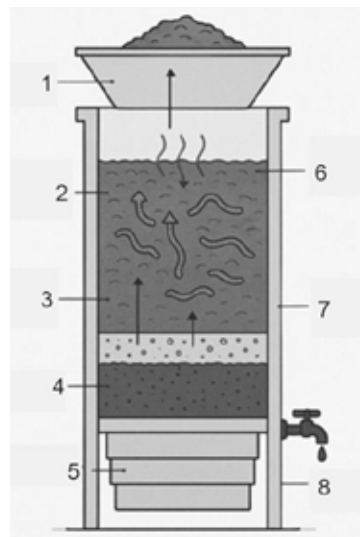


Рис. 5. Системи безперервної дії

Переваги CFT-систем є модульна конструкція дає змогу поетапно збільшувати обсяги переробки органічних відходів у міру зростання потреб виробництва, потужна ефективність від вхідної сировини до кінцевого продукту, безперервне годування черв'яків та збір біогумусу

Недоліки CFT-системи потреба в інвестиціях модульних конструкцій, сітки, механізми збору компосту, вимагає точного виготовлення та регулярного технічного обслуговування, сталі умови вологості, температури та аерації. Конвеєрна вермікомпостувальна система. Конвеєрні вермікомпостери працюють за схемою безперервного тонкошарового компостування. Органічні відходи надходять у верхню частину установки через бункер чи лоток і розподіляються тонким шаром (переважно 5–10 см) по рухомій стрічці чи похилій поверхні. Черв'яки, розселені в цьому шарі, поїдають харчі і водночас поступово мігрують до більш

свіжої маси зверху. Рух стрічки або платформи організовано таким чином, що він компенсує пересування черв'яків: якщо стрічка рухається проти напрямку повзучості, черв'яки залишаються приблизно на тому ж місці у просторі, а спресований компост біля кінця стрічки звільняється від опори і обсипається вниз. Оскільки черв'яки уникають вільного світлого краю шару, вивантажений компост переважно вільний від них.

На рис. 6а і рис. 6б зображені конвеєрні системи де: 1- барабан; 2 – ящик для збору вермічаю; 3 – бункер; 4 – ручка шнеку; 5 – лотки для розподілу субстрату; 6 – ніжки.

У багаторівневих моделей кілька нахилених стрічок укладають одна над одною і з'єднують загальним подільником корму (лінійкою чи лотком). Кожен рівень конвеєра сам містить тонкошарову біомасу, яка рухається вниз. Вага матеріалу та кут нахилу полегшують рух стрічок під навантаженням. Після обробки готовий вермікомпост збирається у нижній частині пристрою: це може бути проста урна, тонкосітчастий барабан (тумблер) або інший механізм відділення.

Таким чином, подача матеріалу зверху, перехід через низку процесних рівнів і збір готового компосту знизу складають ключовий цикл такого вермікомпостера. Рухомі елементи (стрічки, скребки, вали) забезпечують розділення корму і компосту, а піддони чи конвеєри збирають кінцевий продукт.

Переваги даної технології на відміну від традиційних систем, конвеєрні вермікомпостери дозволяють постійно додавати свіжі відходи і одночасно вивантажувати готовий компост. Це забезпечує стабільну активність черв'яків і високу продуктивність без простоїв. Вертикальне нашарування рівнів компостера значно зменшує загальну займану площу при високій продуктивності.

Недоліки конвеєрних систем численні рухомі деталі які ускладнюють конструкцію, потреба в значній енергії через потужні двигуни для ведення конвеєрів під вагою біомаси, вимагання значних інвестицій, інженерна розробка, дотримання оптимальних умов середовища для черв'яків. Надається таблиця 1. Порівняльний аналіз переваг та недоліків.

Рекомендації для застосування. Домашній рівень – оптимальні компактні контейнери об'ємом до 100 л, що не потребують складних установок, але вимагають регулярної ручної роботи. Кооперативний / малий комерційний рівень – багаторушні контейнери об'ємом 200–1000 л із базовими датчиками вологості та температури, здатні обробляти десятки кілограмів відходів на тиждень. Модульна архітектура забезпечує просте масштабування, проте потребує додаткових елементів каркасу та з'єднань, що підвищує вартість і складність монтажу. Промисловий рівень – модельні конвеєрні установки з автоматизованим контролем умов, здатні обробляти сотні кілограмів і навіть тонни органічного субстрату за добу об'ємом більш 1000 л. Вартість багаторушних конструкцій із полімерних або металевих модулів і професійних конвеєрних систем значно вища, ніж у простих контейнерів, що обмежує їх доступність для малих господарств та домогосподарств із обмеженим бюджетом.

Модельні конвеєрні установки можуть слугувати лабораторними платформами для вивчення взаємодій дощових черв'яків із різними типами відходів, а також для селекції штамів із підвищеною стійкістю до стресів і більшою продуктивністю переробки. Високоякісний вермікомпост, отриманий у конвеєрних системах, може стати ключовим елементом замкненого кругообігу поживних речовин у вертикальних фермах та гідропонних установках. Використання біогумусу як компонента

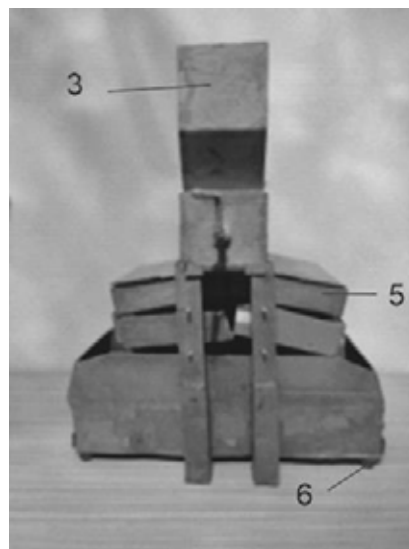
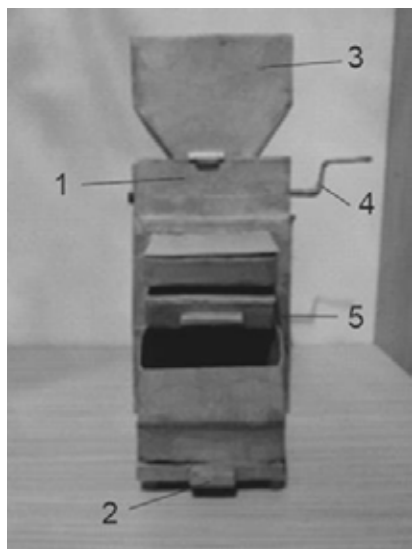


Рис. 6. Конвеєрні системи

Таблиця 1

Порівняльний аналіз переваг та недоліків

Методи вермікомпостування	Переваги	Недоліки
Контейнерні системи	Складається з компактних розмірів, легкості, портативності, можливість використання цілий рік	Менші контейнерні системи мають обмежену здатність переробляти великі обсяги органічних відходів і черв'яки залишаються чутливими до екстремальних температур та заводяться шкідники при перезволоженні субстрату
Траншейні методи та валкові методи	Не потребують складних пристроїв чи автоматизації, можна легко збільшити обсяги обробки продовживши довжину валків або розширивши кількість траншей, відсутність дорогого каркасу чи механізмів, багатошарове укладання багатих на вуглець і на азот матеріалів створює достатню вентиляцію.	Полягають в регулярному перевертанні, поливі і доповненні субстрату, потребують значних трудових витрат.
Барабанні системи	Автоматично перемішуванні та аерації субстрату, можливості безперервного завантаження органіки, інтенсивність контакту обертового барабану з повітрям	Значні капітальні вкладення, енергоспоживання, ризик перегріву, механічний знос
Вертикальні (лоткові) системи	Переваги лоткових систем полягає в компактності конструкції, природна міграція черв'яків вгору сприя самовивантаження, можливість розділення фаз переміщення черв'яків	Обмеження об'єму кожного лотка, необхідність ручної або механізованої заміни лотків і подачі корму зверху, надмірна вологість перешкоджає міграції черв'яків
Системи безперервної дії	модульна конструкція дає змогу поетапно збільшувати обсяги переробки органічних відходів у міру зростання потреб виробництва, потужна ефективність від вхідної сировини до кінцевого продукту, безперервне годування черв'яків та збір біогумусу	Потреба в інвестиціях модульних конструкцій, сітки, механізми збору компосту, вимагає точного виготовлення та регулярного технічного обслуговування, сталі умови вологості, температури та аерації. Конвеєрна вермікомпостувальна система
Конвеєрні вермікомпостери	Конвеєрні вермікомпостери дозволяють постійно додавати свіжі відходи і одночасно вивантажувати готовий компост	Недоліки конвеєрних систем численні рухомі деталі які ускладнюють конструкцію, потреба в значній енергії через потужні двигуни для ведення конвеєрів під вагою біомаси, вимагання значних інвестицій.

грунтосумішей або поживних середовищ оптимізує ріст рослин і зменшує залежність від мінеральних добрив.

Головні висновки. У результаті порівняльного аналізу технологій вермікультивування можна зробити такі висновки.

1. Контейнерний метод характеризується простою організацією та високою гнучкістю у використанні на малих об'ємах відходів, проте обмежений простір і необхідність ручного відбору біогумусу знижують його продуктивність.

2. Траншейні й валкові системи підходять для великих фермерських господарств завдяки здатності переробляти значні маси субстрату, але потребують ретельного контролю вологості, аерації та температури, а також регулярного обслуговування для запобігання анаеробії та перегріву.

3. Промислові барабанні компостери забезпечують інтенсивний режим переробки з точним контр-

олем кліматичних параметрів, проте вимагають значних капітальних вкладень і обслуговування механічних компонентів.

4. Конвеєрні установки та системи безперервного потоку найкраще відповідають потребам великомасштабного виробництва, поєднуючи мінімальне втручання оператора та високу продуктивність, але їхня складність і вартість роблять їх доцільними лише за відповідного рівня інвестицій і технічної підтримки.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблена модель тонкошарового конвеєрного вермікомпостера може стати основою для компактних модульних установок у густонаселених міських районах і передмістях. Малі блоки СФТ-систем легко інтегрувати в комунальні центри збирання органіки, що сприятиме суттєвому зниженню логістичних витрат і викидів CO₂, пов'язаних із транспортуванням відходів.

Література

1. Chattopadhyay G. Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2012. Vol. 1, № 1. P. 8. DOI: 10.1186/2251-7715-1-8
2. Vermicomposting: Methods, Process, Mechanisms, Uses. *Microbe Notes*. URL: <https://microbenotes.com/vermicomposting/> (date of access: 27.07.2025).
3. The role of earthworms in sustainable agriculture. *PlantwisePlus Blog*. URL: <https://blog.plantwise.org/2018/09/06/the-role-of-earthworms-in-sustainable-agriculture/> (date of access: 27.07.2025).
4. Vermiculture Technology Book | Earthworm Compost Guide. *Niir Project Consultancy Services*. URL: <https://www.npcsblog.com/the-complete-technology-book-on-vermiculture-and-vermicompost-earthworm-with-manufacturing-process-machinery-equipment-details-plant-layout-2nd-revised-edition/> (date of access: 27.07.2025).
5. Dvořáčková H., Vlček V., Cwíková O., Menoušková K., Záhora J. Vermicomposting of gastro waste does not produce high-quality fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2024. Vol. 22, № 4. P. 8977–8986. DOI: 10.1007/s13762-024-06225-z
6. Enebe M. C., Erasmus M. Vermicomposting technology – A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 345, P. 118585. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118585
7. Bernstad Saraiva Schott A., Wenzel H., la Cour Jansen J. Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – an analytical review. *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 119. P. 13–24. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.01.079
8. Pirsahab M., Khosravi T., Sharafi K. Domestic scale vermicomposting for solid waste management. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2013. Vol. 2, № 1. P. 4. DOI: 10.1186/2251-7715-2-4
9. Dhanushkodi V., Porkodi G. Impact of Vermicomposting Training Programme on Production, Economics and Employment Generation of Farmer – A Case Study. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*. 2018. Vol. 27, № 2. P. 1–5. DOI: 10.9734/AJAEES/2018/43208
10. Вермікомпостування та розведення черв'яків. Верміферма «Кобьярин». Тут виробляють найкращий Біогумус (вермікомпост). Органічні добрива за найкращою ціною в Україні та Київській області. Нам довіряють!. URL: <https://kobyyarin.com.ua/ua/a378370-vermikompstirovanie-razvedenie-chervej.html?srsId=AfmBOorgLhxEL05NQpDYraohneuHim5QsEy3adaSBzC3ewUrmk7H25E2#:~:text=Y%20тому%20випадку,%20якщо%20ви,добре%20контрольований%20i%20керований%20процес> (дата звернення: 28.07.2025).
11. Шагра Б.М., Ніколайчук В.І., Мага І.М. Вермікультура. Ужгород, «Знання». – 2006. – 126 с.
12. Worm Composting. Vermicomposting. The Benefits and Challenges. Pacific Composting Co. URL: <https://pacificcomposting.ca/pages/vermicomposting> (date of access: 28.07.2025).
13. Ali U., Sajid N., Khalid, A., Riaz L., Muaz Rabbani M., Hussain Syed, J., Naseem Malik R. A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2015. Vol. 34, № 4. P. 1050–1062. DOI: 10.1002/ep.12100
14. On-farm composting methods. Home. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/4/y5104e/y5104e08.htm> (date of access: 28.07.2025).
15. Bot Verification. Red Worm Composting – WAY Too Much Fun With Worms! URL: <https://www.redwormcomposting.com/large-scale-vermicomposting/the-vermicomposting-trench/> (date of access: 28.07.2025).
16. Varma V. S., Kalamdhad A. S. Efficiency of Rotary Drum Composting for Stabilizing Vegetable Waste during Pre-Composting and Vermicomposting. *Environmental Processes*. 2016. Vol. 3, № 4. P. 829–841. DOI: 10.1007/s40710-016-0181-z
17. Hanc A., Castkova T., Kuzel S., Cajthaml T. Dynamics of a vertical-flow windrow vermicomposting system. *Waste Management & Research*. 2017. Vol. 35, № 11. P. 1121–1128. DOI: 10.1177/0734242X17725161
18. Kasam, F. M. Iresha, T. B. Kusuma, R. Umam, A. Mutolib, A. Rahmat Study of organic market waste processing using continuous flow bin vermicomposting meet several nutrient parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 739, № 1. P. 012040. DOI 10.1088/1755-1315/739/1/012040

Дата першого надходження рукопису до видання: 18.07.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 25.08.2025

Дата публікації: