

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО МЕХАНІЗОВАНОГО ПРИГОТУВАННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ У МАЛИХ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ

Кувачов В.П., д.т.н.,

Петров Г.А., к.т.н.,

Інува С.А., аспірант.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна*

Постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво, орієнтоване на сталий розвиток, вимагає ефективного використання органічних відходів для відновлення родючості ґрунтів і зменшення залежності від мінеральних добрив. Біомаса тваринного й рослинного походження (гній, солома, сидерати, рослинні рештки) є доступною сировиною для отримання органо-мінеральних компостів. Проте в умовах малих фермерських господарств спостерігається дефіцит технічних засобів, здатних забезпечити механізоване приготування, подрібнення, змішування й завантаження біомаси в єдиному технологічному циклі [1-4]. Існуючі серійні машини для приготування кормових сумішей або компостів мають велику енергоємність [2]. Їх використання на малих фермах із тракторним парком до 80 к.с. економічно невиправдане. Крім того, більшість таких машин не пристосовані до роботи з неоднорідними або волого-злипкими матеріалами, що характерно для біомаси органічного походження. Для невеликих господарств актуальним є створення компактної, мобільної та універсальної машини, здатної поєднати функції підбирання, подрібнення та змішування біомаси з подальшим вивантаженням готової суміші. Особливу увагу необхідно приділити: зменшенню енергоспоживання процесу; забезпеченню рівномірності змішування компонентів; підвищенню надійності роботи при змінних властивостях сировини; можливості агрегування з малогабаритними тракторами. Таким чином, постає науково-технічна проблема обґрунтування параметрів і розроблення конструкції підбирача-змішувача біомаси, який би забезпечував технологічно ефективне та енергозберігаюче приготування органічних добрив в умовах малих фермерських господарств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій літературі значна увага приділяється розробці технологій ефективного використання органічних відходів у фермерських господарствах [1-4]. Дослідження показують, що органо-мінеральні компости не лише покращують структуру ґрунту та його родючість, а й сприяють зменшенню викидів парникових газів, підвищуючи стійкість

агроекосистем [1-4].

Серійні машини для приготування кормових сумішей і компостів (TMR-змішувачі, роторні компостери, дискові розкидачі) добре зарекомендували себе на великих фермах із тракторним парком високої потужності. У зарубіжних дослідженнях, наприклад, у Німеччині та Нідерландах, розробляються компактні та мобільні пристрої для переробки органічних відходів, які поєднують функції подрібнення та змішування [1].

В Україні одним із прикладів успішного виробництва сучасного обладнання для роботи з органічними добривами є завод «СПД ПЕТРОВ™». Підприємство, засноване у 2007 році, займається розробкою і виробництвом транспортерів для збору гною, скреперних систем, вакуумних цистерн та розкидувачів різної місткості. Завод постійно розширює асортимент, останніми роками запроваджено розкидувачі ПТРВ.10 «СМЕРЧ», ПТРВ.14 «СМЕРЧ» та обладнання з вертикальними бiteraми «ВІХРЬ». Особливістю підприємства є повний цикл розробки та виробництва на власних потужностях і прямі поставки продукції фермерам, що сприяє адаптації техніки до умов малих і середніх господарств.

Водночас наукові дослідження українських університетів підкреслюють важливість створення універсальних, енергозберігаючих і мобільних машин для малих фермерських господарств, здатних працювати із різною біомасою та легко агрегатуватися з тракторами потужністю до 80 к.с. [5, 6].

Таким чином, аналіз літератури та практичний досвід українських виробників свідчать про наявність двох основних напрямів розвитку: підвищення енергоефективності та компактності технічних засобів для приготування компостів і кормових сумішей; розроблення універсальних і мобільних машин, адаптованих до різних властивостей біомаси та умов малих фермерських господарств.

Ці висновки підтверджують необхідність розробки підбирача-змішувача біомаси, який поєднує функції подрібнення, змішування та вивантаження, із оптимізованими технологічними параметрами та низьким енергоспоживанням, спираючись на наукові дані та практичний досвід вітчизняних виробників.

Мета дослідження полягає у зменшенні питомих витрат на змішування та навантаження органічних добрив, шляхом розробки технологічної схеми та обґрунтуванні параметрів компактного, мобільного та універсального підбирача-змішувача біомаси, здатного ефективно і енергозберігаюче готувати органо-мінеральні добрива в умовах малих фермерських господарств.

Основні матеріали. Для формування органо-мінерального компосту запропоновано концептуальний підхід, який інтегрує послідовні процеси підбирання, обробки та об'єднання різнорідних компонентів біомаси в єдиний технологічний цикл.

По-перше, підготовка починається з формування базової подушки з торфу та лігніну, яка забезпечує стабільну основу для подальшого укладання органічних матеріалів і сприяє рівномірній аерації суміші. На утворену в такий спосіб основу пошарово насипаються послід, солома та інші рослинні рештки, що дозволяє створити структуру компостної маси з оптимальним співвідношенням компонентів.

По-друге, передбачено механізоване перемішування біомаси та дозоване введення мінеральних добавок. Цей процес організовується через комплекс рухомих елементів, які забезпечують синхронну взаємодію компонентів, точне дозування і рівномірне її перемішування. Така організація матеріалів у просторі і часі дозволяє підтримувати однорідність органо-мінеральної суміші навіть при різних фізико-механічних властивостях біомаси, підвищуючи технологічну ефективність процесу.

По-третє, інтеграція підбирання, подрібнення, змішування та внесення добавок у єдиний цикл дозволяє зменшити енергетичні витрати, оптимізувати тривалість операцій і забезпечити високу стабільність кінцевого продукту. Такий підхід особливо важливий для малих і середніх фермерських господарств, де обмежені ресурси і необхідно поєднати доступність обладнання із технологічною надійністю.

Таким чином, запропонована концепція забезпечує структуровану організацію компонентів компосту, а також дозволяє рівномірно інтегрувати мінеральні добавки і оптимізує весь технологічний процес, роблячи його ефективним та адаптованим до умов фермерських господарств.

Процес змішування та навантаження органо-мінерального компосту реалізується як цілісний технологічний цикл, що поєднує переміщення матеріалу, дозоване внесення мінеральних добавок і інтенсивне перемішування компонентів. Під час руху агрегату стрічковий гвинт живильника взаємодіє із пошарово укладеною компостною масою, відокремлюючи частини суміші від бурту та направляючи їх до вивантажувального транспортера. Така організація руху матеріалу забезпечує безперервний потік маси та створює умови для її рівномірного оброблення.

Синхронна робота приводного гвинта та дозуючого валу підбирача-змішувача дозволяє координовано подавати мінеральні компоненти, що надходять у зону активного перемішування. Взаємодія компостної маси та добавок у процесі переміщення такої суміші гвинтом забезпечує інтенсивне її перемішування, підтримує її однорідність і підвищує стабільність технологічного циклу.

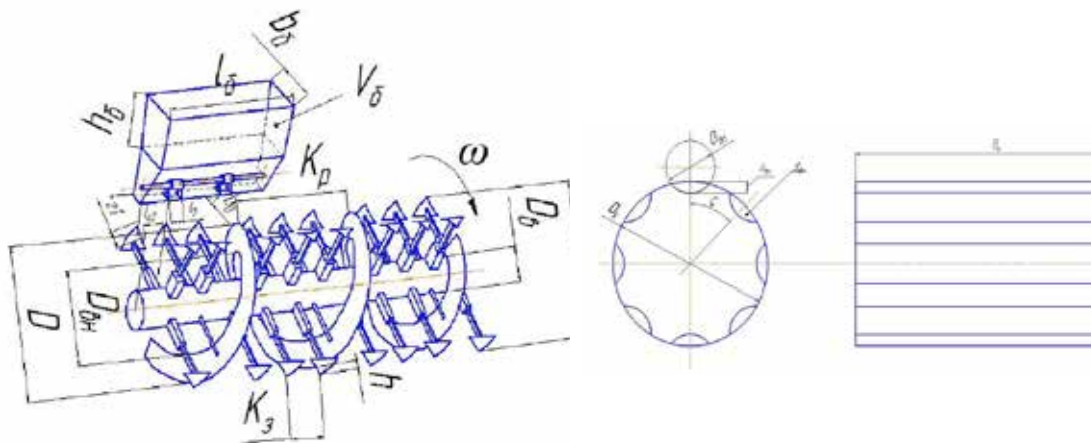
Ефективність роботи підбирача-змішувача визначається режимними та швидкісними параметрами: кутовими та лінійними швидкостями обертання гвинта і дозуючого валу, поступальною швидкістю руху навантажувача та швидкістю подачі мінеральних компонентів. Визначення і оптимізація цих показників дозволяють

забезпечити точність дозування і високу однорідність компостної маси.

Конструктивні параметри робочих органів для дозуючих і подаючих елементів визначаються геометричними характеристиками бункера (ширина, висота, довжина), його місткість, параметри вивантажувальних отворів (кількість, довжина, ширина), а також параметри катушок дозуючого валу і робочих поверхонь, які регулюють обсяг та інтенсивність подачі матеріалу. Оптимізація цих характеристик забезпечує точне дозування мінеральних компонентів і ефективне переміщення компостної маси протягом всього технологічного процесу.

Завдяки інтеграції механізованого переміщення, синхронного дозування та інтенсивного змішування органо-мінеральної суміші підвищує ефективність технологічного циклу і робить виробництво компосту доступним та надійним для малих фермерських господарств.

На рис. 1 зображена схема запропонованого навантажувача-змішувача органо-мінеральної суміші.



а) навантажувач-змішувач

б) катушка

Рис. 1. Схема навантажувача-змішувача

За рис. 1 до складу навантажувача-змішувача входять: дозуючі і подають робочі органи, що включають бункер-дозатор з вивантажувальними отворами і дозуючий вал з катушками; фрезерний і змішувальний робочий орган, який представляє собою стрічкового шнек, оснащений зубами; вивантажувальний транспортер. Захват компостної маси гвинтовим робочим органом відбувається завдяки його обертовому руху, тоді як занурення у масив забезпечується поступальним переміщенням разом із навантажувачем. У цьому контексті робочий орган розглядається як рухома механічна система, поведінка якої може бути описана за допомогою параметричних рівнянь. Моделювання руху кожної точки робочого органу машини у двовимірній системі координат дозволяє математично описати траєкторії переміщення матеріалу та взаємодію його компонентів під час процесу змішування й навантаження біомаси.

Продуктивність відділення часток органічних добрив від бурту Q_6

за допомогою зубів робочого органу та їх подачі до гвинтової поверхні, що здійснює обертальний рух і переміщує масу до транспортера, повинна перевищувати продуктивність подачі компосту Q_n :

$$Q_{\Pi} \leq Q_v. \quad (1)$$

У розгорнутому вигляді залежність (1) може бути представлена виразом:

$$A_k v_{\text{п.с.}} \leq \frac{z_k \omega B_3}{\pi} \left(\frac{D_p^2 \omega t}{4} - \frac{D_p^2 \sin(2\omega t)}{16} + \frac{v_{\text{п.с.}} D_p \cos(\omega t)}{2\omega} \right), \quad (2)$$

де A_k - площа бічної проекції западини катушки, м^2 ;

$v_{\text{п.с.}}$ - поступальна швидкість навантажувача-змішувача, м/с .

ω - кутова швидкість обертання робочого органу, рад/с ;

z_k - число впадин на катушці, шт.;

B_3 - ширина зуба гвинтового робочого органу, м ;

D_p - діаметр по ріжучим зубам гвинтового робочого органу, м .

Вираз (2) об'єднує параметри робочого органу, що дає змогу обґрунтувати вибір параметрів підбирача-змішувача.

Рішення рівняння (2) відносно поступальної швидкості у функції від кутової швидкості обертання робочого органу представлено на рис. 2.

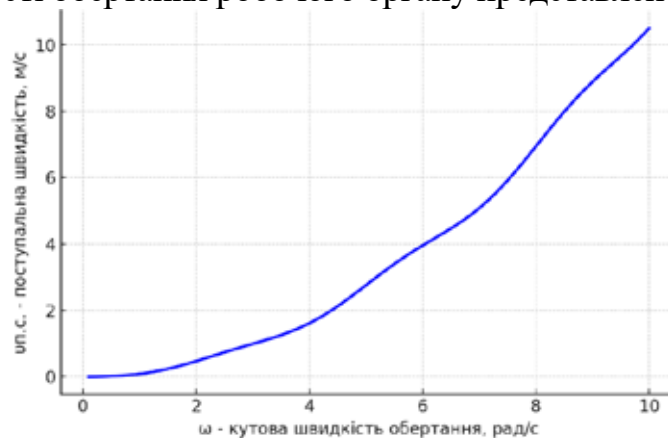


Рис. 2. Залежність граничної швидкості руху підбирача-змішувача від кутової швидкості фрезерно-зубового робочого органу

Аналіз рис. 2 показує зростаючий характер залежності поступальної швидкості навантажувача-змішувача від кутової швидкості обертання робочого органу. При збільшенні частоти обертання гвинтового органу інтенсивність захоплення й переміщення компостної маси зростає, що призводить до підвищення загальної продуктивності процесу. На початковій ділянці крива має помірний нахил, що свідчить про інерційність системи – робочий орган потребує певного часу для стабілізації потоку матеріалу. Далі спостерігається більш різке зростання швидкості, що пояснюється ефективнішим транспортуванням і змішуванням маси внаслідок посилення гвинтового руху.

Однак при надмірному збільшенні кутової швидкості

ефективність процесу може почати знижуватися через розпушення та неорганізований розкид частинок, підвищене енергоспоживання й вібраційні навантаження. Тому для стабільної та економічно доцільної роботи важливо визначити оптимальний діапазон кутових швидкостей, у якому досягається узгодженість між обертальним і поступальним рухом. У цьому діапазоні забезпечується рівномірне захоплення матеріалу, мінімальні втрати та плавна подача до транспортера, що є запорукою ефективного функціонування всього навантажувально-змішувального механізму.

Висновки. Запропонована концепція формування органо-мінерального компосту передбачає інтеграцію процесів підбирання, подрібнення, змішування та дозованого введення мінеральних добавок у єдиний технологічний цикл. Пошарове укладання торфу, лігніну та органічних компонентів створює структуровану основу для рівномірної аерації і забезпечує оптимальні умови для змішування різнорідної біомаси.

Використання навантажувача-змішувача з дозатором мінеральних добрив дозволяє координовано подавати компоненти, підтримуючи однорідність суміші і стабільність технологічного циклу. Синхронізація кутової швидкості обертання гвинтового робочого органу та поступальної швидкості руху агрегату забезпечує ефективне захоплення, переміщення і змішування компостної маси без її розсіювання та надмірного енергоспоживання.

Математичне моделювання взаємодії робочого органу з матеріалом дозволяє оптимізувати режимні параметри, визначати продуктивність і забезпечувати однорідність кінцевого продукту. Запропонована конструкція та організація процесу гарантують технологічну ефективність, раціональне використання енергії та адаптованість до умов малих і середніх фермерських господарств.

Таким чином, запропонована технологія і конструктивні рішення підбирача-змішувача забезпечують комплексну оптимізацію процесу приготування органо-мінерального компосту, підвищують його якість і роблять виробництво доступним і ефективним у фермерських умовах.

Список використаних джерел

1. Писаренко В.М., Писаренко П.В. Органічні добрива на захисті родючості ґрунту: монографія. Полтава, 2022. 156 с.
2. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Головач І.В., Гриник І.В. Малогабаритні сільськогосподарські машини. Конструкція, теорія і розрахунок: монографія. Київ: Аграрна наука, 2017. 292 с.
3. Sayed D.F., Morad M.M., Ali M.M., & El-Maghawry H.A. Study On Some Different Operating Parameters Affecting e Performance Of Compost Turning Machines. Zagazig Journal of Agricultural Research, 2021. 48(2). 419–432.
4. Joshua T. Velasco, Gilbert L. Bandisa, Erickson N. Dominguez

and Jamesly T. Andres. Design, Fabrication, and Performance Evaluation of a Small-scale Compost-Turning Machine. Mountain Journal of Science and Interdisciplinary Research, 2024. 84(1).

5. Кувачов В.П., Дружич В.М., Шевченко С.О., Зеленов К.О. Дослідження стійкості руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу. Науковий вісник ТДАТУ. 2024. 14(2). 15 с. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-3>

6. Кувачов В.П., Дружич В.М., Шевченко С.О., Зеленов К.О. Теоретичні основи руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу в системі точного землеробства. Науковий вісник ТДАТУ. 2024. 14(1). 12 с. URL: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-4>.