

Г. А. Голуб, д.т.н., проф.,

С. І. Павленко, к.т.н., доц., с.н.с.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Одним із важливих елементів технологічного процесу виробництва компостів є розпушування буртів. Тому, формалізація процесу механічного розпушування буртів є важливим фактором, як при експлуатації існуючих машин, так і при проектуванні нових. Наведено методику визначення маси компостного матеріалу на лопаті робочого органу під час розпушування буртів.

Ключові слова: компост, бурт, барабан, лопать, кінематичний показник.

Постановка проблеми. Ефективність функціонування аграрного виробництва визначається забезпеченням збалансованого кругообігу органічних матеріалів. Важливу роль у цьому процесі відіграють механізовані процеси виробництва компостів на основі гною, посліду та органічної сировини рослинного походження. У зв'язку з різноманітністю форм та фізико-механічних властивостей органічної сировини необхідно мати певні типи робочих органів змішувачів-аераторів для здійснення технологічних операцій компостування. Тому, формалізація процесів механічного впливу робочих органів на органічну сировину при компостуванні є важливим фактором як при експлуатації існуючих машин, так і при проектуванні нових.

Аналіз результатів останніх досліджень.

Основним конструктивним елементом змішувача-аератора буртів є барабан з лопатями. Під час роботи змішувач-аератор здійснює поступальний рух, а барабан, що обертається взаємодіє із забуртованим компостним матеріалом. Лопаті, врізаючись в структуру компостного матеріалу, відокремлюють певну його частину і одночасно змішують, розпушують, пересувають і перекидають в зону позаду барабана, формуючи новий бурт. Під час розпушування в зоні польоту відокремлених часток відбувається насичення суміші киснем і звітрення двоокису вуглецю, що утворився внаслідок мікробіологічних процесів. Розпушування буртів супроводжується зниженням температури компосту, звітренням вологи та інших газоподібних речовин [1].

Широке розповсюдження серед дослідників отримали наступні типові математичні моделі структури потоку матеріалу: моделі ідеального витиснення та ідеального змішування, дифузійна та комбінована моделі [2, 3]. Розроблена також математична модель, яка включає систему залежностей ступеня зменшення бурта і коефіцієнта варіації змішування від коефіцієнта завантаження і кінематичного показника режиму роботи змішувача-аератора [4, 7]. Широке коло питань щодо механіко-технологічних основ процесу компостування органічних матеріалів розглянуто також при дослідженні виробництва компостів для потреб грибовництва [5]. Деякі питання, що стосуються механіки процесів компостування, дістали розвиток в [1], однак питання визначення маси ком-

постного матеріалу на лопаті робочого органу під час розпушування буртів у цих дослідженнях не розглядалося. Таким чином, існує потреба подальшого удосконалення існуючих закономірностей для визначення конструкційно-технологічних параметрів змішувачів-аераторів, які б дали змогу підвищити ефективність виробництва шляхом удосконалення і оновлення засобів механізації та обладнання, без використання якого неможливо досягти підвищення ефективності процесу компостування біомаси в системах органічного виробництва продукції.

Метою дослідження є визначення маси компостного матеріалу на лопаті робочого органу під час розпушування буртів.

Результати досліджень. Подача матеріалу на розпушувальний барабан залежить від поперечної площі перерізу бурта, швидкості руху барабану (подачі) та щільності оброблюваного матеріалу, а тому в узагальненому вигляді можна записати:

$$Q_{ПБ} = S_{Б} v \gamma k_{П}, \quad (1)$$

де $Q_{ПБ}$ – подача матеріалу на розпушувальний барабан, кг/с; $S_{Б}$ – поперечна площа перерізу бурта, м²; v – поступальна швидкість змішувача-аератора, м/с; γ – щільність матеріалу, кг/м³; $k_{П}$ – коефіцієнт просіювання компосту через розпушувальний барабан.

Коефіцієнт просіювання компосту через розпушувальний барабан характеризує просіювальну здатність барабана і визначається як співвідношення маси компосту, яка не підпала під дію лопаток розпушувального барабана до загальної маси компосту, що пройшла через змішувач-аератор. У першому наближенні цей коефіцієнт можна визначати як співвідношення сумарної діаметральної площі повздовжнього перерізу барабана, яка не перекривається лопатками до діаметральної площі повздовжнього перерізу розпушувального барабану за виразом:

$$k_{П} = \frac{S_{ПР}}{S_{ПРБ}}, \quad (2)$$

де $S_{ПР}$ – сумарної діаметральної площі повздовжнього перерізу барабана, яка не перекривається лопатками, м²; $S_{ПРБ}$ – діаметральна площа повздовжнього перерізу розпушувального барабана, м².

Середня маса матеріалу на лопаті при

цьому становитиме:

$$m_{ЛСР} = \frac{2\rho S_B v g}{n_L W} k_{\Pi}, \quad (3)$$

де $m_{ЛСР}$ – середня маса матеріалу на розпушувальній лопаті, кг; n_L – кількість розпушувальних розташованих лопатей на барабані, шт.; ω – кутова швидкість розпушувального барабана, с⁻¹.

Масу матеріалу на i -ій лопаті можна визначити наступним чином:

$$m_{Лi} = m_{ЛСР} k_{\Pi} k_{\Phi i} = \frac{2\rho S_B v g}{n_L W} k_{\Pi} k_{\Phi i}, \quad (4)$$

де $m_{Лi}$ – маса матеріалу на i -ій розпушувальній лопаті, кг; $k_{\Phi i}$ – коефіцієнт форми бурта.

Коефіцієнт форми бурта характеризує кількість компосту, яка знаходиться в зоні дії i -ої лопаті розпушувального барабана і визначається як співвідношення поперечного перерізу шару компосту, який знаходиться в зоні дії i -ої лопаті розпушувального барабана до загального поперечного перерізу шару компосту. У першому наближенні цей коефіцієнт можна визначити як співвідношення середньої висоти шару компосту у зоні дії i -ої лопаті розпушувального барабана до середньої висоти шару компосту за виразом:

$$k_{\Phi i} = \frac{h_i}{h_{СР}}, \quad (5)$$

де h_i – середня висота шару компосту у зоні дії i -ої лопаті розпушувального барабана, м; $h_{СР}$ – середня висота шару компосту, м.

Гранична швидкість руху змішувача-аератора становить:

$$v \leq \frac{m_{ЛСР} n_L W}{2\rho S_B g k_{\Pi}}, \quad (6)$$

Таким чином, поступальна швидкість змішувача-аератора знаходиться у прямо пропорційній залежності від кутової швидкості його обертання. Підвищення швидкості руху змішувача-аератора можна також досягти за рахунок збільшення кількості лопатей на барабані або зменшення висоти поперечної площі перерізу бурта. Важливий вплив на технологічні параметри агрегату відіграє також завантаження барабана змішувача-аератора матеріалом, який може бути виражений через коефіцієнт завантаження наступним чином:

$$k_3 = \frac{V_M}{V_{БГ}} = \frac{m_{ЛСР} n_L}{g S_{МЛП} L_{БГ}} = \frac{4m_{ЛСР} n_L}{\pi (D_B^2 - d_B^2) L_{БГ}}, \quad (7)$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження барабана змішувача-аератора; V_M – об'єм матеріалу захопленого лопатками барабана змішувача-аератора за один оберт, м³; $V_{БГ}$ – геометричний об'єм міжлопатевого простору барабана, м³; $S_{МЛП}$ – площа поперечного перерізу міжлопатевого простору барабана, м²; $L_{БГ}$ – геометрична довжина барабана змішувача-аератора, м; D_B – діаметр барабана, м; d_B – діаметр вала барабана, м.

Із урахуванням коефіцієнта завантаження гранична швидкість руху змішувача-аератора становитиме:

$$v \leq \frac{W S_{МЛП} L_{БГ}}{2\rho S_B k_{\Pi} k_3} \quad (8)$$

Із урахуванням вищевказаного, можна ввести таке поняття як співвідношення геометричного об'єму міжлопатевого простору барабана до площі поперечного перерізу бурта:

$$k_r = \frac{S_{МЛП} L_{БГ}}{S_B}. \quad (9)$$

де k_r – коефіцієнт співвідношення геометричного об'єму міжлопатевого простору барабана до площі поперечного перерізу бурта, м.

Тоді можемо записати:

$$v \leq \frac{W k_r}{2\rho k_{\Pi} k_3} \text{ або } l = \frac{W D_B}{2v} \geq \rho \frac{k_{\Pi} k_3}{k_r} D_B \quad (10)$$

де l – кінематичний показник роботи барабана змішувача-аератора.

Отримані залежності описують взаємозв'язок швидкості руху агрегату, кутової швидкості та режиму роботи робочих органів із їхніми конструкційними, кінематичними і технологічними параметрами.

Підвищення швидкості руху змішувача-аератора можна досягти за рахунок збільшення кутової швидкості (частоти обертання), коефіцієнта співвідношення геометричного об'єму міжлопатевого простору барабана до площі поперечного перерізу бурта а також шляхом поліпшення технологічних умов, які пов'язані з величиною коефіцієнта просіювання компосту через розпушувальний барабан та коефіцієнта завантаження барабана змішувача-аератора.

Для випадку, коли висота барабана дорівнює або менша висоти бурта, можна визначити площу стружки, відокремлюваної лопаттю за один прохід (рис. 1) та масу компосту на ній.

Загальновідомо, що рівняння руху різальної кромки лопаті відносно матеріалу в системі координат XOY описується системою параметричних рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = vt + R \sin \omega t, \\ \dot{y}(t) = -R \cos \omega t, \end{cases} \quad (11)$$

де R – радіус кола, який описує різальна кромка лопаті, м; t – час, с.

Площа стружки A , відокремлюваної однією лопаттю робочого органу, визначиться як площа між проекціями (на площину XOY) траєкторій різальних кромки суміжних лопатей. Загальновідомо, що в узагальненому вигляді площа стружки визначається за формулою:

$$A = \int_0^t \dot{x}_2(t) y_1(t) dt - \int_0^t \dot{x}_1(t) y_2(t) dt \quad (12)$$

де A – площа стружки, відокремлюваної однією лопаттю робочого органу, м².

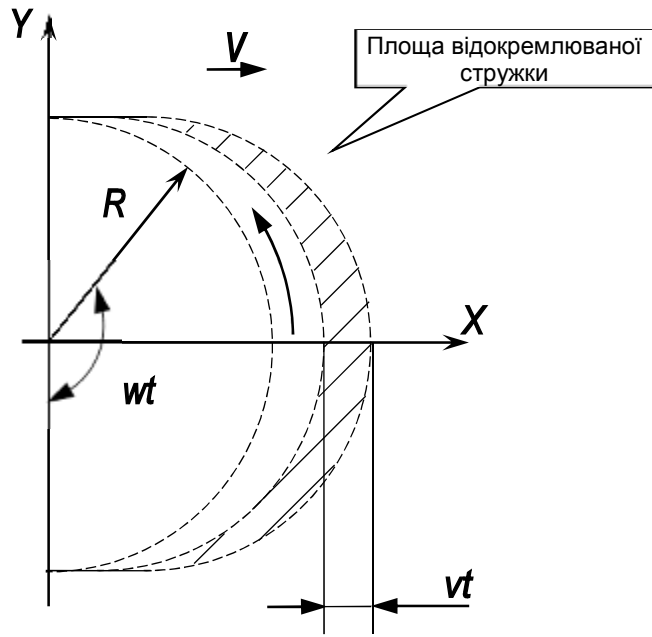


Рис. 1. Траєкторія руху двох сусідніх різальних крайок лопатей (схема ідеальної форми стружки утвореної прямою лопаттю)

Враховуючи, що траєкторія другої лопатки $x_2(t)$ зміщена відносно траєкторії першої лопатки $x_1(t)$ на величину подачі лопатевого робочого органу, яка становить $d = \frac{2pv}{n_{\text{л}}\omega}$, можна записати:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= vt + R \sin \omega t; \\ x_2(t) &= vt + R \sin \omega t + \frac{2pv}{n_{\text{л}}\omega} \end{aligned} \quad (13)$$

У свою чергу параметричні рівняння, що описують ординату руху різальної крайки залишаються незмінними, а саме: $y_1(t) = y_2(t) = -R \cos \omega t$.

Із урахуванням вище приведених залежностей отримаємо вираз для визначення площі відокремлюваної стружки, аналогічний наведеному в роботі [6, 7]:

$$A = \frac{2pvR}{n_{\text{л}}} \int_0^t \sin \omega t dt = -\frac{2pvR}{\omega n_{\text{л}}} \cos \omega t - \frac{2pvR}{\omega n_{\text{л}}} = \frac{pvD_{\text{б}}}{n_{\text{л}}\omega} (1 - \cos \omega t). \quad (14)$$

Маса відокремлюваної стружки лопаттю з урахуванням її ширини $b_{\text{л}}$ та щільності матеріалу становить:

$$m = \frac{pvD_{\text{б}}}{n_{\text{л}}\omega} b_{\text{л}} g (1 - \cos \omega t) \quad (15)$$

де $b_{\text{л}}$ – ширина лопаті робочого органу, м.

Для узагальнення залежності з визначення маси матеріалу на лопаті робочого органу скористаємося кінематичним показником режиму роботи барабана (відношення колової швидкості лопаті до її поступальної швидкості $\lambda = \omega R/v$). У

цьому випадку рівняння для визначення маси відокремлюваної стружки на лопаті набуде вигляду:

$$m = \frac{2pR^2}{n_{\text{л}}l} b_{\text{л}} g (1 - \cos \omega t) \quad (16)$$

На рис. 2 представлено результати моделювання завантаження лопаті барабана аератора-змішувача компостом в залежності від кута повороту барабана та кінематичного показника режиму роботи барабана.

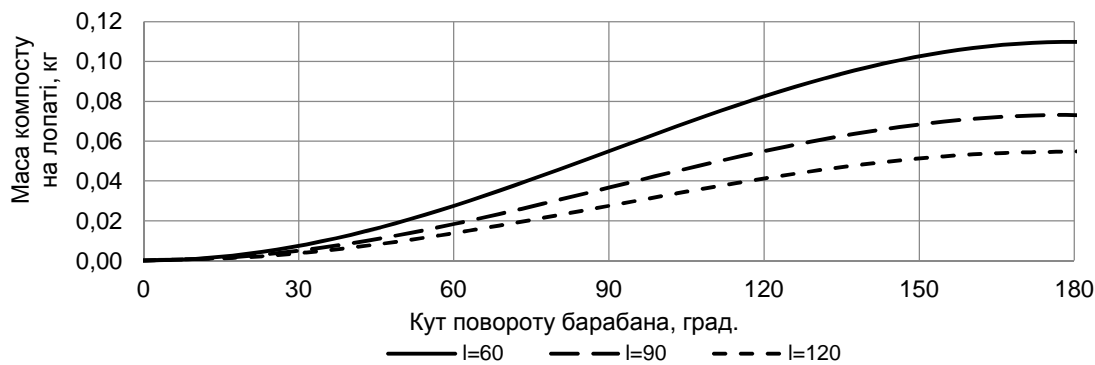


Рис. 2. Зміна маси компосту на лопаті в залежності від кута повороту барабана та кінематичного показника режиму роботи барабана

Висновки. Таким чином, у випадку, коли висота барабана дорівнює або менша висоти бурта і не враховується обвалювання компосту на барабан, маса компосту на лопаті барабана аератора-змішувача визначається конструкційними параметрами, а саме діаметром барабана та шириною лопатей, технологічними параметрами – щільністю компосту та кінематичним показником режиму роботи барабана, а також кутом повороту лопатей барабана в компості. При ді-

метрі барабана 0,3 м, 6-ти лопатях у поперечному перерізі барабана, ширині лопаті 0,07 м, щільності компосту 500 кг/м^3 та швидкості руху аератора-змішувача 0,1 м/с, збільшення величини кінематичного показника режиму роботи барабана аератора-змішувача від 60 до 120 за рахунок зміни кутової швидкості барабана призводить до зменшення маси компосту на лопатях барабана при їх повороті на 180 град. практично у два рази.

Список використаної літератури

1. Дослідити закономірності впливу механіко-технологічних параметрів систем комплексної переробки органічних відходів тваринництва і рослинництва на ефективність процесу, якість органічних добрив і показники екологічної безпеки: звіт про НДР (заключ.) / Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» (ЗНДЦМТ); Керівник роботи А.О. Парієв. – КП КВК 6591060; № держреєстрації 0111U004414. – Запоріжжя, 2015. – 291 с.
2. Иванец В.Н. Энтропийный подход к оценке процесса смешивания сыпучих материалов / В.Н. Иванец, И.А. Бакин, Г.Н. Белоусов – Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2002. – №11.
3. Бакин И.А. Моделирование процесса смешивания энтропийно - информационным методом / И.А. Бакин, Г.Н. Белоусов, А.И. Саблинский – Новые технологии в научных исследованиях в образовании / Материалы Всероссийской научно-практической конференции. ч.1., г. Юрга. 2001.
4. Павленко С.І. Математическая модель взаимодействия рабочих органов смесителя-аэратора с компостируемыми материалами / С.І. Павленко, А.А.Ляшенко, Н.Н. Науменко, В.А. Гуридова // Материалы Международной научно-технической конференции. Минск, 22-23 октября 2015 г. – т.1. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – 2015. – с.137-147.
5. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи / Г.А. Голуб // Монографія. – Київ, Аграрна наука, 2007. – 332 с.
6. Шевченко І.А. Теоретичний аналіз впливу конструктивних і розмірних параметрів робочих органів на продуктивність копостоготувальної машини / І.А. Шевченко, О.О. Ляшенко // Збірник наукових праць "Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві" ІМТ УААН. – Запоріжжя, 2008. – №1 (1). – С. 3-11.
7. Павленко С.І. Теоретичні дослідження процесу взаємодії лопаті робочого органу аератора з гное-компостною сумішшю / С.І. Павленко // Збірник праць Вінницького національного аграрного університету. – Серія: Технічні науки. – Випуск №3(92). – Вінниця. – 2015. – с. 24-27.

Голуб Г.А., Павленко С.І. Определение массы компоста на лопасти барабана при рыхлении буртов

Одним из важных элементов технологического процесса производства компостов является рыхление буртов. Поэтому, формализация процесса механического рыхления буртов является важным фактором, как при эксплуатации существующих машин, так и при проектировании новых. Приведена методика определения массы компостного материала на лопасти рабочего органа при рыхлении буртов.

Ключевые слова: компост, бурт, барабан, лопасть, кинематическая показатель.

Golub G., Pavlenko S. Determine the mass of the compost on the blade drums during loosening the clamp

The efficiency of the agricultural production cycle is determined by providing balanced organic materials. An important role in this process is played by mechanized production processes based compost manure, litter and organic raw materials of plant origin. Due to the variety of forms, physical and mechanical properties of organic materials must have certain types of working of the mixer-aerator implementation process operations composting. Therefore, the formalization process of mechanical action on workers of organic raw materials in the composting is an important factor as the operation of existing machines and the design of new ones.

The study aims to determine the mass of compost material on the blade working body in the loosening clamps.

For the case when the height of the drum is equal to or less than the height of collar, you can define an area of the chip, detachable blade in one pass and a lot of compost in it.

Established that when the height of the drum is equal to or less than the height of the collar and is not considered deboning compost in the drum, the weight of compost on the blade drum aerator-mixer determined structural parameters such as the diameter of the drum and the width of the blades, technological parameters - density of compost and kinematic indicator mode of drum and drum blade angle in compost. With a drum diameter of 0,3 m, 6 blades in the cross section of the drum, blade width 0.07 m, compost density of 500 kg/m³ and the speed of the mixer-aerator 0.1 m/s, increasing the value of the indicator kinematic mode of the drum aerator-mixer from 60 to 120 by changing the angular velocity of the drum leads to weight reduction compost drum on the blades when they turn 180 degrees almost doubled.

Keywords: compost, clamp, drum, blade, kinematic indicator.

Стаття надійшла в редакцію: 06.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кузема О.С.

УДК 664.047

**МОДИФІКОВАНА ТЕХНОЛОГІЧНА ЛІНІЯ ЕКСТРУДОВАНИХ ПРОДУКТІВ
ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ АГРАРНОЇ СИРОВИНИ**

В. П. Дмитриков, д.т.н., професор, Полтавська державна аграрна академія

Ю. І. Семірненко, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

Зазначено проблеми, що склалися в сфері виробництва зернових екструдатів. Наведено будову і компоновку гнучких технологічних ліній з переробки аграрної сировини. Проаналізовано фактори впливу на екструзію ні процеси переробки продукції рослинництва. Запропоновано модифіковану технологічну лінію виробництва екструдованих хлібців з можливостями виробництва комбікорнів різного призначення.

Ключові слова: аграрна сировина, екструзія, зернові хлібці, комбікорм, модифікація, технологічна лінія.

Постановка проблеми у загальному вигляді. В сучасних соціально-економічних умовах особливого значення набуває підвищення ефективності роботи переробних галузей агропромислового комплексу.

До найбільш вискооефективних способів переробки аграрної сировини відносять термопластичну екструзійну обробку, котра суміщує термо-, гідро- і механічну дію на компоненти, що дозволяє отримувати харчові напівфабрикати і продукти з новими властивостями текстур з позитивним для організму людини балансом живильних речовин і кращою засвоюваністю.

Цей процес вважається універсальним як за видами сировини, так і за готовими до вживання продуктами і напівфабрикатами, до яких відносять зернові хлібці, сухі сніданки, снєкі і тому подібне[1,7].

Вважають, що зернові хлібці є натуральним, екологічно безпечним і дієтичним продуктом харчуванням. До корисної властивості хлібців

належить наступне: вони є чудовим джерелом білка, що легко засвоюється організмом людини. Завдяки використанню спеціальної технології зберігається переважна більшість цінних вітамінів і мінеральних речовин, натуральної клітковини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Результати аналізу літературних джерел з метою визначення пріоритетних напрямів розвитку технологій харчових продуктів, вказують на перспективність нових підходів до переробки рослинної сировини з метою використання в харчових виробництвах.

Екструдати вівсяної, пшоняної і ячмінної муки, отримані методом термопластичної екструзії, відрізняються високим вмістом білка і низьким вмістом жиру. Вони одночасно є джерелом харчових волокон і сприяють підвищенню опірності організму людини шкідливій дії навколишнього середовища [2].

Застосування екструзійної техніки в харчовій промисловості дозволяє в даний час не тільки