

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЛОДОВОЇ ДЕРЕВИНИ

Бондаренко Л. Ю., к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-5858-7375

Стручаєв М. І., к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8891-4960

Вершков О. О., к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-5137-3235

Філіпов Д. О., аспірант\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-24-36

*Постановка проблеми.* Шляхом постачання плодової продукції на зовнішній ринок є процедура сертифікації всіх процесів виробництва продукції за стандартом GLOBALG.A.P. [1], яким визначено, що відходи компостують і застосовують для поліпшення ґрунту в садах, а методи компостування мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища. У сучасному промисловому садівництві України основне джерело відновлюваних ресурсів є тріска зрізаних гілок плодкових дерев, яку доцільно використовувати для приготування компосту, тим самим повертаючи відновлювані ресурси у екосистему саду, в якості біодобрива – компосту [2].

Для того, щоб забезпечити процедуру сертифікації плодової продукції за стандартом GlobalG.A.P. по контрольній точці з вимогами щодо переробки і компостування тріски із зрізаних гілок плодкових дерев необхідно визначити склад вхідної суміші, яка буде складатися із відходів садівництва [3]. Це надає можливість обґрунтувати параметри буртів буртового способу компостування для перетворення деревини зрізаних гілок (тріски) на добрива.

Для підвищення ефективності процесу компостування тріски необхідно дослідити вплив оптимальної кількості води на процес перетворення компостної суміші.

*Аналіз останніх досліджень.* Деревна біомаса на сьогоднішній день являє собою викиди і є відходами садівничої діяльності. Але зрізані гілки мають досить великий енергетичний потенціал і можуть бути використані для: виробництва паливних гранул, брикетів [4]; спалювання тріски або тирси; зброджування в біогазогенераторах [5,6]; виробництва добрив шляхом компостування [7]. Є можливість підвищити ефективність використання деревної біомаси зрізаних гілок хімічною обробкою і заморожуванням [8,9].

Компостування дозволяє отримувати органічні добрива в садах.

Існують різні методи буртового компостування, які розрізняються за складом вихідних органічних матеріалів і мінеральних добавок та їх пропорції, за способами забезпечення достатньої аерації і підтримки оптимальної вологості та за використанням спеціальних методів підвищення мікробіологічної активності компосту [10,11]. Склад маси, що компостується може бути найрізноманітнішим, однак завжди необхідно поєднувати два основних компоненти: органічні залишки, що розкладаються і матеріали, які служать адсорбентами продуктів розкладання.

Однією з умов оптимального режиму компостування відходів різного походження є правильне поєднання речовин, які важко і легко розкладаються та їх рівномірне зволоження та перемішування [12].

Однак, компостування має відносно невисоку популярність через такі недоліки як тривалий виробничий цикл, а іноді отримання продукту нестабільної якості. Тому сьогодні використовують багато заходів для поліпшення процесу компостування [10–13].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою дослідження є встановлення можливості підвищення ефективності і стабільності вироблення компосту, шляхом забезпечення оптимальної кількості води, доданої в процесі компостування, за рахунок застосування зворотної системи зволоження.

*Основна частина.* Для досягнення поставленої мети необхідно розробити: методику розрахунку визначення оптимальної кількості води для зволоження компосту; схему пристрою оборотної системи зволоження компосту.

Методика дослідження заснована на модифікованому методі вивчення процесу компостування [14–16].

Для приготування компосту використовували суміш наступного складу: тріска зі зрізаних гілок 60%; опале листя 20%; курячий послід 20%. Курячий послід є важливим компонентом для приготування компосту. Використовували послід бройлерів, курей маточного стада, що містяться на підстилці з тирси, лузги насіння, дрібно нарізаною соломи. Необхідно також додавати гіпс, який використовується в розрахунку 60 кг гіпсу на одну тону тріски зрізаних гілок та опалого листя і потрібен для формування структури і рН компосту. Важливим компонентом є також вода.

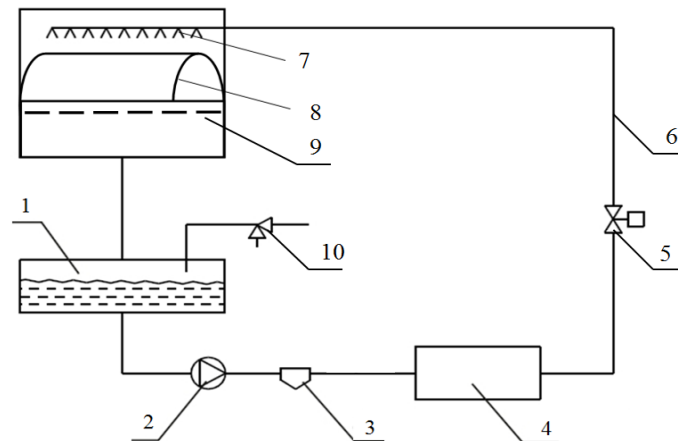
Для отримання якісного компосту, необхідно знати початкову вологість його компонентів, а також вміст в них азоту, фосфору, калію і кальцію.

На підставі результатів аналізу вихідної сировини приступають до початкового етапу компостування, суміш перемішують і зволожують до відносної вологості 70–80%. Ці операції сприяють зростанню мікрофлори, яка бере участь в процесі компостування. В результаті життєдіяльності мікроорганізмів відбувається розігрів

суміші, що компостується, яку перемішують через кілька днів, що сприяє насичуванню компосту киснем, мінеральними добавками і доводженню до однорідного стану.

Ферментація як недостатньо вологого, так і перезволоженого компосту менш ефективна, а при «заливанні» його процес може зупинитися зовсім.

Одним із вагомих чинників процесу компостування є волога, а саме її рівномірне розподілення. Для цього необхідно забезпечити відповідне дозування витрати води. Під час зволоження деяка кількість води утримується у компостній суміші – це капілярна волога, а інша її кількість – гравітаційна вода, просочується (фільтрується) через буртову суміш і потрапляє через ґратчасту підлогу з лотком у приямок. Пропонується зібрати просочену воду і використати її для повторного зволоження. Для цього розроблено схему зволоження компосту з оборотною системою (рис. 1).



1 – бак-накопичувач, 2 – насос, 3 – пісчано-гравійний фільтр, 4 – дозатор – змішувач мінеральних домішок, 5 – регулювальний кран, 6 – поливний трубопровід, 7 – розподільчий трубопровід з водовипусками, 8 – бурт компосту, 9 – ґратчаста підлога з лотком і приямок, 10 – кран подачі води.

Рис. 1. Схема установки для зволоження компосту з деревної біомаси зрізаних гілок.

*Опис процесу зворотної системи зволоження компосту.* Зволоження під час приготування компосту проводиться по замкнутому циклу.

На ґратчасту підлогу 9 з лотком і приямок укладають біомасу у вигляді бурта 8. Для забезпечення нормального процесу ферментації в компостній суміші, її зрошують водою, яка подається за допомогою насоса 2 з бака-накопичувача через пісчано-гравійний фільтр 3 з використанням дозатора – змішувача мінеральних домішок 4. Через регулювальний кран 5 та поливний трубопровід 6 вода потрапляє у розподільчий трубопровід з водовипусками 7.

Зайва волога з бурту 8 (в тому числі волога від атмосферних опадів) просочується через ґратчасту підлогу 9 в приямок і лоток, звідки стікає (завдяки ухилу дна лотка) назад в бак–накопичувач 1. В процесі ферментації вологість біомаси зменшується і для її зволоження по замкнутому циклу використовується вода, яка просочується з бурту 8. При необхідності через кран подачі 10 подається додаткова кількість води.

Розрахунок оптимальної кількості води для зволоження проводимо для вхідних параметрів складових компонентів компостної суміші, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вхідні параметри складових компонентів компостної суміші.

№ п/п	Величина	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Складові компоненти суміші				
1	Тріска	<i>a</i>	%	60
2	Листя	<i>b</i>	%	20
3	Курячий послід	<i>c</i>	%	20
Вологість компонентів суміші				
4	Тріска	$W_{в.т}$	%	70
5	Листя	$W_{листя}$	%	60
6	Курячий послід	$W_{посл.}$	%	40
	Вхідна вологість суміші	$W_{сomp.}$	%	
7	Необхідна вологість суміші	$W_{сomp}$	%	70–80
Маса компонентів суміші				
8	Тріска	$m_T$	кг	10000
9	Листя	$m_{листя}$	кг	2000
10	Курячий послід	$m_{посл.}$	кг	2000
11	Загальна маса компонентів суміші	$m_{комп.}$	кг	14000

Масу води, яку містить тріска визначимо за формулою:

$$m_{в.м} = \frac{W_{в.м.} \cdot m_m}{100}, \quad (1)$$

де  $m_{в.м.}$  – маса води у вхідній масі тріски, кг;

$m_T$  – вхідна маса тріски, кг;

$W_{в.т.}$  – відносна (робоча) вологість вихідної тріски, %.

Кількість води у листях визначимо за формулою:

$$m_{в.л.} = \frac{W_{в.л.} \cdot m_{л.}}{100}, \quad (2)$$

де  $m_{в.л.}$  – маса води у вхідній масі листя, кг;

$m_{л.}$  – вхідна маса листя, кг;

$W_{в.л.}$  – відносна (робоча) вологість вхідного листя, %.

Кількість води у курячому посліді визначимо за формулою:

$$m_{в.посл.} = \frac{W_{в.посл.} \cdot m_{посл.}}{100}, \quad (3)$$

де  $m_{в.посл.}$  – маса води у вхідній масі посліду, кг;

$m_{посл.}$  – вхідна маса посліду, кг;

$W_{в.посл.}$  – відносна (робоча) вологість вхідного посліду, %.

Сумарну кількість води у компостній суміші визначимо за формулою:

$$m_{в.комп.} = m_{в.т.} + m_{в.листя} + m_{в.посл.}, \quad (4)$$

де  $m_{в.комп.}$  – вхідна маса води у компості, кг;

Сумарну масу компосту визначимо за формулою:

$$m_{комп.} = m_{т.} + m_{листя} + m_{посл.}, \quad (5)$$

де  $m_{комп.}$  – вхідна маса компосту, кг;

$m_{т.}$  – вхідна маса тріски, кг;

$m_{листя}$  – вхідна маса листя, кг;

$m_{посл.}$  – вхідна маса посліду, кг.

Вологість вхідної суміші, що підлягає компостуванню визначимо за формулою:

$$W_{в.комп.} = \frac{m_{в.комп.}}{m_{комп.}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Кількість сухої речовини у вхідній суміші компосту визначимо за формулою:

$$m_{с.р.} = \frac{(100 - W_{в.комп.}) \cdot m_{в.комп.}}{100}, \quad (7)$$

де  $m_{с.р.}$  – вхідна маса сухої речовини у компості, кг;

$m_{в.комп}$  – маса води у вхідній масі суміші, що компостується, кг;

$W_{в.комп}$  – вологість вхідної суміші, що підлягає компостуванню, %.

Процентна кількість сухої речовини у вхідній суміші, що підлягає компостуванню (ступінь сухості) визначимо за формулою:

$$x_{сух.к.} = \frac{m_{сух.к.}}{m_{комп}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де  $x_{сух.к.}$  – ступінь сухості вхідної суміші, що компостується, %.

Під час приготування компосту суміш має підлягати періодичному зволоженню, тому наступним кроком є визначення необхідної кількості води для зволоження даної компостної суміші:

– масу суміші, що компостується, зволоженої до необхідної вологості визначимо за формулою:

$$m_{зв.комп} = \frac{m_{сух.к.} \cdot 100\%}{x_{сух.к.}}, \quad (9)$$

де  $m_{сух.к.}$  – вхідна маса сухої речовини компосту, кг;

– загальна маса води (вихідна плюс додаткова) у компості, яка необхідна для досягнення необхідної вологості визначиться за формулою:

$$m_{заг.} = m_{зв.комп} - m_{сух.к.}, \quad (10)$$

де  $m_{зв.комп}$  – маса суміші, що компостується, яка зволожена до необхідної вологості, кг;

– маса води, яку необхідно додати для досягнення необхідної вологості визначиться за формулою:

$$m_{дод.води} = m_{заг.} - m_{вих.в.комп}, \quad (11)$$

де  $m_{заг.}$  – загальна маса води (вихідна плюс додаткова) у компостній суміші для досягнення необхідної вологості, кг;

$m_{вих.в.комп}$  – вихідна маса води у компості, кг;

Результати розрахунку параметрів компостування наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку параметрів компостування

Величина	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість вологи, що містить тріска	$m_{в.т}$	кг	7000
Кількість вологи у листях	$m_{в.л.}$	кг	1200
Кількість вологи, що містить курячий послід	$m_{в.посл.}$	кг	800
Сумарна кількість води у компості	$m_{в.комп}$	кг	9000
Загальна маса компонентів суміші для компосту	$m_{комп.}$	кг	14000
Вихідна вологість суміші для компосту	$W_{в.комп}$	%	64,286
Кількість сухої речовини у вихідній суміші	$m_{с.р}$	кг	5000
Процентна кількість сухої речовини у вихідній суміші, що завантажується для компостування	$x_{сух.к.}$	%	35,714
Маса суміші, що компостирується, яку зволожено до необхідної вологості	$m_{зв.комп}$	кг	16700
Загальна маса води в завантаженому компості для досягнення необхідної вологості	$m_{заг.}$	кг	11700
Маса води, що додається для досягнення необхідної вологості	$m_{дод.води}$	кг	2700

*Висновки.* Доведено, що підвищення ефективності процесу компостування може бути досягнуто шляхом визначення оптимальної кількості води і застосування зворотної системи зволоження.

Встановлено, що зворотна система зволоження компостної суміші дозволяє раціонально використовувати просочену воду для подальшого зволоження компосту, яка може бути використана при проектуванні процесу компостування і підбору відповідного обладнання.

### Список використаних джерел

1. Global G.A.P. Интегрированная система управления сельско-хозяйственным производством [Integrated Farm Assurance Standard

(IFA)]. Общий базовый модуль для сельхозпредприятий – Растениеводство – Фрукты и овощи. Контрольные точки и критерии соответствия [Действует с 01.07.2017]. Кельн, 2017. 163 с.

2. Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю. Визначення та опис технічної енергетичної системи з використання відновлювальних ресурсів плодкових насаджень. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 192–199. DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-192-199.

3. Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю., Стручаєв М. І. Використання відновлюваних ресурсів садівництва за вимогами стандарту GLOBALG.A.P. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон, 2019. Вип. 7. С. 76–83.

4. Караєв О. Г., Стручаєв М. І., Бондаренко Л. Ю. Підвищення ефективності топки для використання енергопродукту з плодової деревини у якості біопалива. *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Харків, 2019. Вип. 201: Інноваційні проекти у галузі технічного сервісу машин. С. 253–259.

5. Outlook for biogas and biomethane. URL: <https://webstore.iea.org/outlook-for-biogas-and-biomethane> (дата звернення: 12.02.2021).

6. Ши Линь, Караєв А. И., Стручаєв Н. И. Биогазгенератор для фермерского хозяйства. *Труды Таврийской государственной агротехнической академии*. Мелітополь, 1997. Вип. 2. С. 7–10.

7. Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю., Стручаєв М. І. Термодинамічна модель отримання добрив з тріски зрізаних гілок плодкових дерев. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 3. С. 105–114. DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-105-114.

8. Improving the Efficiency of Fruit Tree Sprayers / N. Struchaiev, L. Bondarenko, O. Vershkov, A. Chaplinskiy. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 3–10. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5\_1.

9. Determination of the Duration of Spherical-Shaped Berries Freezing Under the Conditions Stationary Heat Flow / N. Struchaiev, Y. Postol, Y. Stopin, I. Borokhov. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 405–414. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5\_42.

10. Варфоломеев Л. А. Приготовление промышленных компостов на основе твердых отходов деревообработки. Москва: Наука, 1992. 52 с.

11. Гаврилов Т. А., Паталайнен Л. С., Колесников Г. Н. О ресурсосберегающих технологиях экологически безопасной



утилизации древесной коры. *Современные научные исследования и инновации*. 2014. Т. 39 (7). С. 59–64.

12. Nutrient accumulation and availability in compost-amended turfgrass soil / A. L. Wright et al. *Journal of Hortscience*. 2007. Vol. 42. P. 1473–1477. DOI: 10.21273/HORTSCI.42.6.1473.

13. Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste / Y. Xiao et al. *Bioresour Technol.* 2009. P. 4807–4813. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.05.013.

14. Ялпачик В. Ф., Стручаев М. І., Верхованцева В. О. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження зерна. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 1: Технічні науки. С. 3–8.

15. Дідур В. А., Стручаєв М. І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві: навч. посібник. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.

16. Стручаєв М. І., Постол Ю. О. Аналіз термодинамічних процесів у потоці повітря. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Харків, 2017. Вип. 187: Проблеми енергозабезпечення в АПК України. С. 28–29.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЛОДОВОЇ ДЕРЕВИНИ**

Бондаренко Л. Ю., Стручаєв М. І., Вершков О. О., Філіпов Д. О.

### *Анотація*

Робота присвячена дослідженню процесу компостування тріски зрізаних гілок плодкових дерев. Наведено методику визначення необхідної кількості води для забезпечення якісного протікання термічних перетворень у процесі компостування. Запропоновано використання зворотної системи зволоження по замкнутому циклу, яка дозволить підвищити ефективність процесу компостування за рахунок рівномірного зволоження компосту з відповідним дозуванням витрати води. Запропонована методика розрахунку визначення оптимальної кількості води для зволоження компосту може бути використана при проектуванні компостування і підбору обладнання.

**Ключові слова:** компост, підвищення ефективності, тріска, оборотна система зволоження, листя, курячий послід.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПЛОДОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Бондаренко Л. Ю., Стручаев Н. И., Вершков А. А., Филиппов Д. О.

### *Аннотация*

Работа посвящена исследованию процесса компостирования щепы срезанных ветвей плодовых деревьев. Приведена методика определения необходимого количества воды для обеспечения качественного протекания

термических преобразований в процессе компостирования. Предложено использование оборотной системы увлажнения по замкнутому циклу, которая позволит повысить эффективность процесса компостирования за счет равномерного увлажнения компоста с соответствующим дозированием расхода воды. Предложенная методика расчета определения оптимального количества воды для увлажнения компоста может быть использована при проектировании компостирования и подбора оборудования.

**Ключевые слова:** компост, повышение эффективности, щепа, оборотная система увлажнения, листья, куриный помет.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE WASTE FRUIT WOOD

L. Bondarenko, N. Struchaiev, O. Karaiev, O. Vershkov, D. Philipov

### *Summary*

The article is devoted to improving the efficiency and stability of compost production by determining the optimal amount of water and additives introduced during the composting process using a circulating humidification system. In order to provide the procedure for certification of fruit products according to the GlobalG.A.P. it is necessary to determine the composition of the initial mixture from horticultural waste. This makes it possible to substantiate the parameters of the pile method. To achieve this goal, it is necessary: to propose a calculation method and a paradigm for determining the optimal amount of water for moistening compost; to propose a scheme for a recycling compost humidification system. After analyzing the raw materials, they proceed to the initial stage at which the mixture for composting is prepared, mixed and moistened to the required moisture content. To ensure uniform compost moisture and appropriate dosage of water and additives, it is proposed to use a circulating humidification system. Humidification during composting is carried out in a closed cycle. Water from the storage tank is pumped through a filter and dispenser into a spray comb installed above the compost pile. Excess water flows back into the storage tank. At the first stage, the raw materials are soaked and brought to the required moisture content of 70–80%, and at the second, the compost is moistened when it is poured. Part of the water is absorbed by the compost mass, the excess, which contains useful substances, is drained back into the storage tank. Fermentation of both insufficiently moist and waterlogged compost is less effective, and when "filling" its process may stop altogether. Therefore, it is important to correctly calculate the amount of water for humidification. The proposed method for calculating the determination of the optimal amount of water for moistening the compost and the scheme of the circulating system for moistening the compost can be used in the design of composting and selection of equipment.

**Key words:** compost, efficiency, splinters, circulating system moisture, leaves, chicken droppings.