

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО  
Механіко-технологічний факультет**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри сільськогосподарських машин

д.т.н. \_\_\_\_\_ Олександр КАРАЄВ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи  
здобувача СВО Магістр

на тему: «Обґрунтування буртового способу компостування тріски  
із зрізаних гілок плодових дерев»

**32СМД.000.000000ПЗ**

Виконав: здобувач ВО 2 курсу, 22 МБ АІ 3 групи  
зі спеціальності 208 Агроінженерія  
за ОПП Агроінженерія

\_\_\_\_\_ **Олексій ЮХТЕНКО**

Керівник, доц.

Консультант, проф. \_\_\_\_\_

Консультант, \_\_\_\_\_

Нормоконтроль, доц.

Рецензент, \_\_\_\_\_

Мелітополь – 2021 рік

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ І КОМПОСТУВАННЯ ДЕРЕВНОЇ БІОМАСИ.....	10
1.1 Шляхи використання відновлюваних ресурсів плодкових насаджень. ....	10
1.2 Аналіз способів отримання органічних добрив. ....	14
1.3 Визначення технічної проблеми компостування і постановка задач досліджень .....	17
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ.....	19
2.1 Технологія переробки і компостування зрізаних гілок плодкових дерев	20
2.2. Вплив фізико-хімічних характеристик на процес компостування .....	22
2.3 Характеристика об'єкту досліджень та умови проведення дослідів .....	25
2.4. Методика визначення об'ємно-масових характеристики зрізаних гілок плодкових дерев .....	28
2.5. Розробка термодинамічної моделі отримання добрив з тріски зрізаних гілок плодкових дерев .....	29
2.6. Методика визначення окремих фізико-механічних властивостей суміші, що компостується.....	33
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ САДІВНИЦТВА .....	35
3.1 Розмірно – масові характеристики зрізаних гілок плодкових дерев .....	35
3.2. Визначення площі контактної поверхні тріски зрізаних гілок.....	41
3.2. Температурний режим і теплофізичні параметри буртового способу компостування тріски зрізаних гілок .....	44
3.3. Дослідження фізико-механічних властивостей біодобрива. ....	50
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	54

4.1 Організація роботи служби охорони праці на підприємствах садівничої галузі.....	54
4.2 Вимоги з охорони праці під час виконання робіт.....	56
4.2.1. Вимоги безпечної роботи під час обрізування дерев .....	56
4.2.2. Вимоги з охорони праці під час подрібнення гілок.....	59
4.3 Вимоги з охорони праці у надзвичайних ситуаціях .....	62
4.4. Заходи, які пропонуються щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці працівників галузі садівництва.....	65
<b>РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ КОМПОСТУВАННЯ.....</b>	
5.1 Визначення економічних показників вироблення компосту.....	66
5.2 Розрахунки економічної ефективності застосування технології переробки зрізаних гілок плодових дерев у компост .....	66
Висновки .....	67
Список використаних джерел .....	69

## ВСТУП

Галузь розсадництва плодкових культур є основою промислового садівництва і призначена забезпечувати її сертифікованим садивним матеріалом у необхідній кількості, що визначає сталий розвиток галузі садівництва України.

Згідно з ДСТУ ISO 13600-2001 «Системи енергетичні технічні» зрізані гілки плодкових дерев (ЗГ) є побічною продукцією садівництва, а в сучасному виробництві плодової продукції України є викидом і належать до відновлюваного ресурсу (ВР), який може бути перероблений в певний вид енергопродукту. На даний час утилізацію ЗГ здійснюють переважно спалюванням на відкритому повітрі, що призводить до таких експлуатаційних наслідків, як виснаження природних ресурсів і негативних змін у біосфері.

Шляхом постачання плодової продукції на зовнішній ринок є процедура сертифікації всіх процесів виробництва продукції за стандартом GLOBALG.A.P., яким визначено, що відходи компостують і застосовують для поліпшення ґрунту в садах, а методи компостування мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища.

Базовим модулем даного стандарту, а саме АF6, передбачено ліквідацію відходів і контроль забруднення навколишнього середовища, переробка і повторне використання відходів. У пункті 6.2.4. цього стандарту визначено таку контрольну точку: «Організована лі переробка і компостування органічних відходів...», а критерієм відповідності даної контрольної точки є те, що відходи компостуються і застосовуються для поліпшення ґрунту в садах, а методи компостування мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища.

У промисловому садівництві для компостування використовують тріску зрізаних гілок плодкових дерев, тим самим повертаючи відновлювані ресурси у екосистему сада, в якості біодобрива – компосту. Але ця галузь перероблення тріски в енергопродук дуже мало досліджена.

Метою компостування є розкладання органічних речовин по можливості ефективно, щоб перетворити їх в стабільний, якісний гумус, придатний для живлення рослин, в контрольованому процесі розкладання, який є максимально ефективним, нетривалим і має по можливості низький рівень виділення газів, що гарантує максимальну екологічну та економічну ефективність.

При компостуванні необхідно забезпечити вільний доступ кисню в масу, що компостується за рахунок її розпушування та створити оптимальні умови вологості. Найбільш широко застосовується компостування відходів в буртах певного розміру. Розміри бургів залежать від термодинамічних процесів, які відбуваються під час компостування. Від швидкості злежування тріски і розкладання маси, що компостується, залежить співвідношення загальної поверхні бурта до його розмірів поперечного перерізу.

Тому є вкрай актуальним обґрунтування параметрів буртового способу компостування для перетворення деревини зрізаних гілок (тріски) на добрива.

Це дозволить забезпечити процедуру сертифікації плодової продукції за стандартом GlobalG.A.P. по контрольній точці з вимогами щодо переробки і компостування тріски із зрізаних гілок плодових дерев.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ І КОМПОСТУВАННЯ ДЕРЕВНОЇ БІОМАСИ

## 1.1 Шляхи використання відновлюваних ресурсів плодових насаджень

Забезпечення продовольчої безпеки неможливо без комплексного розвитку вітчизняного сільського господарства. Садівництво, будучи його невід'ємною частиною, за останні 25 років зазнало істотних змін, що змушує по-новому поглянути на цю галузь економіки. Перехід до вирощування садів інтенсивного та екстенсивних типу дозволило перейти до вирощування сильнорослих підщеп і швидкозростаючих дерев. Це обумовлює подальше зростання і врожайність насаджень, а також економічну ефективність обробітку плодових культур.

Навесні, внаслідок обрізки дерев, в міжряддях садів збирається велика кількість зрізаних гілок – хмизу, яку спеціальними пристроями – волокушами (рис.1.1), виштовхують із саду, та збирають у великі бурти (рис. 1.2).



Рисунок 1.1 – Виштовхування зрізаних гілок із міжрядь саду.



Рисунок 1.2 – Збирання зрізаних гілок у бурти.

На сьогоднішній день величезна маса неперероблених деревних відходів зберігається під відкритим небом, а це створює загрозу для навколишнього середовища.

Утилізацію ЗГ здійснюють переважно спалюванням на відкритому повітрі (рис. 1.3). Це призводить до переобтяження довкілля – виснаження природних ресурсів, порушує норми екологічної безпеки, а також відбувається втрата цінної рослинної сировини.



Рисунок 1.3 – Утилізація зрізаних гілок спалюванням.

Ще одним способом утилізації ЗГ є безпосереднє подрібнення його в міжряддях саду з одночасним прикопуванням тріски у ґрунт (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Утилізація ЗГ подрібненням та прикопуванням у ґрунт.

Для фермерів обрізка дерева – це побічний продукт, а не бізнес, так як від продажу цієї біомаси можна отримати досить малий дохід.

Згідно з [1] зрізані гілки можна віднести до відновлюваного ресурсу (ВР), який може бути перетворений в енергопродукт. Практичне використання даного енергетичного потенціалу стримується із-за недостатньої наукового обґрунтування щодо розроблення ефективних технологій вироблення енергопродукту зі ЗГП.

Так як сільгоспвиробники сьогодні починають орієнтуватися на зовнішній ринок збуту своєї продукції, то вона повинна бути сертифікована відповідно до вимог стандарту GLOBALG.A.P [2]. Цим стандартом передбачено сертифікацію усіх процесів виробництва сільськогосподарської продукції – від садіння рослини у ґрунт до необробленого продукту. Базовим модулем даного стандарту, а саме АГ6 передбачено ліквідацію відходів і контроль забруднення навколишнього середовища, переробка і повторне використання відходів. Такі



вимоги забезпечують виявлення факторів потенційної шкоди або збитків та встановлення ризиків і оцінка їх масштабу [3].

Невід’ємною частиною отримання високих врожаїв плодових дерев є підтримка ґрунту в родючому стані. А одним із шляхів стабілізації гумусного стану ґрунту в умовах утримання багаторічних насаджень в стані чорного пару та використання зрошення, є постійне поповнення ґрунту органічними речовинами. Сьогодні у все більших масштабах за органічне добриво стали використовувати компости (рис. 1.5). Їх виготовляють з різних органічних речовин, відходів сільськогосподарського виробництва та ін. Отримані таким чином компости є цінним органічним добривом, яке поліпшує структуру ґрунту та являється відмінним мульчіруючим матеріалом [4,5].



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд маси, що підлягає компостуванню.

Для забезпечення заданих вимог має бути впроваджена технологія їх перероблення на тріску, компостування в буртах і використання отриманого компосту (добрива) для поліпшення ґрунту в садах. Процедура управління відходами і контроль забруднення навколишнього середовища повинні бути документованими.

## 1.2 Аналіз способів отримання органічних добрив.

Обрізка плодкових дерев проводиться регулярно і є суттєвою передумовою підвищення врожайності та якості плодів. У той же час відходи біомаси при обрізанні плодкових дерев, в залежності від віку і біологічних особливостей сорту, можуть становити від 3 до 20 і більше тонн на гектар. Наприклад, середнє значення біомаси зрізаних гілок плодкових дерев з одного гектара плодового саду інтенсивного типу дорівнює близько 8 тон з гектара. А загальна біомаса зрізаних гілок плодкових дерев в Україні складає близько 784 тис. т/рік.

Процес сертифікації плодової продукції у відповідності до міжнародних стандартів вимагає забезпечити збирання, переробку і повторне використання побічної продукції садівництва. Тобто дотримуватись норм і положень, які регламентуються стандартом GLOBALG.A.P [2]. Зрізні гілки плодкових дерев відносяться до відновлюваного ресурсу, який може бути перероблений в певний вид енергопродукту. Тоді екологічна та економічна ефективність діяльності таких виробництв буде значно більшою.

Найбільш прийнятним, простим, ефективним і перспективним може бути використання зрізаних гілок плодкових дерев у вигляді органічних добрив – «биодобрива». Це сприяє накопиченню і збереженню вологи в ґрунті, збагачення її органічною речовиною, елементами мінерального живлення, поліпшення агрофізичних властивостей і в кінцевому підсумку залучення побічної продукції садівництва в круговорот речовин без шкоди для екології.

Як спосіб отримання органічних добрив в садах є компости. Але багаторічні дослідження дозволили встановити, що значні витрати на виготовлення та низька якість у порівнянні з перегноєм є перешкодою для їх широкого використання (рис. 1.6).

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 компостів [6,7].



Рисунок 1.6 – Компостування органічних відходів у буртах.

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.

У Західній Європі метод компостування широко застосовується при підготовці гною для внесення в ґрунт. У вітчизняній практиці гній без додавання інших органічних залишків компостується рідко, але широко використовується в якості одного з основних компонентів компостів. Однією з умов оптимального режиму компостування відходів різного походження є правильне поєднання речовин, які важко і легко розкладаються та їх рівномірне перемішування [8].

З метою отримання високопоживних сумішей в компости часто додають мінеральні або органічні добрива для створення оптимального співвідношення

елементів мінерального живлення рослин і врівноваження надлишку азоту. Ще одним із способів поліпшення якості органічного добрива є використання додаткової переробки за рахунок використання вермикультивування (дощових черв'яків та інших безхребетних) та природніх алюмосилікатів [9,10,11].

Внесення вермикультиваторів і алюмосилікатів призводить до збільшення пористості і вологоємності компосту, що прискорює процес біорозкладення тирси або тріски. Застосування алюмосилікатів, завдяки їх специфічній будові і сорбційної активності, надає компосту ефект пролонгованої дії [11]. Включення до складу суміші для компостування добавок гідрофільних полімерів і їх з'єднань з металами сприяє поліпшенню водного балансу і аерації компосту в процесі його біоконверсії. За рахунок таких добавок одержуваний компост характеризується високою вологоємністю і хорошою водоутримуючою здатністю.

Розглянуті методи буртового компостування, включають в себе забезпечення достатньої аерації і підтримання оптимальної вологості.

Достатня аерація компостних буртів, крім дотримання певних розмірів при їх закладці, досягається періодичним перелопачування, або ворущіння компостної маси, яке проводять 2-4 рази протягом дозрівання компосту в залежності від якості вихідного матеріалу і методики компостування. У цих же цілях застосовується система повітряного дренажу або, в деяких випадках, штучне нагнітання в компости стисненого повітря. Періодичне ворущіння, або перелопачування, компостних буртів знижує вологість компосту, якщо вона перевищує оптимальну. У разі недостатньої зволоженості компостів рекомендується періодично поливати їх водою або рідким гноєм. Зазначені заходи спрямовані на створення повітряного і водного режиму в компостних буртах, які є оптимальними для інтенсивної діяльності мікроорганізмів.

Однак компостування відносно не високу популярність із-за таких недоліків як тривалий виробничий цикл, а іноді отримання продукту

нестабільної якості. Тому сьогодні використовують багато заходів для прискорення процесу компостування [12,13].

Інтенсифікації мікробіологічних процесів служить інокуляція компостів корисною мікрофлорою, для чого за кордоном застосовують спеціальні препарати типу біотерона, а у вітчизняній практиці - бактеріальні препарати.

Процес компостування в буртах знайшов висвітлення у дослідженнях, присвячених розробці технологічної схеми [14], параметрів компостування [15], режимів компостування [16,17,18] та термодинамічних процесів при компостуванні [19]. Запропоновано також використання рослинної сировини для виробництва біогазу з розрахунком технологічних та конструктивних характеристик біогазгенератора [20]. Теплотехнічні розрахунки та процеси теплопередачі у загальному вигляді висвітлено досить повно [21], але спеціальні роботи, присвячені тепловим процесам при компостуванні тріски зрізаних гілок плодових дерев відсутні.

### **1.3 Визначення технічної проблеми компостування і постановка задач досліджень**

Одним з напрямків економічного розвитку суспільства є постачання плодової продукції підприємствами на зовнішні ринки. Гарантувати це може відповідність показників якості продукції сертифікату, що відповідає стандарту GlobalG.A.P [2]. Даним стандартом визначено, що відходи компостують і застосовують для поліпшення ґрунту в садах, а методи компостування мають гарантувати відсутність ризиків для навколишнього середовища. Дослідження цього питання стає актуальним для виробників плодової продукції.

Тому, на сьогоднішній день проблема перероблення зрізаних гілок плодових дерев в якісне і безпечне органічне добриво є актуальною і потребує проведенню цілої низки наукових досліджень.

Проведений аналіз досліджень по розробці технології приготування компостів з відходів садівництва дозволив встановити наступне:

- недостатньо вивчені питання компостування відходів садівництва;
- використання деревних відходів садівництва (тирси, тріски) стримується відмінністю технологічних властивостей їх компонентів;
- відсутня термодинамічна модель отримання добрив з тріски зрізаних гілок плодкових дерев.

**Мета дослідження.** Забезпечити процедуру сертифікації плодової продукції за стандартом GlobalG.A.P. по контрольній точці з вимогами щодо переробки і компостування органічних відходів шляхом визначення оптимальних параметрів буртового способу компостування тріски із зрізаних гілок плодкових дерев.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання:**

- розглянути термодинамічні процеси перетворення відходів у добрива;
- визначити коефіцієнт ефективності компостування;
- визначити оптимальні параметри буртового способу компостування.
- розробити комплекс заходів з охорони праці під час обрізування, подрібнення та компостування тріски.
- надати техніко-економічне обґрунтування процесу компостування зрізаних гілок.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ

Найбільш гострою проблемою сучасного садівництва стає деградація ґрунтового покриву. В ґрунтах відбувається різке порушення органічного і мінерального живлення, виснажуються запаси гумуса та біофільних елементів, падає загальна біологічна активність і родючість ґрунтів, знижується їх стійкість до бактеріального і хімічного зараження.

Згідно з інтегрованою системою управління сільськогосподарським виробництвом Global G.A.P. [2] розсадник для підтвердження своїх технічних можливостей повинен мати документально оформлений порядок поводження з відходами виробництва.

За класифікацією, яка наведена в [22], зрізані гілки плодкових дерев (ЗГП), які утворюються в результаті технологічної операції обрізування дерев, є побічною продукцією садівництва, а в сучасному виробництві плодової продукції України є викидом. За нашими даними площа під зернятковими і кісточковими культурами в промисловому садівництві України складає понад 303,8 тис. га сільськогосподарських угідь, з яких об'єм біомаси зрізаних гілок з одного гектара становить близько 8 т.

Одним із енергозберігаючих способів утилізації зрізаних гілок плодкових дерев є вироблення «біодобрива». Пропонується проводити компостування тріски буртовим способом. Для цього необхідно обґрунтувати параметри процесу перетворення біомаси тріски у буртах.

Гілки фруктових дерев, що зрізують під час догляду за маточино-сортовими (живцевими) насадженнями є невід'ємною ланкою в біологічному ланцюгу агроєкосистеми плодового саду: ґрунт – дерево – ґрунт і повинні бути використанні в цьому ланцюгу з найбільшим ефектом. Сугубо економічний аспект утилізації полягає в ефективному використанні природних ресурсів суб'єктами господарської діяльності, що підвищує їх виробничу стійкість.

## 2.1 Технологія переробки і компостування зрізаних гілок плодових дерев

Основна кількість багаторічних насаджень в Україні утримує ґрунт у стані чорного пару [23-25]. В умовах зрошення перевага в утриманні ґрунту належить дерново-перегнійній системі, яка потребує високого фону мінерального живлення.

Переробка ЗГП з використанням різних біологічних методів дозволяє перетворювати енергію їх вегетаційної маси в енергію добрив (компост, вермідобриво), що надає йому особливе значення в умовах інтенсифікації садівництва. Реалізувати спосіб можливо за рахунок подрібненням гілок (мульчування) у міжряддях саду з одночасним загортуванням у ґрунт; компостування в буртах з використанням мінеральних або органічних добрив у якості каталізаторів.

Подрібнення гілок з одночасним загортуванням у ґрунт має ряд недоліків:

- 1) невідповідність у часі процесів надходження вегетаційної маси та її гуміфікації, що обумовлює їх накопичення у ґрунті міжрядь саду і ускладнює їх переробку;
- 2) мобільний процес подрібнення обумовлює використання енергоємних тракторів, яке обмежене конструктивними особливостями плодових насаджень і наявністю постійної колії;
- 3) оскільки безпосереднє внесення сирого матеріалу (деревини) у ґрунт негативно впливає на рослини, ймовірність наявності в гілках збудників хвороб та шкідників дуже велика.

Безпосереднє внесення подрібнених гілок у ґрунт можна віднести до екологічно небезпечних, тому що в плодові насадження бажано вносити готове добриво, а найбільш розповсюдженим методом утилізації деревних відходів (викидів) є компостування в звичайних польових умовах або у спеціальних установках [26-29].



На даний час найбільш розповсюдженим і раціональним способом переробки рослинних відходів залишається приготування добрив в природних польових умовах (буртовий спосіб компостування). Удосконалення даного способу пов'язано з розробкою термодинамічної моделі, що дозволяє оптимізувати процеси трансформації рослинної речовини.

Організація процесу компостування передбачає такі етапи:

1. Подрібнення деревних залишків, зрізаних гілок плодкових дерев.
2. Вибір місця для компостної купи.
3. Формування компостної суміші: внесення гною або пташиного посліду, активного мулу та інших органічних речовин, збагачених комплексом непатогенних мікроорганізмів (мікробіологічні закваски).
4. Внесення мінеральних добавок.
5. Компостування протягом 3-6 місяців та догляд за компостною купою з періодичним перемішуванням.
6. Збирання готового компосту.

Для отримання високоякісного компосту, збалансованого за елементами живлення, а також для інтенсифікації мікробіологічних процесів, вводяться різні фосфати. Введення фосфатів сприяє зв'язуванню аміачних форм в компості, крім того, добавки фосфатів знижують втрати органічної речовини.

Початок термофільної стадії можна прискорити поверненням деякої кількості готового компосту в систему (10-20% до обсягу вихідного матеріалу), в якому знаходиться асоціація мікроорганізмів, які брали участь в ферментації органічних залишків і створенні гумусових з'єднань з продуктів розкладання.

Швидкість ферментації матеріалу, що компостується можна значно збільшити шляхом внесення компостної закваски, що складається з різних груп і видів мікроорганізмів з високою ферментативною активністю. Так, при виготовленні компостів з деревних залишків рекомендують вносити активні культури мікроорганізмів, що буде сприяти так само деградації шкідливих для рослин фенольних з'єднань.

Необхідно враховувати те, що характер процесу перетворення деревини в ґрунті або в буртах відбувається на границі розділу фаз: гілки (тріска), частки ґрунту, волога, повітря, а реакція відноситься до каталітичних, де в якості каталізатора використовують азотні добрива, які дозволяють прискорювати процес гуміфікації. З цього виходить, що першочерговою задачею є визначення впливу площі поверхні стикання фаз на динаміку процесу компостування.

## **2.2. Вплив фізико-хімічних характеристик на процес компостування**

Основними чинниками, що впливають на процес компостування є вологість, температура і аерація суміші.

Під час компостування мікроорганізми в процесі своєї життєдіяльності переробляють відходи на біологічно активні речовини і гумус. Мікроорганізмам необхідно забезпечити певні умови, так як вони мають потребу в кисні, який отримують з повітря, а також у воді, щоб жити і розмножуватися. В процесі життєдіяльності мікроорганізми виділяють вуглекислий газ і тепло, в результаті чого температура компостної купи піднімається до 66 °С. Якщо компостною купою активно управляти, регулярно перевертаючи і поливаючи, процес розкладання до готового компосту відбувається скоріше.

Температура – один із найважливіших параметрів, що забезпечують ефективність компостування. Вона суттєво змінюється за рахунок теплового ефекту, який з'являється у суміші, що розкладається. Зазвичай в процесі компостування можна виділити основні чотири стадії: мезофільну, термофільну, стадію охолодження і кінцевого дозрівання компосту.

Встановлено, що мікроорганізми термофільної стадії відіграють головну роль у розкладанні органічних речовин. Вони розкладають 2/3 лігніну під час компостування. У мезофільній стадії мікроорганізми переробляють в основному речовини, що легко розкладаються. При цьому у стадії

охолодження і кінцевого дозрівання компосту розкладаються гумінові речовини, що залишилися. На підставі наведеного, можна зробити висновки про те, що термофільні мікроорганізми можуть переробляти більшу кількість органічних речовин, які розкладаються мезофільними бактеріями на інших стадіях. Інакше кажучи, мезофільна стадія, як і стадії охолодження і дозрівання не є необхідними частинами процесу компостування. Тому період компостування може бути скороченим, як що суміш штучно нагрівати з метою підтримання відповідних умов для росту термофілов [12].

Наступним важливим параметром компостування є аерація – насичення компосту киснем. Існують три види аерації: примусова, яка відбувається за рахунок нагнітання повітря в бурти; пасивна аерація – за рахунок спеціального розташування горизонтальних буртів або встановленням труб з перфорацією в середині суміші, що компостується; природна аерація – без використання якого-небудь приладдя, але з урахуванням рози вітрів.

Дослідження показують [13,30], що найбільш ефективним способом є примусова аерація зі швидкістю надходження повітря 0,41л/мин на 1 кг сухого матеріалу, що компостується.

Вміст вологи в компостуючій суміші має суттєвий вплив на якісні показники компосту. Швидкість досягнення термофільної стадії під час приготування компосту в значній мірі залежить від початкової вологості органічних речовин, оскільки вода необхідна для транспорту мікробних клітин, визначаючи їх здатність утворювати колонії [31].

Пік активності аеробних мікроорганізмів досягається при такій максимальній вологості органічної суміші, яка не перешкоджає дифузії кисню через водний шар до частинок субстрату. Таким чином, величина оптимальної вологості залежить від типу субстрату, що переробляється а саме його біохімічних і фізико-хімічних властивостей.

Дані літературних джерел вказують на те, що величина початкової вологості суміші для успішного здійснення процесу ферментації, повинна знаходитися у межах 40-75% [32]. У тих випадках, коли вологість субстрату

перевищує 75%, відбувається вилугування поживних речовин, об'ємна частка кисню падає, і починаються анаеробні процеси. Якщо ж вологість суміші нижче 40%, то активність мікрофлори помітно знижується, зовсім припиняючись при вологості менше 15% [33,34]. Все це говорить про те, що концентрація води в суміші стає одним з визначальних чинників біоферментації.

Найчастіше субстрати однієї і тієї ж природи відрізняються вмістом води, причому субстрати з великим вмістом азоту характеризуються підвищеною вологістю, в той час як субстрати з великим вмістом вуглецю - зниженою. Необхідний рівень вологості органічної суміші в реальних умовах досягається шляхом комбінування різних типів субстратів і їх кількості.

Для розрахунку вологості суміші використовується рівняння середньозваженої вологості складових компонентів [32]:

$$W_c = \frac{\sum(W_n \cdot m_n)}{\sum m_n}, \quad (2.1)$$

де  $W_c$  – підсумкова вологість суміші, %.

$W_n$  – вологість n-го компонента суміші, %

$m_n$  – маса n-го компонента суміші, кг.

Одним з найбільш важливих показників, що впливають на інтенсивність процесу приготування компосту, є співвідношення вуглецю ( $C$ ) та азоту ( $N$ ) в суміші, що переробляється. Вуглець, будучи основним джерелом енергії для мікроорганізмів, становить понад 50% всієї маси мікробних клітин. У той же час азот є найважливішою складовою в ланцюгах синтезу протеїнів, нуклеотидів, амінокислот, ферментів і коферментів, необхідних для росту і метаболізму клітин.

Для успішного перебігу процесу анаеробної ферментації співвідношення  $C/N$  в суміші має становити  $(20 \dots 30) / 1$ . При використанні

Витрати праці на переробку всього об'єму сировини, люд.год	940	560
--	-----	-----

Для визначення вартісних показників ефективності проекту приймаємо вартість 1 кВт на момент розрахунку на рівні 3 грн/кВт, а вартість 1 люд./год. – 32 грн.

Розрахунок загальної суми витрат на виробництво брикетів наведемо в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

Розрахунок витрат на виробництво брикетів з тріски плодкових  
дерев, тис. грн.

Статі витрат	Подрібнення	Пресування в брикети	Всього витрат
Витрати на електроенергію	30510,0	25200,0	55710,0
Витрати на оплату праці	30080,0	17920,0	48000,0
Нарахування на оплату праці (22%)	6617,6	3942,4	10560,0
Амортизаційні відрахування	5100,0	5700,0	10800,0
Інші загальновиробничі витрати	14461,5	10552,5	25014,0
Всього витрат на виробництво	86769,1	63314,9	150084,0

Відповідно до проведених розрахунків, загальна сума витрат на виробництво брикетів становить майже 150,1 тис. грн. Зокрема витрати на подрібнення плодкових гілок в тріску становлять 86,8 тис. грн., а втрати на виробництво самих брикетів з висушеної сировини тріски вологістю 8% становлять 63,3 тис. грн.

Розрахунок економічних показників ефективності виробництва брикетів з плодкових гілок у розрахунку на площу саду 100га, наведено в таблиці 5.3.

Отже, проведені розрахунки показників економічного обґрунтування переробки плодкових гілок в брикети свідчать, що запропонований спосіб переробки є економічно доцільним.

Таблиця 5.3.

Економічні показники ефективності виробництва брикетів з плодкових гілок.

<b>Показники</b>	<b>Значення</b>
Обсяг капітальних вкладень, тис. грн.	137,0
Обсяг готової продукції – брикетів, тон	112,0
Витрати на виробництво готової продукції, тис грн.	150,1
Собівартість 1 тони брикетів, грн./тону	1340,0
Ціна реалізації 1 тони брикетів, грн.	3100,0
Виручка від реалізації продукції, тис. грн.	347,2
Прибуток від реалізації продукції, тис. грн.	197,1
Рентабельність виробництва продукції, %	131,3
Строк окупності капітальних вкладень, років	0,7

При переробці 790 тон гілок з площі 100 га саду обсяг виходу деревної тирси становить 320 тон. Враховуючи коефіцієнт виходу сировини (0,35) для пресування брикетів обсяг готової продукції становить 112 тон при вологості 8%. Розрахунки свідчать, що загальна сума витрат на виробництво цього обсягу продукції дорівнюватиме 150,1 тис. грн., яка включає витрати на

процес подрібнення та пресування. Даний спосіб дозволяє уникнути додаткових витрат на сушіння подрібненої тріски, яке буде здійснюватися в приміщеннях відкритого типу звичайним способом. Враховуючи існуючий рівень ціни реалізації 1 тони брикетів (3100 грн.) та собівартість 1 тони виробництва (1340 грн.), підприємство має можливість додатково отримати прибутку у розмірі 197,1 тис. грн. з переробки гілок у брикети зі 100 га саду. Відповідно, в тих господарствах, які мають більшу площу садів, розмір прибутку може досягати значних рівнів. Розмір капітальних вкладень на придбання обладнання для виробництва брикетів окупиться майже за 8,4 місяців. Крім того, слід зауважити, що даний спосіб переробки гілок на брикети є екологічно безпечним для навколишнього середовища порівняно з утилізацією через спалювання.

## ВИСНОВКИ

Проведені дослідження щодо визначення показників отримання твердого палива із зрізаних гілок плодових дерев дозволи сформулювати наступні висновки:

1. Проведений аналіз літературних джерел дозволив встановити, що обсяг втрат із за невикористання енергії відновлюваних ресурсів у розрахунку на 1 га є екологічно обмеженим, а його граничний розмір становить 40 млн. ккал. За цим бар'єром починається реальне забруднення навколишнього середовища.

2. Встановлено, що, з метою раціонального використання побічної продукції плодового саду, одним із енергозберігаючих способів утилізації зрізаних гілок є виробництво паливних брикетів. Під час згоряння брикета вміст сірки складає 0,1-0,2% порівняно з вугіллям (1-4%), що важливо з точки зору охорони навколишнього середовища, а залишки (зольність) під час спалювання паливних брикетів та викиди в атмосферу шкідливих речовин в десятки разів менші, ніж у разі спалювання вугілля.

3. Визначено, що на теплотворні властивості брикетів впливає їх щільність і вологість: чим більша щільність і менша вологість, тим більше тепла виробляють брикети.

4. Середнє значення коефіцієнту об'ємного зменшення вороху зрізаних гілок після подрібнення становить близько 10, що полегшує транспортування отриманої тріски.

5. Вивчення розмірно-масових параметрів тріски зрізаних гілок плодових дерев дозволили встановити, що пресуванню підлягають елементи розміри яких становлять від 10-20 мм. Доведено, що найбільш вдало пресується дрібні фракції подрібнених гілок, тобто тирса. До крупних фракцій, тріски, необхідно додавати зв'язуючі речовини, такі як продукти переробки помідорів або винограду.



6. Визначено, що процес брикетування тріски зрізаних гілок плодкових дерев відбувається при температурі  $80^{\circ}\text{C}$ , під стискаючим тиском 12 МПа, при цьому отримуємо брикети об'ємом  $0,32\text{дм}^3$  з щільністю  $0,85\text{г/см}^3$ . Потужність преса становить 320кВт.

7. Проведені дослідження з вивчення теплотворних властивостей брикетів дозволили встановити, що теплота згорання брикетів складає  $10,2\text{ МДж/кг}$ , а швидкість їх горіння становить  $\tau_{\text{ср}} = 0,368 \cdot 10^{-3}\text{дм}^3/\text{с}$ . Це означає, що за 1 годину можна спалити  $1,3\text{ дм}^3$  брикетів.

8. Враховуючи, що переробка гілок на брикети потребує витрат енергії до  $2,41\text{ МДж/кг}$ , то впровадження такої технології утилізації побічної продукції садівництва є енергетично, економічно та екологічно вигідним.

9. Подальші дослідження повинні бути направлені на дослідження процесу подрібнення, та удосконалення технології виробництва твердого палива у садівничих та розсадницьких господарствах.

10. Економічна ефективність впровадження технології переробки зрізаних гілок плодкових дерев у тріску з подальшим виробництвом брикетів дозволить додатково отримати прибуток у розмірі 211,2 тис. грн. зі 100 га саду з урахуванням того, що собівартість виробництва 1 тони брикетів становить 1340 грн. Строк окупності придбання обладнання для переробки і виробництва брикетів 8,4 місяців.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Желєзна Т. А., Баштовий А.И., Гелетуа Г.Г. Аналіз можливості отримання деревного палива з додаткових джерел в Україні. Промислова теплотехніка. 2016. Т.38, № 4. С. 71-77.
2. Гелетуа Г.Г., Желєзна Т. А., Драгнєв С. В., Баштовий А.И., Перспективи використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень для виробництва енергії в Україні Промислова теплотехніка. 2018. Т.40, № 6. С. 68-74.
3. Лурий В.Г. RU2181752. Топливный брикет и способы получения брикетов. Дата начала действия патента: 2000.12.09 URL: [http://www.ntpo.com/patents\\_fuel/fuel\\_4/fuel\\_24.shtml](http://www.ntpo.com/patents_fuel/fuel_4/fuel_24.shtml)
4. Топливный брикет. RU2205204. Буравчук Н.И., Гурьянова О.Г., Огороков Е.П., Павлова Л.Н., Буравчук В.Л. Ростовский государственный университет. Дата начала действия патента: 2001.11.20 URL: [http://www.ntpo.com/patents\\_fuel/fuel\\_4/fuel\\_17.shtml](http://www.ntpo.com/patents_fuel/fuel_4/fuel_17.shtml)
5. Способ получения брикетов. Малышев Е.Н., Беленький В.В., Рябко А.И., Манянин Г.Н., Пилипенко-Шеховцова Н.П., Лебан С.С., Ткачев Г.И., АЛЬБЕРТИН Андреас Опубликовано: 10.10.2009 Бюл. № 28. RU (11) 2 369 633(13) С2. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2369633C2/ru>
6. Черевко Г. П. Вдосконалення енергетичної бази сільського господарства України. / Г. П. 6. Черевко., 1993. – 62 с. – (Економіка України).
7. Системи енергетичні технічні: ДСТУ ISO 13600-2001. – [Чинний від 2002-05-01]. - К.: Держстандарт України, 2001.–9с.
8. Караєв О.Г. Наукові основи створення механізованих технологічних комплексів для виробничих систем розсадництва плодкових культур: автореф. дис. д-р. техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2017. 41 с.
9. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу: ДСТУ ISO 13601-2001. – [Чинний від 2002-05-01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 31с.

10. В Украине создали стратегию развития биоэнергетики из отходов садоводства URL: <http://agroportal.ua/news/ukraina/v-ukraine-sozdali-strategiyu-razvitiya-bioenergetiki-iz-otkhodov-sadovodstva/?spush=ZXJlbXVydXN1YUB1a3lubmV0>

11. Global G.A.P. Интегрированная система управления сельскохозяйственным 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. URL: [https://www.globalgap.org/uk\\_en/](https://www.globalgap.org/uk_en/) (дата звернения: 10.10.2020)

12. Ангилеева О.Г. Комплексная утилизация побочной продукции растениеводства. М.: Росагропромиздат, 1990. 160 с.

13. Босак В.Н., Марцуль О.Н., Серая Т.Н. Богатырева Е.Н. Применение древесной золы в питании растений. ISSN 1683-0377. Труды БГТУ. №1. Лесное хозяйство. 2012. 2012. С.158-160. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/143996695.pdf>

14. Vasiliev A.S., Shegelman I.R., Shchukin P.O. Special aspects of patent search for innovations in the field of rock disintegration equipment // Innovation in industry and social sphere: the proceedings of the national SIK. Petrozavodsk state University. Petrozavodsk, 2015. P. 17-18.

15. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Recycling of lowcommodity wood: problems and prospects // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2015. № 9. P. 70-75.

16. Kunitskaya O.A. Resources of low-commodity wood in subjects of the Russian Federation // Nauka, obrazovanie, innovatsii v prigranichnom regione: materialy respubl. nauch.- prakticheskoi konf. Petrozavodsk, 2015. P. 15-17.

17. Simonenko M.V., Pashkov A.V., Lokshtanov B.M., Bacherikov I.V. Future Applications of Burning Wood Wastes in the Example of Moscow Region // Wood, Design & Technology. 2014. Vol. 3, № 1. P. 106-110.

18. Выбор топливных брикетов. URL: <https://gostehstroy.ru/oborudovanie/vybor-toplivnyh-briketov-referat-toplivnye-brikety-otlichiya-po/>
19. А.Р. Бирман, Н.А. Белоногова, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова, Нгуен Ван Тоан Топливные брикеты новой конфигурации. Системы. Методы. Технологии. 2017 № 1 (33). с. 97-101.
20. Брикетирование древесных отходов. URL: <https://pelleta.com.ua/briketirovanie-drevesnyx-otxodov-o569.html>
21. Технология производства разных видов биотоплива. URL: <https://bio.ukr.bio/ru/articles/2346/>
22. Демонстраційний проект із енергетичного використання деревини від обрізки садів у Київській області. URL: <http://uabio.org/uabio-news/3547-demo-project-bioenergy-kyiv-region>
23. Демонстраційний проект із енергетичного використання деревини від обрізки садів у Запорізькій області. URL: <http://uabio.org/uabio-news/3537->

demo-project-bioenergy-zaporizhia

24. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 68 с.

25. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотнённой древесины // Научное обозрение. 2015 № 7. С. 244-250

26. Ugolev B.N. Wood as a natural smart material // Wood Science and Technology. 2014. Т. 48, № 3. Р. 553-568

27. Пекарец А. А. Технология древесных и древесно-угольных брикетов из опилок древесины лиственницы. автореф. дис. канд. техн. наук: 05.21.03. Санкт-Петербург, 2020. 141с.

28. Коршак А. В. Обоснование технологии производства древесных брикетов на прессовом оборудовании ударного типа. автореф. дис. канд. техн. наук: 05.21.01. Санкт-Петербург, 2011. 20с.

29. Бастриков Д.В., Чибирев О.В., Кацадзе В.А., Локштанов Б.М., Ползиков А.Н. Брикетирование древесных отходов. Актуальные проблемы развития лесного комплекса материалы Международной научно-технической конференции. Министерство образования и науки РФ. Правительство Вологодской области. Департамент лесного комплекса Вологодской области. Вологодский государственный университет, 2016. С. 102-105.

30. Мюллер О. Д. Совершенствование технологии производства древесных гранул: автореф. дис. ... д.-р. техн. наук: 05.21.05. Архангельск, 2015. 31 с.

31. Lattimore, B., Smith, C. T., Titus, B. D., Stupak, I. and Egnell, G. 2009. Environmental factors in woodfuel production: Opportunities, risks, and criteria and indicators for sustainable practices. Biomass and Bioenergy. 33(10):1321-1342.

32. Perlack, R., Wright, L. L., Turhollow, A. F., Graham, R. L., Stokes, B.C. and D. Erbach. 2005. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billionton annual supply. Oak Ridge National Laboratory. Имеется по адресу [http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/final\\_](http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/final_)

billionton\_vision\_report2.pdf, accessed Sept 10, 2010.

33. Технологія виробництва різних видів біопалива. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/2344/>

34. Чучуй В.П., Уминський С.М., Інютін С.В. Альтернативні джерела енергії. Одеський державний аграрний університет, Одеса, 2015. URL: <https://textbook.com.ua/ekologiya/1473446044>

35. Сравнительная таблица теплотворности некоторых видов топлива URL: <https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitza-teplotvornosti>

36. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-изд. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

37. Пурдик В. П., Возній Н. А. Експериментальні дослідження процесу пресування паливних брикетів з деревинної сировини. ISSN 1997-9266. Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2018. № 5. С.92-97.

38. Смородин С. Н. Смирнова О. С., Пекарец А. А., Уварова Д. Ю., Мандре Ю. Г., Рассказова Н. Я., Аким Э. Л. Теплотехнический анализ биотоплива как основа разработки технологических рекомендаций. ISBN 978-5-9239-1037-7. Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы конференции ГЛТУ им. С.М. Кирова. Санкт-Петербург, 2019. Т. 2. С. 132– 133.

39. Колташов С.В. Гидравлический пресс-автомат. RU2452626 C2  
Опубликовано: 10.06.2012 Бюл. № 16. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2452626C2/ru>

40. Пицур А.М., Шкиря Т.М. Устройство для брикетирования опилок. А. С. 1706870 МКИ 4 5 В 27 № 3/20. Львовский лесотехнический институт.

41. Сулимов В.И., Гороховский В.К., Повод Г.А. Устройство для брикетирования древесных частиц. А. С. 1749034 МКИ 4 5 В27 №3/28.1992

42. Рищин П.И., Князев В.В., Яговкин П.В. Брикетный пресс. А.С. 1373356, МКИ А 01 Г 15/00. Кировский сельскохозяйственный институт.

43. Ильюшенко Д.А. Разработка технологии производства брикетов из отходов окорки: автореф. дис. ... д.-р. техн. наук: 05.21.01. Санкт-Петербург, 2012. 20 с.

44. Чибирев О.В., Куницкая О. А., Давтян А. Б. Анализ исследований процесса брикетирования отходов лесопереработки на гидравлическом прессовом оборудовании. Resources and Technology 16 (2): 97-118, 2019. ISSN 2307-0048. С.97-118

45. Determination of optimal parameters of the process of pressing and dehydration of impregnated wood materials / O. A. Kunitskaya, V. Ya. Shapiro, S. S. Burmistrova, I. V. Grigorev // Bulletin of the Moscow state forest University — Forest Bulletin. 2012. No 4. P. 110—115.

46. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М.Сакун, В.Ф. Нагорнюк; Одеський державний аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності. — Одеса «Видавництво», 2009. - 184 с.

47. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. — К.: «Основа». 2011. - 551 с.

48. Критерії оцінки виробничих небезпек / В.Л.Лущенко, Д.А.Бутко, М.Т.Воїнов та ін. – Сімферополь: Бізнес-Інформ, 1996. – 224 с.

49. Динамика роста цен на дрова в Украине поквартально, начиная с Q1 2013 года URL: [https://ecob2b.net/ru/analytics/192-Dinamika\\_rosta\\_cen\\_na\\_drova\\_v\\_Ukraine\\_pokvartalno\\_nachinaya\\_s\\_Q1\\_2013\\_goda](https://ecob2b.net/ru/analytics/192-Dinamika_rosta_cen_na_drova_v_Ukraine_pokvartalno_nachinaya_s_Q1_2013_goda)

50. Щепорез МК-120ТР дискового типа. URL: <https://arpal.ua/mk-120tr/p176>

51. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: ВНИИПИ, 1992. – 41 с.