

**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 елементів технології отримання
компактних видів твердого палива з плодової деревини »

32СМД.000.000000ПЗ

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

_____ Анастасія ЮХТЕНКО

Керівник, доц.

Консультант, проф. _____

Консультант, _____

Нормоконтроль, доц.

Рецензент, _____

Мелітополь – 2021 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА	10
1.1 Утилізація відходів садівництва та її місце в енергетичному потенціалі біомаси в Україні.....	10
1.2 Характеристики брикетів у порівняння із традиційними джерелами палива.	15
1.3 Аналіз наукових відомостей по тематиці дослідження та постановка задач досліджень	29
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
2.1 Сучасна технологія виробництва різних видів біопалива	34
2.2 Програма експериментальних досліджень.....	37
2.3 Характеристика об'єкту досліджень та умови проведення дослідів	38
2.4 Методика визначення розмірно-масових показників подрібнених гілок плодових дерев	44
2.5 Вивчення процесу брикетування тріски зрізаних гілок плодових дерев	45
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ БРИКЕТУВАННЯ ЗРІЗАНИХ ГІЛОК ПЛОДОВИХ ДЕРЕВ.....	47
3.1 Вивчення розмірно-масових показників тріски зрізаних гілок плодових дерев	47
3.2 Вивчення енергетичного співвідношення процесу нагріву під час брикетування.	52
3.3. Вивчення теплових властивостей брикетів.	55
3.3.1 Визначення швидкості горіння брикетів	55
3.3.2. Визначення теплоти згорання брикетів	57

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
4.1 Загальний стан охорони довкілля.....	60
4.2. Заходи щодо поліпшення умов праці, підвищення безпеки та поведінки у надзвичайних ситуаціях	62
4.3 Організаційні заходи.....	63
4.4 Техніка безпеки під час обрізування дерев та при переробці зрізаних гілок у тріску.....	63
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ЗРІЗАНИХ ГІЛОК.....	67
5.1 Визначення економічних показників вироблення брикетів	67
5.2 Розрахунки економічної ефективності застосування технології переробки зрізаних гілок плодових дерев у біопаливо	68
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

В умовах дефіциту в Україні традиційних джерел енергії потреби в ній значною мірою можуть бути задоволені за допомогою нетрадиційних носіїв.

Галузевою програмою розвитку садівництва України на період до 2025 року передбачено збільшення площ, зайнятих під садами, на 4,5%. Тобто прогнозоване середнє збільшення площ закладання садів щороку має дорівнювати 5 тис. га. За останніми даними площі, зайняті під садами складають приблизно 99,2 тис. га. Щороку здійснюється обрізання дерев, для покращення плодоношення саду, а зрізані гілки плодкових дерев можуть бути використані в якості енергопродукту, а саме у якості твердого біопалива.

Використання деревних відходів крім економічних завдань порушує ще й глибокі екологічні проблеми – охорону навколишнього середовища.

Проблема екології - одна з найважливіших проблем сучасності. Останнім часом, у зв'язку зі швидкою зміною зовнішнього середовища під впливом діяльності людини, екологія набула величезної популярності і стала об'єктом пильної уваги серед країн світу. Головні складові цієї проблеми – забруднення незамінних природних ресурсів: повітря, води та ґрунту відходами промисловості, транспорту, що призвело до зубожіння рослинного і тваринного світу.

На даний час утилізацію зрізаних гілок, як правило, здійснюють спалюванням на відкритому повітрі. Це призводить до переобтяження довкілля, порушує норми екологічної безпеки, а також відбувається втрата цінної рослинної сировини – деревної біомаси.

Зрізані гілки (ЗГ) дерев плодкових культур є побічною продукцією садівництва, а в сучасному виробництві плодової продукції України є викидом. Середнє значення біомаси ЗГ з одного гектара плодового саду дорівнює 7,9 т, теплота згорання якого складає 10,2 МДж/кг.

Практичне використання даного енергетичного потенціалу стримується із-за недостатньої наукового обґрунтування щодо розроблення ефективних технологій вироблення енергопродукту з ЗГП.

Зрізані гілки можна віднести до відновлюваного ресурсу (ВР), який може бути перетворений в енергопродукт такий як паливні брикети, що можуть бути використані як тверде паливо. Енергетичний потенціал зрізаних гілок плодових насаджень в Україні складає $8 \cdot 10^6$ ГДж, але практичне використання даного енергетичного потенціалу стримується через нестачу наукової інформації щодо розроблення ефективних технологій використання визначеного виду ВР для вироблення певного виду енергопродукту.

Сьогодні брикетуванням займаються більшою частиною на лісо- та деревопереробних підприємствах. В садівництві щорічно проводиться обрізування дерев, після якої в саду залишається багато зрізаних гілок, які є потенційним носієм тепла. Одним із енергозберігаючих способів утилізації даного відновлюваного ресурсу є виробництво брикетів з використанням їх у якості біопалива з поверненням попопу в сади як добрива. Продукти згоряння зрізаних гілок мають малий вміст сірки порівняно із вугіллям, що є важлив з точки зору охорони навколишнього середовища.

Тому розробка технології отримання компактних видів твердого палива – паливних брикетів на підприємствах плодового садівництва та розсадництва є актуальною проблемою і потребує проведення цілої низки наукових досліджень.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

1.1 Утилізація відходів садівництва та її місце в енергетичному потенціалі біомаси в Україні.

Однією з передумов успішного розвитку біоенергетики у будь-якій країні є наявність достатніх ресурсів біомаси. Україна має великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. Її основними складовими є відходи та побічні продукти сільського господарства. Внесок деревної біомаси є відносно невеликим і становить близько 12 % загального енергетичного потенціалу біомаси [1,2].

Використання біомаси, отриманої від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень ОВБСН, для потреб енергетики України є відносно новим напрямком, який наразі активно досліджується і розвивається. Науково-технічним центром «Біомаса» проведено аналіз енергетичного використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень в Україні, включаючи і сектор садівництва та розглянуто напрямки утилізації біомаси від обрізки багаторічних сільськогосподарських насаджень в деяких країнах ЄС [1,2]. Встановлено, що Україна має потенціал деревної біомаси (із традиційних джерел-дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки і нетрадиційних джерел-сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи ОВБСН), доступної для виробництва енергії 2,6 млн. т нафтового еквіваленту/рік [1]. Оцінка потенціалу деревної біомаси, що може бути отримана із додаткових джерел, почала виконуватися порівняно недавно і потребує подальшого уточнення [2].

Всі відходи сільськогосподарського виробництва можуть бути використані як джерела тепла. В залежності від видів викидів (відходів) використовують різні технології та різні комплекси машин [3-5]. Є багато розробок для спалювання некондиційних відходів деревини з природним газом та мазутом.

Сьогодні існують наступні методи використання побічної продукції садівництва: виштовхування зрізаних гілок у лісосмуги; спалювання на відкритому повітрі; подрібнення та заорювання у ґрунт.

Найпоширеним є спосіб, коли зрізані гілки збирають у міжряддях та виштовхують у лісосмуги. В такому випадку крім спалювання, більш немає ефективного способу їх утилізації, так як отримана маса армується.

До недавнього часу загальнопоширеною практикою утилізації зрізаних гілок було спалювання на місці їх утворення або подрібнення та прикопування у ґрунт. Але протягом кількох останніх років спостерігається стійка тенденція добровільної чи законодавчо закріпленої відмови від спалювання цієї біомаси, як засобу утилізації.

Новим напрямком використання деревної біомаси є забезпечення енергетичних потреб країни, за рахунок перетворення зрізаних гілок в енергопродукт, а саме тверде паливо для нагрівання – паливні брикети. Це – повністю екологічний вид біопалива, що може використовуватись як у промислових, так і в побутових цілях.

Використання нетрадиційних джерел енергії вирішує низку як економічних задач, так і екологічних, оскільки спалювання зрізаних гілок плодкових дерев призводить до переобтяження навколишнього довкілля та погіршує екологічне середовище.

У садівництві деревна біомаса може бути отримана від обрізки гілок плодкових садів. Оцінка потенціалу такої деревної біомаси почала виконуватись порівняно недавно і потребує подальшого уточнення.

Проведені дослідження дозволили 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 [6].

За класифікацією, яка наведена в [7], зрізані гілки плодкових дерев є побічною продукцією садівництва, а в сучасному виробництві плодової продукції України є викидом. За нашими даними середнє значення біомаси ЗГП з одного гектара плодового саду інтенсивного типу дорівнює близько 8 т, теплота згорання якої складає 10,2 МДж/кг. Згідно попередньої оцінки, яку наведено в [8], біомаса ЗГП в Україні станом на 2011 р. складає близько 784 тис. т/рік. Згідно з [9] ЗГП можна віднести до відновлюваного ресурсу (ВР), який може бути перероблений в певний вид енергопродукту. На даний час утилізацію ЗГП здійснюють переважно спалюванням на відкритому повітрі, що призводить до таких експлуатаційних наслідків, як виснаження природних ресурсів і негативних змін у біосфері.

Способи використання відходів залежать від рівня розвитку науки і техніки, від виду викидів та їх концентрації. При цьому тирса і тріска можуть бути використані у будівництві, як наповнювачі під час виготовлення різних будівельних конструкцій, а також суцільно пресованих виробів. Але у масштабах малих підприємств із-за високої вартості необхідного обладнання і визначених вимог до кваліфікації працівників є особливо не актуальним.

Одним із основних способів утилізації зрізаних гілок плодкових дерев є їх енергетичне використання, де головне значення має їх теплотворна здатність, а також продукти, які отримують під час їх термічного розкладання. Але пряме використання таких відходів у якості палива з деяких причин ускладнено [2].

Відомо, що з метою раціонального використання побічної продукції плодового саду можна використовувати брикетування тирси і тріски. Такі брикети можуть бути використані, як побутове паливо, з виключенням недоліків, які відносяться до сипких деревних відходів.

Брикетування - процес, під час якого матеріал пресується під високим тиском, таким чином температура матеріалу підвищується і відбувається

виділення смолистих в'язучих речовин, за рахунок яких і здійснюється склеювання матеріалу і подальше формування брикету. Мінімальна вологість пресованого матеріалу становить 6%.

Раціональне використання деревних відходів є однією з найважливіших задач комплексної переробки деревної сировини. Брикетовані деревні відходи є реальною альтернативою традиційним видам палива як за своїми теплотворної характеристикам, так і за екологічними параметрами.

Організація виробництва таких брикетів є потенційним джерелом доходу для підприємств садівництва. Однак поширені в даний час технології виробництва паливних брикетів з подрібненої деревини мають істотні недоліки, при цьому процес виробництва брикетів із зрізаних гілок плодкових дерев є недостатньо вивченим.

Аналіз структури споживання біомаси для енергетичних потреб країни свідчить про необхідність більш широкого використання біомаси із так званих додаткових джерел, а саме зрізаних гілок плодкових дерев. Деревна біомаса цього виду в Україні майже не використовується, хоча її потенціал, доступний для енергетики, достатньо великий, і вона може бути дешевим місцевим паливом. [1,2].

Паливні брикети із зрізаних гілок плодкових дерев є альтернативою прямого використання деревних відходів у вигляді палива. Їх можна використовувати в камінах, печах, твердопаливних котлах та інших опалювальних приладах, що працюють на твердому паливі.

Україна 20 березня 2015 р. підписала Угоду із Європейським Союзом про участь у Рамковій програмі ЄС з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020». Основним пріоритетом цієї програми є сприяння підвищенню конкурентоспроможності сільськогосподарських виробництв за рахунок проведення актуальних наукових досліджень. В рамках цього проекту в Україні створено стратегію розвитку біоенергетики з відходів садівництва, а саме – проект uP_running «Підвищення рівня сталого постачання деревної біомаси від обрізання та від викорчовування

багаторічних сільськогосподарських насаджень» [10]. Метою цього проекту є створити передумови перетворення аграрних відходів в енергопродукт та пошук альтернативної енергії для нагрівання замість використання природного газу.

Встановлено, що споживання деревної біомаси для енергетичних потреб із зрізаних гілок плодкових дерев, дуже обмежено. Також встановлено, що конкретного аналізу вироблення енергопродукту із зрізаних гілок плодкових дерев як технічної енергетичної системи не було зроблено. А деревна біомаса цього виду може бути дешевим місцевим паливом.

Так як сільгоспвиробники сьогодні починають орієнтуватися на зовнішній ринок збуту своєї продукції, то вона повинна бути сертифікована відповідно до вимог стандарту GLOBALG.A.P [11]. Цим стандартом передбачено сертифікацію усіх процесів виробництва сільськогосподарської продукції – від садіння рослини у ґрунт до необробленого продукту. Базовим модулем даного стандарту, а саме AF6 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.

В садівництві порічно проводиться обрізування дерев – це необхідна і важлива технологічна операція, яка сприяє отриманню стабільних врожаїв, після якої в саду закидається багато зрізаних гілок, які є потенційним носієм тепла. По існуючій технології гілки вивозяться за межі кварталу машинами СВ-1 або СТС—4 і спалюються. Процес спалювання вимагає певної кількості палива, а не спалені гілки є осередком для шкідників та збудників хвороби внаслідок не обробітку ядохімікатами.

Одним з енергозберігаючих способів утилізації цієї побічної продукції садівництва є виробництво з подрібнених гілок брикетів для використання в якості твердого палива з послідуочим поверненням попопу в сади як добриво. Продукти згорання рослинних відходів мають дуже мало сірки 0,1-0,2% [12] порівняно з вугіллям 1-4%, що важливо з точки зору охорони навколишнього

середовища. Поряд з наявністю речовин, які підвищують родючість ґрунтів, в попилі є й шкідливі елементи, які негативно впливають на ґрунтову біоту та рослини. Використання пополу не рекомендується на ґрунтах з достатньою кількістю фосфору та калію а також поблизу доріг з інтенсивним рухом транспорту [13]

Тому, на сьогоднішній день проблема перероблення ЗГП в енергопродукт є актуальною і потребує проведенню цілої низки наукових досліджень.

1.2 Характеристики брикетів у порівняння із традиційними джерелами палива.

Брикетування сипучої деревини досягається шляхом пресування із звужуючими речовинами або без них. Більш широко застосовується брикетування без в'язучих речовин. Температура матеріалу підвищується і відбувається виділення власних смолистих в'язучих речовин, за рахунок яких здійснюється склейка частинок матеріалу і подальше формування паливного брикету. В результаті отримують щільне екологічно чисте паливо, що перевершує по калорійності звичайні дрова.

Сипуча деревина після брикетування зменшується в об'ємі в кілька разів, стає транспортабельною і зручною в обігу. Тому брикетування тирси доцільно при їх транспортуванні, так як підвищується ємність транспортних засобів і полегшуються вантажно-розвантажувальні операції.

Насипна маса тирси становить $150-200 \text{ кг/м}^3$, а насипна маса брикетів з них при вологості 15% становить 460 кг/м^3 [1]. Великою перевагою брикетів є сталість температури при згорянні протягом 4 годин. Це означає, що в порівнянні зі звичайними дровами, закладку в піч можна проводити рідше в три рази. Брикети горять з мінімальною кількістю диму. При цьому забезпечують постійну температуру на всьому протязі горіння. Після згорання брикети перетворюються у вугілля, як звичайні дрова.

Наприклад, теплотворна здатність тирси та тріски хвойної деревини при брикетуванні становить [1]:

- вологістю 37% – 2500 ккал/кг,
- вологістю 20-22% – 3300 ккал/кг,
- при 15%-ої вологості – 3600 ккал/кг,
- при 12%-ої вологості – 3800 ккал/кг.

Головна мета брикетування – це концентрація в мінімальному обсязі корисних горючих властивостей деревної біомаси (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Види брикетів.

Сьогодні існує багато населених пунктів і місць, де газу попросту немає. Людям доводиться користуватися альтернативними джерелами тепла, наприклад, твердопаливними котлами. Дані агрегати працюють на дровах, але останнім часом для них стали випускатися більш сучасні види палива - це паливні брикети для топки печей.

Основні технологічні параметри брикетування знаходяться між собою в певній залежності. Залежність механічної міцності брикетів від кожного окремого параметра брикетування деревної біомасі часто носить екстремальний характер. Значення параметра, при якому виходить максимальна міцність брикетів, приймається за оптимальне.

Даний вид палива має унікальні властивості:

- Висока тривалість горіння (30 хвилин) і тління (100 хвилин) Брикети горять з мінімальною кількістю диму, не стріляють та не іскрять.
- Теплотворність брикетів більша ніж у звичайних дров за рахунок високої щільності і практично дорівнює теплотворенню кам'яного вугілля.
- Температура горіння брикетів у 1,5-2 рази вище, ніж у дров. У брикетів низька вологість, яка становить 6-10% і досягається за рахунок примусової сушки - обов'язкового етапу їх виробництва. При цьому нормальна вологість деревини при правильному зберіганні складає 15-20%.

Для ілюстрації властивостей деревних брикетів наведемо таблицю теплотворної здатності поширених видів палива (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Теплотворна здатність поширених видів палива, МДж/кг

Види палива	Теплотворна здатність
дизельне паливо	42,7
вугілля кам'яне	22
брикети деревні	16,9
дрова	10
торф	10

Брикетоване біопаливо є реальною альтернативою кам'яному вугіллю і нафти, так як не поступається за теплотворними характеристиками, а його екологічні параметри взагалі поза конкуренцією. В основі технології

виробництва брикетів лежить процес пресування дрібно подрібнених сухих відходів деревини (тирси і тріски) [14].

Брикет, що використовуються на даний час, мають циліндричну або прямокутну форму [15-17]. Розглянемо форми і методи виробництва брикетів на сучасному ринку.

Найпоширенішими є RUF – брикети (рис. 1.2), які виготовляються із сухої тирси на гідравлічних пресах, тобто за допомогою метода пресування під високим тиском, має форму цеглинки білого або деревного кольору [18]. В результаті на світ з'являються евродрова, які можуть використовуватися в печах будь-якого типу. Пресовані бруски не бояться вологи.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд RUF – брикетів.

Основні показники RUF – брикетів зведені до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристика RUF – брикетів.

Показник	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Вологість, %	теплота згорання, ккал/кг	Зольність, %	Щільність, г/см ³

Значення	155	95	65	8-10	4400-4500	0,9-1,0	0,75-0,8
-----------------	-----	----	----	------	-----------	---------	----------

Пакують RUF – брикет в пакети з прозорої поліетиленової плівки по 12 брикетів, що становить 10 кг (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Пакування RUF – брикетів.

Паливні брикети RUF характеризуються виділенням великої кількості тепла - вони майже в півтора рази вигідніше дров. Ними легко завантажувати камери згоряння і складати їх в штабелях.

Nestro – брикет виготовляється як на гідравлічних, так і механічних пресах. Вони виготовляються з пресованої тирси. Все це пресується під невеликим тиском з використанням нетоксичної клейової основи. Це паливо відрізняється дешевизною, але має один виражений недолік - низьку міцність. Воно легко розпадається і кришиться, не витримує впливу вологи. Nestro – брикет характеризується середньою щільністю.

Такий брикет має форму циліндра [18]. Пакують брикети в прозорі поліетиленові пакети по 6 штук у кожному, вага пакету становить 10кг (рис.1.4).



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд Nestro – брикетів.

Говорячи про вимогливості до персоналу, відзначимо - робота ударно-механічного преса можлива в напівавтоматичному або автоматичному режимі, тобто без участі людини. Основні показники Nestro – брикетів зведені до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Характеристика Nestro – брикетів.

Показник	Довжина, мм	Ширина, мм	Вологість, %	Теплота згорання, ккал/кг	Зольність, %	Щільність, г/см ³
Значення	270	90	7-9	4850-4950	0,5-1,0	1,0-1,15

Брикети Nestro мають середню щільність і тепловіддачу, а за часом горіння навіть перевершують RUF – брикети. Ці брикети відносяться до класу преміум-брикетів.

Наступний вид - брикети Pini & Kayu мають форму 4,6,8-гранника з заокругленими краями та отвором всередині [18]. Виготовляються на шнекових пресах шляхом пресування сухої подрібненої деревини, за допомогою поєднання високого тиску і термічної (випалювання) обробки (рис. 1.5). Мають максимальну щільність та більш енергоємний процес (в порівнянні з першими двома типами) виготовлення, тому потрібно мати більш кваліфікований персонал, що не може не відбитися на витратах на виробництво.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд Pini & Kayu – брикетів.

Основні параметри брикетів Pini & Kayu зведені до таблиці 1.4. Об'єм брикету складає 1/10 від обсягу витраченого на його виробництво сировини, що дає значну економію при транспортуванні і зберіганні біопалива. Пакують брикети у прозору термоусадочну плівку по 12 штук, це дорівнює 10 кг.

Таблиця 1.4

Характеристика брикетів Pini & Kay.

Показник	Довжина, мм	Розміри перерізу, мм	Діаметр отвору, мм	Вологість, %	Теплота згорання, ккал/кг	Зольність, %	Щільність, г/см ³
Значення	250	65x65	20	7-9	не менше 5100	0,5-1,0	1,08-1,4

Для того щоб брикети згорали з виділенням великої кількості тепла, в ньому зроблено отвір, що збільшує тягу. Їх ще називають «олівцями». Самі «олівці» виглядають темними, так як вони пройшли випалення. Ця процедура робить їх більш міцними і видаляє надлишки вологи

Pini & Kay, в порівнянні з іншими деревними брикетами, мають найбільшу тепловіддачу, механічну міцність і меншу гігроскопічність (за рахунок термічної обробки поверхні). Отвір (рис.1.5) дозволяє створювати тягу всередині брикету, сприяючи горінню без примусової вентиляції, що дає можливість застосовувати Pini & Kay в топках з низькою тягою. За рахунок отвору, що збільшує площу горіння, Pini & Kay швидше розпалюється і швидше за інших брикетів протоплюють приміщення. Брикет Pini & Kay є номером 1 серед деревних брикетів.

Недоліком паливних брикетів Pini & Kay є те, що коштують вони дорожче дров і навіть дорожче будь-яких інших видів паливних брикетів.

Пілетки (деревні гранули) - біопаливо, яке отримують із торфу, деревних відходів і відходів сільського господарства або з вугілля. Пілетки являють собою гранули циліндричної форми стандартних розмірів. Сировина (тирса, або тріска) надходить у дробильну машину, де подрібнюється до стану борошна. Отримана маса надходить у сушарку, з неї – у прес-гранулятор, де деревне борошно стискають у гранули. Стискання під час пресування підвищує температуру матеріалу, лігнін, що міститься в деревині розм'якшується і склеює частки у щільні циліндри. На виробництво однієї тонни гранул витрачається 4 – 5 кубометрів деревних відходів.

Паливні гранули – екологічно чисте паливо із вмістом золи не більш 3% (рис. 1.6). При спалюванні гранул в атмосферу викидається рівно стільки CO₂, скільки було поглинено рослиною під час зростання.

Гранули менш схильні до самозаймання, не містять пилу і спор, які можуть викликати алергічну реакцію у людей. Гранули відрізняються від звичайної деревини високою сухістю (8 – 12% вологи проти 30 – 50% у дровах) і більшою – приблизно в півтора рази – щільністю.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд паливних гранул.

Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність в порівнянні з тріскою або дровами. Характеристики пілетів наведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Характеристика паливних гранул.

Показник	Довжина, мм	Розміри перерізу, мм	Вологість, %	Теплота згорання, ккал/кг	Зольність, %	Щільність, г/см ³
----------	----------------	----------------------------	-----------------	---------------------------------	-----------------	---------------------------------

Значення	5-25	6-8	8-9	4400 - 4500	0,25-0,4% (світлі) 0,6-1,1 % (темні)	1,0-1,4
-----------------	------	-----	-----	----------------	---	---------

Одна з найважливіших переваг гранул – висока і постійна насипна щільність, що дозволяє відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Фасують пілети у мішки вагою по 15, 20, 25, 30 кг. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту гранули можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси навантаження-розвантаження.

Застосовуються пілети в спеціальних котлах, оснащених системами автоматичної подачі і пілетними горілками.

Порівняльна характеристика основних параметрів розглянутих видів брикетів та пілет наведена у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Порівняльна характеристика твердих видів палива

Показник	RUF – брикети	Nestro – брикет	Брикети Pini & Kau	Пілети
Вологість, %	8-10	7-9	7-9	8-9
Теплота згорання, ккал/кг	4400-4500	4850-4950	не менше 5100	4400 - 4500
Зольність, %	0,9-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,25-0,4% (світлі) 0,6-1,1 % (темні)
Щільність, г/см ³	0,75-0,8	1,0-1,15	1,08-1,4	1,0-1,4
Ціна, гр/т	≈ 2500	≈ 3200	≈ 3300	≈ 3100

У роботі [19] пропонується розробка нової технології і обладнання для виробництва деревних брикетів сферичної форми. Необхідність реалізації запропонованого технічного рішення полягає в тому, що вони мають низку переваг:

- радіальне зусилля пресування (від периферії до центру) визначає максимальні щільність і рівнощільність зовнішнього шару сферичного брикету;

- куляста форма брикетів апіорі визначає їх рівномірне розташування в топці, а, значить, рівномірне підведення повітря до всього обсягу біопалива і рівномірний режим горіння;

- формоутворення сферичних брикетів вимагає найменшого зусилля пресування по відношенню до брикетів вище розглянутих форми;

- сферичні брикети легко скочуються в топку по похилій площині; їх потік легко контролюється і дозується;

- сферичні брикети не мають крайок, отже, не руйнуються при зберіганні і транспортуванні, не утворюють відходів.

Крім відмінностей у формі і щільності, евродрога різняться складовими компонентами, які безпосередньо впливають на зольність, кількість вироблюваної сажі, теплотворність та ступінь згорання. Наприклад, торф'яними виробами можна топити домашні вогнища через високий вміст золи і шкідливих фракцій в їх складі. Такий матеріал призначений виключно для промислових потреб. У таблиці 1.7 наведено види паливних брикетів з порівняльними характеристиками виробів з різної сировини.

Таблиця 1.7

Порівняльна характеристика паливних брикетів з різної сировини

Показник	Вологість, %	Теплота згорання, ккал/кг	Зола, %	Щільність, г/см ³
Солома	7,8	4740	7,3	1,1
Лушпиння насіння	2,7	5161	3,6	1,15
	8,51	-	2,95	-
трава	7,5	4400	0,7	1,37
Лушпиння рису	7,1	3458	20,2	1,16
Деревна тирса	4	5000	0,8	-
	10,3	4341	1,1	-
	4,1	5043	1,16	0,79

Із таблиці видно, що деревина в порівнянні з іншими видами сировини має суттєві переваги. При вологості 4% пресована тирса займає почесне друге місце по калорійності з показником в 5043 ккал/кг, лише поступаючись зразкам з лушпиння насіння. Якщо вологість деревних брикетів для опалювання підвищується до 10%, теплотворність падає до 4340 ккал/кг.

За показником зольності варто відзначити, що зола складається з мінеральних речовин з низькою енергетичною цінністю, і якщо їх занадто багато в паливі, то від нього не варто очікувати тривалого горіння і високої тепловіддачі. Різна зольність в ідентичних за складом брикетах може бути отримана при різних процесах виробництва і початковій якості сировини [16].

Для порівняння вартості отриманої енергії від деревних брикетів наведемо таблицю (табл. 1.8) середньої ваги палива та вартості отримання енергії для населення України від поширених видів палива [20,21].

Таблиця 1.8

Середні показники отримання енергії для населення України із різних видів палива, грн.

Розрахунок загальної суми витрат на виробництво брикетів наведено 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.

Показники	Значення
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°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., Гелетуха Г.Г. Аналіз можливості отримання деревного палива з додаткових джерел в Україні. Промислова теплотехніка. 2016. Т.38, № 4. С. 71-77.
2. Гелетуха 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
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
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-](http://agroportal.ua/news/ukraina/v-ukraine-sozdali-strategiyu-razvitiya-bioenergetiki-iz-otkhodov-sadovodstva/?spush=ZXJlbXVydXN1YUB1a3lubmV0)

[sadovodstva/?spush=ZXJlbXVydXN1YUB1a3lubmV0](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/ (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_

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

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.