

**УТИЛІЗАЦІЯ ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ, ЯК ЕЛЕМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ
РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГІРСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ**

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕКОНДИЦІЙНИХ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА.....	4
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ ІЗ ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХНІХ ФІЗИКО- ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.....	9
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ. ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ МЕТОДОМ ЕКСТРУЗІЇ.....	17
ВИСНОВКИ.....	21
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	22

ВСТУП

За умов загострення в світі питання енергетичного забезпечення особливої актуальності набуває використання деревної біомаси. Задоволення енергетичних потреб людства є одним із найбільших викликів третього тисячоліття. Отримання деревних гранул – одна з таких альтернативних технологій, що може дати відповідь на всі ці виклики. Сьогодні опалення на пелетах коштує на 60% менше, ніж нафти, і на 40% менше електроенергії. Пелети дешевші, ніж викопне паливо, і є відновлюваним ресурсом. 1000000 кубічних метрів відходів деревини може замінити близько 180000000 л звичайного викопного палива [1, 2].

Серед видів біомаси, що мають органічне походження значної поширеності набула деревина [3, 4]. Вона складається здебільшого з целюлози, лігніну, смол та певної кількості вологи. Під час розкладу на основні енергетичні елементи, які є в деревині, отримуємо приблизно 50% вуглецю, 6% водню та 44% кисню. Теплотворна її здатність становить від 14 до 17 МДж/кг. Нині світові запаси деревини становлять $360 \cdot 10^9$ м³, що майже відповідає енергетичному вмісту $175 \cdot 10^9$ т умовного палива.

Відсутність недорогих доступних технологій утилізації відходів деревини не лише призводить до енергетичних втрат, але й супроводжується цілою низкою екологічних проблем (забруднення водоймищ та ґрунтів у районі звалищ, розповсюдження збудників захворювань тощо), що потребують невідкладного вирішення. Розроблення та використання нових сучасних технологій утилізації деревних відходів може мати суттєвий еколого-економічний ефект для регіону Покутсько-Буковинських Карпат.

РОЗДІЛ 1

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕКОНДИЦІЙНИХ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА

В Україні наявний потужний енергетичний потенціал біомаси [5]. Важливе енергетичне місце серед біотичних відходів належить біомасі деревини. Станом на 2015 рік біопаливо мало найбільшу питому вагу (81,3 %) у структурі виробництва відновлюваних джерел енергії (зокрема 59,6 % припадало на деревинну біомасу). При цьому внесок енергії з біопалива складав 2,5 % (1283 тис. т нафтового еквіваленту) загального постачання первинної енергії в Україні [4, 5].

Біомаса є четвертим за значенням паливом [6] і становить приблизно 15% первинних енергоносіїв у світі. Перевагою біомаси як палива є:

- відновлювальний характер;
- низька зольність;
- незначна кількість викидів;
- збереження рівноваги вуглекислого газу в атмосфері.

Для кращого розуміння ролі біомаси як джерела енергії її можна розділити на групи [7-8]:

- біомаса рослинного походження;
- відходи тваринництва;
- водна біомаса;
- фізіологічні відходи людини;
- промислові та міські відходи органічного походження.

Найбільшу групу становить біомаса рослинного походження, яку широко використовують для отримання енергії та енергоносіїв. Її споживають [9]:

- для прямого виробництва тепла через спалювання в різноманітних паленищах;
- для виробництва вугілля шляхом сухої перегонки;
- для виробництва спиртів із використанням процесів гідролізу;

- для ферментації та сухої перегонки;
- для виробництва синтетичної нафти й газу за допомогою процесів гідрогенізації та газифікації;
- для виробництва біогазів в умовах анаеробного розкладу.

Енергетичні продукти переробки біомаси можуть використовувати у звичайних енергетичних установках як традиційне паливо.

Щорічний [10] обсяг заготовлення деревини в Україні становить 10308,7 тис м³, із них 7300 тис м³ (4391,5 тис т) не використовують, і їх можна застосувати для виробництва теплової енергії. Зараз незначну їхню частину використовують як паливо для обігріву виробничих та житлових будівель, а основну в кращому випадку вивозять на звалища, а в гіршому – висипають біля підприємства. Це призводить до несанкціонованих звалищ, які у вітряну погоду забруднюють атмосферу. Під час такого «захоронення» деревина починає розкладатися з виділенням парникових газів, а також приманює комах. А це своєю чергою може стати джерелом хвороб.

Під час переробки деревини на різних технологічних етапах утворюється така кількість відходів [11]:

- 13% – під час заготовки лісу (зазвичай залишаються в лісі і їх не враховують під час визначення валової кількості заготовленої деревини);
- 30% – під час розпилювання кругляка на пиломатеріали (продається населенню для використання як паливо);
- 35% – під час виготовлення готових виробів із пиломатеріалів;
- 60% – від утворених відходів деревини використовують в інших секторах економіки (виробництво деревоволокнистої плити, в паперовій промисловості).

Єдиний шлях для утилізації утворених відходів є повне використання їх як палива [12]. Але під час застосування такого матеріалу виникають незручності, пов'язані з його транспортуванням, дозуванням і зберіганням. Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є процес

гранулювання. Утворення гранул дозволяє сконцентрувати максимальну кількість деревної речовини у мінімальному об'ємі, що істотно збільшує цілий ряд корисних властивостей, зокрема теплоутворювальні та дозволяє зменшувати об'єми ємностей для зберігання і транспортування.

Є проблема поводження з відходами целюлозно-паперового виробництва, які утворюються під час виготовлення паперової продукції з деревини. Вони накопичуються у шламівідстійниках та забруднюють водне середовище. Їх можна використовувати як додаток до відходів деревини – як в'язучий компонент чи як основне паливо [13].

В цілому, при умові розвитку системи збирання та переробки біомаси, можливе досягнення значної економії традиційного палива і зменшення навантаження на природне середовище.

Переробка твердих відходів лісопильно-деревопереробного виробництва на технологічну тріску, яка може використовуватись для целюлозно-паперової промисловості, а також у виробництві деревних плит, гідролізу та ін. [14] є перспективним напрямком їх використання.

Але основну частину таких залишків, які за різними даними становлять до 40% і складаються в основному з тирси, стружки і кори, не застосовують у технологічних цілях, в той же час вони придатні для використання у в якості палива. Розвиток такого виробництва гальмується низькою транспортабельністю та труднощами технологічних процесів дозування і зберігання. Покращити ці властивості можна шляхом їх гранулювання [15]. Варто наголосити на значному прогресі впровадження цих технологій у світі. Зокрема, якщо у 1970-х роках у США в Браунсвілле з'явився перший виробничий цех отримання пелет, то вже у 1997 в Північній Америці було більше 500 000 заводів із виробництва гранул. Перспективною в цьому плані є Європейська стратегія [16].

До найбільш поширених нині методів гранулювання належать [17]:

- метод пресування. Цей метод дозволяє одержувати продукцію, яка містить доволі широкий діапазон компонентів. В той же час такі установки

легко переводяться на випуск гранул з використанням іншої за складом сировини. Вплив сил молекулярного зчеплення дозволяє отримувати необхідні агломерати, що і є основою цього методу. Також можливе сплавлення твердих частинок за умови високого тиску та температури в зоні деформації, хімічні взаємодії з утворенням нових сполук та гідростатичний тиск рідкої фази в капілярах;

- гранулювання в апаратах барабанного типу. Серед апаратів цього типу найбільш використовуваними є горизонтальні барабани, що обертаються. У них під час зволоження насамперед утворюються пористі агломерати, які можна перетворити у міцні сферичні гранули шляхом ущільнення при обкатуванні. Їхня міцність та густина залежать від величини сил агломерації, вмісту зв'язуючих частинок у гранулі. Для проведення процесу гранулювання необхідно забезпечити зближення частинок на таку відстань, на якій будуть чітко вираженні капілярні, поверхнево-активні та адгезійні сили, а також сили зчеплення;

- гранулювання в шнеках – грануляторах. Процес проходить за двома принципами: нашаруванням або агломерацією. Метод нашарування використовують тоді, коли нема обмежень за об'ємом установки. В цьому випадку гранули круглі, гладкі та однакові за розміром. Другий метод – агломерування – застосовується в тих випадках, коли є обмеження за об'ємом установки. За цим методом можна отримати круглі гранули з гладкою поверхнею, хоча не такі якісні, як за першим методом. Оптимальні умови гранулювання в шнеку-грануляторі визначають за складом та властивостями вихідних компонентів;

- гранулювання в дискових грануляторах. Принцип утворення гранул за цим методом, як і в барабанних, базується на здійсненні обкатування сировини на днищі гранулятора, яке здійснюється при одночасному зволоженні. Дія відцентрових сил, сил тертя та сил тяжіння забезпечує щільне прилягання матеріалу до днища і бортів гранулятора, що перешкоджає ковзанню;

- гранулювання методом екструзії. Базовими процесами цього методу є надання пластичних властивостей сировині внаслідок нагрівання її до температури плавлення

при одночасному додаванні рідкої фази. Цей процес здійснюється в змішувачі із застосуванням інтенсивного перемішування. Відтак ця маса під тиском продавлюється через спеціальну матрицю;

- гранулювання в киплячому шарі. Даний метод передбачає одночасне поєднання процесу гранулювання і висушування, яке здійснюється в потоці теплоносія чи охолоджувального агенту. Проходження цих агентів через газорозподільну решітку, яка закріплена в робочому об'ємі апарату створює, так званий, киплячий шар. Процес ускладнює необхідність ретельного очищення газового потоку, який виходить з апаратів, а також різна тривалість перебування частинок в апараті.

Дослідження [17] встановили, що перспективним є використання для гранулювання деревних відходів методу екструзії зв'язувального натурального походження (основною частиною якого є лігнін, виварений із деревної маси в процесі отримання целюлози) – сульфатного мила.

Аналіз сучасного стану розвитку біоенергетики в Україні дозволяє зробити такі висновки:

- біоенергетика є одним із найбільш пріоритетних напрямків розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні. Найближчою метою розвитку біоенергетики є використання 8-10% від загальних потреб первинних енергоносіїв за рахунок енергії з біомаси; біоенергетичні проєкти стають усе більш рентабельними з комерційної точки зору; новим та перспективним напрямком є участь України в біоенергетичних проєктах.

За даними офіційної статистики [17], основними лісогосподарськими районами Чернівецької області, що входять до Покутсько-Буковинських Карпат, є Вижницький та Путильський гірські адміністративні райони, на які припадає 44,6 % лісів та лісовкритих площ і 51,2 % обсягів продукції лісового господарства. На кінець 2014 року площа лісів Чернівецької області, що надані у користування або власність, становила 247 тис. га, а залишки лише первинних відходів деревини на лісосіках – 41,7 тис. м³ (17720,4 т), що складає 4,45 % від загального підсумку. Варто зазначити, що цей регіон є недостатньо вивченим в аспекті екологічної безпеки.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ ІЗ ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХНІХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Характеристика фізико-хімічних властивостей твердих відходів деревини. Деревина має клітинну структуру. При цьому за хімічним складом стінки клітин переважно на 90% складаються з органічних речовин (вуглеводнів та їх похідних) і містять до 1% мінеральних речовин (простих елементів та неорганічних сполук), з яких при горінні деревини утворюється зола [19].

Органічні речовини деревини поділяють на три частини:

1. До складу вуглеводневої частини входить ряд полісахаридів: целюлози та геміцелюлози. Целюлоза є базовим компонентом деревини. Вміст її коливається від 46 до 54% для хвойних порід, від 41 до 45% для листяних порід. А вміст геміцелюлози коливається в межах від 17 до 43%.
2. Ароматична складова органічних речовин деревини включає лігнін, який є сумішшю ароматичних полімерів.
3. Екстрактивні речовини деревини містять ряд органічних сполук, які можна екстрагувати за допомогою нейтральних розчинників: води та різних органічних речовин. До цієї групи належать також ефірні масла, смоляні та жирні кислоти, дубильні речовини.

Таблиця 2.1 включає дані про максимальні розміри деревних відходів, які утворюються під час переробки лісу [20].

Таблиця 2.1 - Максимальні розміри деревних відходів

Група відходів	Види відходів	Максимальний розмір відходів, м		
		довжина	ширина	Товщина (діаметр)
М'які	Тирса	$6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
	Деревний пил	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

В процесі експериментів деревні відходи висушували та подрібнювали до розмірів зазначених в таблиці 2.1.

Методика проведення досліджень формування гранул на екструдері.

На рис. 2.1 зображено принципову схему установки для гранулювання паливних матеріалів описану в роботі [21]. Дослідження проводилися на устаткуванні Вижницької біопаливної компанії.

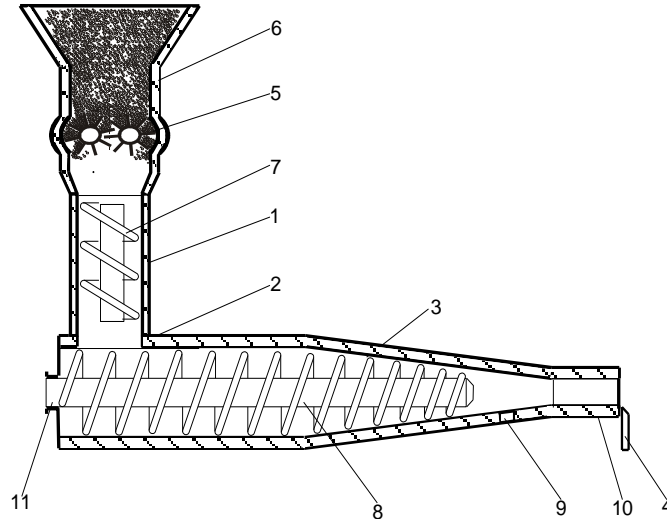


Рисунок 2.1 – Схема установки для формування паливних матеріалів: 1 – завантажувальний бункер; 2 – циліндрична частина корпусу; 3 – конічна частина корпусу; 4 – ріжучий пристрій; 5 – дозуючий пристрій; 6 – підготовча камера; 7 – дозуючий шнек; 8 – шнек із транспортуючими, ущільнюючими та витискаючими лопатками; 9 – дренажний отвір; 10 – фільтр; 11 – вал редуктора

Процес гранулювання розпочинається при завантаженні у бункер 1 вихідних компоненти із обов'язковим надлишком в'язучого компоненту в якості. Дозуючі пристрої 5, що розміщені в камері 6, зумовлюють рівномірне перемішування компонентів і подачу їх на дозуючий шнек 7. За допомогою шнеку 7 забезпечується попереднє стискування, а потім рівномірна подача реакційної маси в циліндричний корпус 2. Екструзійне просування до конічної частини 3 відбувається за рахунок роботи шнека 8. Це супроводжується зростанням тиску в частині 3, внаслідок чого із суміші виділяється рідкий компонент, який відводиться через дренажний отвір 9. Потім суміш поступає у фільтр 10, де

власне і здійснюється формування гранул. Довжина гранул регулюється ріжучим пристроєм 4.

Для ефективної роботи пристроїв необхідно забезпечувати рівномірний розподіл компонентів у суміші в'язучого і наповнювача. Однак, на практиці при змішуванні досягнути цього складно внаслідок невеликої кількості в'язучого компонента, його високої в'язкості та гігроскопічності самих деревних відходів. Якість паливних гранул суттєво залежить від однорідності суміші, так як надлишок в'язучого викликає крихкість гранул і зменшує їх міцність в місцях його знаходження, а його недостатність призводить до погіршення якості паливних гранул.

Для підвищення рівномірності розподілу компонентів суміші проводиться оснащення конічної частини корпусу дренажним отвором для видалення частини рідкого в'язучого компонента із суміші, що разом із підвищенням тиску в конічній частині корпусу забезпечує рівномірний розподіл рідкого в'язучого компоненту між дрібнодисперсними частинками деревних відходів, а його надлишок видаляється через дренажний отвір, що підвищує міцність отриманих гранул та зменшує їхню крихкість.

Надлишок рідкого зв'язуючого компонента зменшує тертя між сумішшю та робочими органами установки, що сприяє зниженню питомих витрат енергії на процес гранулювання, а також продовжує термін експлуатації обладнання.

Виконання дренажних отворів на конічній частині дозволяє видаляти надлишок зв'язуючого компонента із суміші.

Завдяки дренажним отворах його надлишок виводиться назовні, а тиск зменшується.

Попередня підготовка зв'язуючого. Для покращення в'язучих властивостей та зменшення вмісту вологи перед подачею в установку необхідно підготувати сировину. В'язуча речовина піддається термічній обробці у водяній бані. Температура води вища 80°C. Під час теплової обробки з сировини виділяються леткі речовини та проходить випаровування вологи.

Завершення термічної обробки відбувається тоді, коли втрата маси становить 4,6%, що є найбільш оптимальним. Це зумовлено зменшенням вмісту вологи, що своєю чергою призводить до зростання в'язкості, і це дозволяє покращити зв'язуючі властивості, а також збільшити вміст твердих частинок до 45-70%. Склад твердих речовин розчину: вуглецю – 42,6%; кисню – 31,7%; натрію – 18,3%; водню – 3,6%; сірки – 3,6%; мінеральних оксидів – 0,2%. Теплотворна здатність сухої речовини – 15,4 МДж/кг [22].

Під час подальшої термічної обробки відбувається повна втрата вологи та затвердіння речовини. В такому виді неможливо використовувати зв'язуюче, тому що втрачаються його в'язучі та змазувальні властивості.

Визначення оптимальних умов формування гранул. Для визначення оптимальних умов створення гранул ми вибрали постійний об'єм, який заповнювали наповнювачем та зв'язуючим. Відтак ці компоненти перемішувалися в підготовчій камері 6 та дозуючим шнеком 7 подавалися до циліндричної 2, конічної 3 частини та фільтри 10 (шнеком 8), де проходив процес формування гранул.

Під час формування відбувалося стискання частинок деревини, які наближалися на мінімальну відстань одна до одної. А зв'язуюча речовина обволікала їх та склеювала ці частинки. Оптимальна кількість зв'язуючого обумовлювалася тиском, який видаляв зайву кількість в'язучої речовини за межі прес-маси. Всі ці дії проводилися з ціллю збереження форми гранули після зменшення тиску.

Експерименти продовжувалися з почерговим збільшенням кількості наповнювача зі сталим об'ємом зв'язуючого, а також зі збільшенням останнього та сталим об'ємом першого. Критерій, який характеризує оптимальні співвідношення наповнювача та зв'язуючого, є міцність гранул. Готові гранули після виходу зі шнека випробовували на міцність, а найбільш міцні надалі використовували для наступних експериментів.

Формування гранул під високим надлишковим тиском проводили на експериментальній установці, що зображена на рис. 2.2 [22].

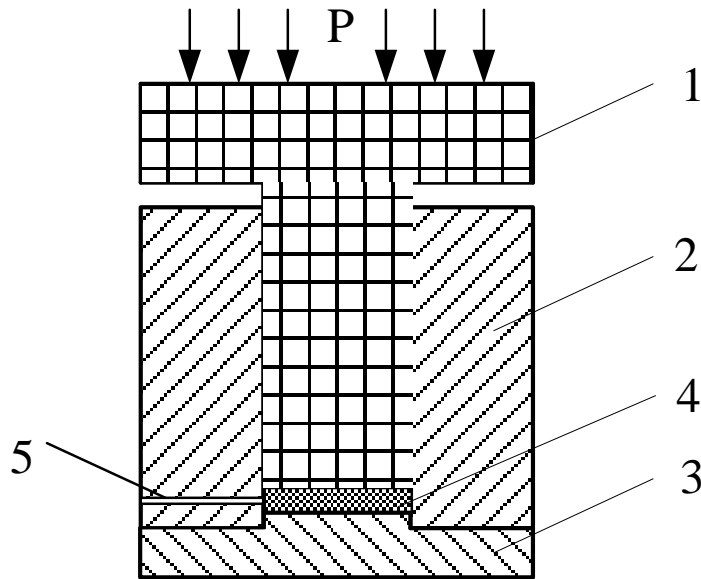


Рисунок 2.2 – Вид пристрою для формування гранули за умови високого тиску: 1 – поршень; 2 – матриця; 3 – основа; 4 – композиція; 5 – дренажний отвір

Процес формування гранули проводили на гідравлічному пресі, в який поміщали прес-форму для формування гранул. У пристрій засипали вихідні речовини з певним відсотковим складом. Процес формування гранули проводили на гідравлічному пресі (рис. 2.2.), в який поміщали прес-форму для формування гранул. У пристрій, який зображений на рисунку, засипали вихідні речовини з певним відсотковим складом [22] .

Для пресування гранули засипали постійну наважку відходів деревини та розраховану за відсотковим вмістом наважку зв'язувальної речовини. Відтак експерименти проводили з перемішуванням компонентів, а також із подачею зв'язуючого компонента в центр деревних відходів без перемішування. Підготовлену масу засипали в пристрій для формування гранул, після чого його поміщали в гідравлічний прес, де створювався тиск, який формував гранули. Під час проведення експерименту через дренажний отвір виділявся зайвий зв'язуючий компонент із дрібною фракцією деревних відходів. Після досягнення заданого тиску сформовану суміш витримували впродовж 10 с для

остаточного склеювання частинок деревних відходів. Далі готову гранулу випресовували та визначали її фізичні показники: масу, висоту, густину.

Визначення теплотворної здатності гранул. Теплотвірну здатність гранул визначали за методикою [23]. Для цього в спеціальній металічній бомбі почергово спалювали виготовлені таблетки із бензойної кислоти та зпресованих деревних відходів. Після завершення спалювання бомбу виймали з калориметра. Обережно відкривали вентиль та впродовж 300...420 с випускали газоподібні продукти спалювання та зважували залишки. На основі отриманих даних будували графіки $T = f(\tau)$, з яких визначали зміни температури калориметра в процесі спалювання бензойної кислоти $\Delta T_{0,1}$ та досліджуваної речовини $\Delta T_{0,2}$.

Розраховували сталу калориметра K за формулою (2.1) [23] :

$$K = \frac{aq_A + b_1q_B + d_1q_D}{\Delta T_{0,1}}, \quad (2.1)$$

де a , b_1 та d_1 – наважки (кг) бензойної кислоти, дротинки, що згоріла (визначається як різниця мас дротинки до та після досліду), та нитки (вати) відповідно для визначення сталої калориметра;

q_B та q_D – питомі теплоти спалювання дротинки (залізної – 4184, мідної – 2510,4, нікелевої – 3242,6 Дж·г⁻¹) та нитки (вати) відповідно.

Питому теплоту спалювання досліджуваної речовини q_C розраховують за формулою (2.2):

$$q_c = \frac{K\Delta T_{0,2} - b_2q_B + d_2q_D}{c}, \quad (2.2)$$

де c , b_2 та d_2 – наважки (кг) досліджуваної речовини, дротинки та нитки (вати), взяті під час другого досліду – в процесі згоряння досліджуваної

речовини; $\Delta T_{0,2}$ – зміна температури калориметра під час цього вимірювання.

Визначення зольності. У фарфоровий [24] тигель вносили наважку аналітичної речовини масою від $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ кг. Далі тигель із речовиною ставили в холодний або нагрітий (не більше ніж $300 \text{ }^\circ\text{C}$) муфель. Потім температуру піднімали до $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$) і за цієї температури закритий (після озолення) муфель прожарювали впродовж 7200 с. Тигель із золою виймали, охолоджували на повітрі на азбестовій пластині, потім в ексікаторі – до кімнатної температури та зважували. Після зважування тигель знову ставили в нагрітий до $800 \text{ }^\circ\text{C}$ муфель для контрольного прожарювання. Через 1800...2400 с тигель виймали, охолоджували та зважували. Контрольне прожарювання продовжували до постійної маси золи. Співвідношення маси золи в тиглі до взятої наважки (у відсотках) приймали за вміст золи в аналітичній пробі та позначали A^a .

Визначення статичної міцності. Випробовування [25] міцності на згин проводилися на приладі МІІ-100. Зразок встановлювали на опори приладу так, щоб його горизонтальні під час виготовлення грані були у вертикальному положенні. Зразки розміщувалися між двома стандартними металевими пластинками площею $25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ так, щоб бічні грані, які під час виготовлення прилягали до стінок форми, розміщувалися на площинах пластинок.

Межу міцності стиску окремого зразка вираховували як частку від ділення величини руйнівного навантаження P (Н) на робочу площу зразка S (м^2), відповідно до формули (2.3.):

$$R = \frac{P(H)}{S} \quad (2.3).$$

Метод визначення динамічної міцності. Крихкість гранул визначали [24] приладом ПКГ-05, який складався з камери у вигляді паралелепіпеда

розмірами $3 \times 3 \times 1,25 \cdot 10^{-1}$ м. Всередині камери розташована діагонально лопать довжиною $2,25 \cdot 10^{-1}$ м та шириною $5 \cdot 10^{-2}$ м, яка призначена для перемішування гранул. Передня стойка камери виконана з органічного скла, що дозволяє вести спостереження за процесом [25].

Для визначення ступеня крихкості наважку гранул 0,5 кг засипали в камеру. Кутова швидкість обертання барабана – 5 рад/с. Тривалість процесу – 1200 с. Після закінчення обертання гранули просіювали (отвір в ситі дорівнював 0,8 діаметра гранул). Крихкість K визначали за формулою (2.4):

$$K = \frac{G_n - G_k}{G_n} 100\% \quad (2.4),$$

де G_n – наважка гранул до експерименту, г; G_k – наважка гранул після експерименту, г.

Визначення вмісту вологи в сировинних компонентах. Проводили за методом [26] у сушильній шафі, розігрітій до температури 105°C . Наважку зважували на аналітичних вагах та поміщали в сушильну шафу. Через однакові проміжки часу зразок виймали та поміщали в ексікатор на 1800 с. Після цього зразок виймали та зважували. Експеримент продовжували доти, доки різниця двох зважувань не становила менше $1 \cdot 10^{-7}$ кг. За умови досягнення такого співвідношення масу останнього зважування можна вважати за постійну, тому експеримент завершували та розраховували вміст вологи [25, 26].

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ МЕТОДОМ ЕКСТРУЗІЇ

В основу безперервного методу формування гранул з використанням екструзії покладено принцип роботи, що базується на перетисканні сировини через екструзійну головку, яка виконує роль профільного отвору з подальшою фіксацією форми виробу. Примусове і безперервне переміщення матеріалу вздовж гвинтової нарізки шнека під час його обертання створює підвищений тиск в екструзійному агрегаті. Внаслідок безперервності процесу екструзія є одним із найпрогресивніших та найперспективніших методів гранулювання, який потребує найменших енерго- та матеріальних витрат і може бути цілком автоматизованим та керуватися за допомогою ЕОМ.

Процес екструзії відбувається внаслідок проходження ряду послідовних стадій:

- 1) завантаження вихідного матеріалу і переміщення його за допомогою обертання шнека із заданим нахилом гвинтової нарізки;
- 2) гомогенізація та дозування сировини;
- 3) перетискання через профільний отвір (головку).

Механізм основної стадії екструзійного методу формування гранул можна описати так. Завдяки невисокому тиску відбувається зовнішнє ущільнення матеріалу за рахунок зникнення порожнин між частинками. Надалі зі зростанням тиску виникає молекулярне зчеплення між частинками та зв'язуючою речовиною, внаслідок чого гранула зміцнюється та зберігає задану форму. Завдяки додаванню зв'язуючої речовини тиск зменшується та становить $10...50 \text{ Н/м}^2$.

Основними показниками, які впливають на якість виготовлених гранул, є вологість сировини та співвідношення тверда маса – зв'язуюче.

Ми досліджували два параметри, які визначають особливості реалізації процесу гранулювання паливних гранул: вологість сировини та співвідношення: тверда маса – зв'язуюче.

3.1. Встановлення оптимальної вологості сировини. Переважно відходи деревини зберігаються під відкритим небом. Це своєю чергою призводить до збільшення вологості в ній. Для наступного використання залишків деревини як сировини для виготовлення гранул, необхідно її висушити до вологості нижче 10% у розрахунку на суху масу. Використання вологої сировини (деревних відходів та зв'язуючої речовини, а також паливних додатків) для виготовлення гранул має низку недоліків:

- 1) процес формування гранули з відходів деревини з вологістю понад 10% у розрахунку на суху масу складний технологічно;
- 2) волога сировина має нижчу теплотворну здатність;
- 3) зменшення кількості вологи, яка випаровується під час горіння, покращує умови експлуатації металічних елементів печі (за рахунок зменшення інтенсивності їх корозії).

Зв'язуючий компонент, який надходить із виробництва, містить у собі вологу, що досягає 35% у розрахунку на суху масу. Тому необхідно зменшити вологість до 30% у розрахунку на суху масу для покращення зв'язуючих.

На рис. 3.1 зображені гранули, отримані екструзійним методом.



Рисунок 3.1 – Вид гранул, отриманих екструзійним методом

На рис. 3.2 зображені результати експериментів із визначенням теплотворної здатності гранул.

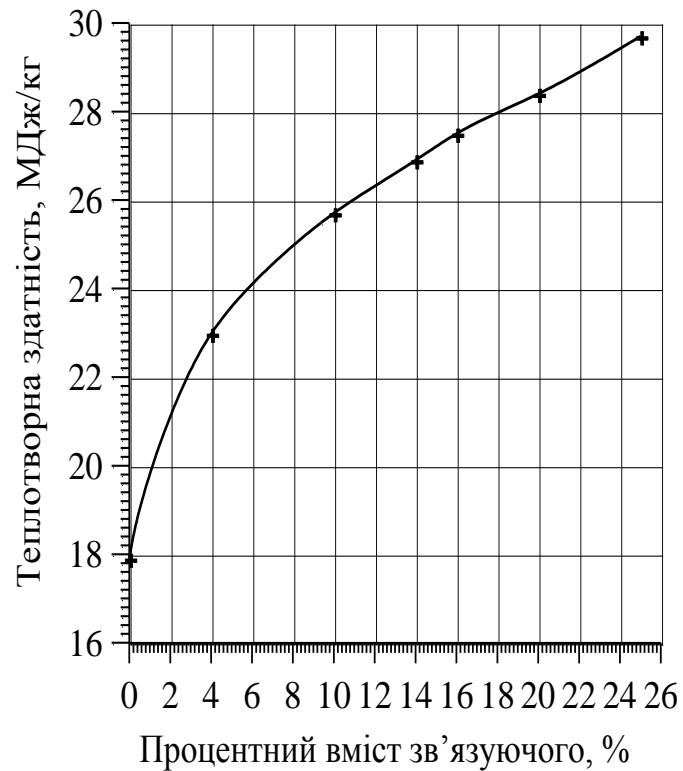


Рисунок 3.2 – Залежність теплотворної здатності гранул від процентного вмісту зв'язуючої речовини

Аналіз результатів, представлених на рис. 3.2, свідчить про те, що основним компонентом, який збільшує теплотворну здатність гранули, є зв'язуючий матеріал. При збільшенні концентрації зв'язуючої речовини в гранулі теплотворна здатність останньої зростає від 17,9 до 28,9 МДж/кг.

На рис. 3.3 зображені результати експерименту з визначенням зольності гранул. Отримані результати свідчать про те, що з додаванням зв'язуючої речовини зольність зростає. Так, вміст золи у деревних відходах становить 4%, а зв'язуючого компонента – 12,34%. Зі зростанням концентрації зв'язуючого компонента збільшується зольність гранули.

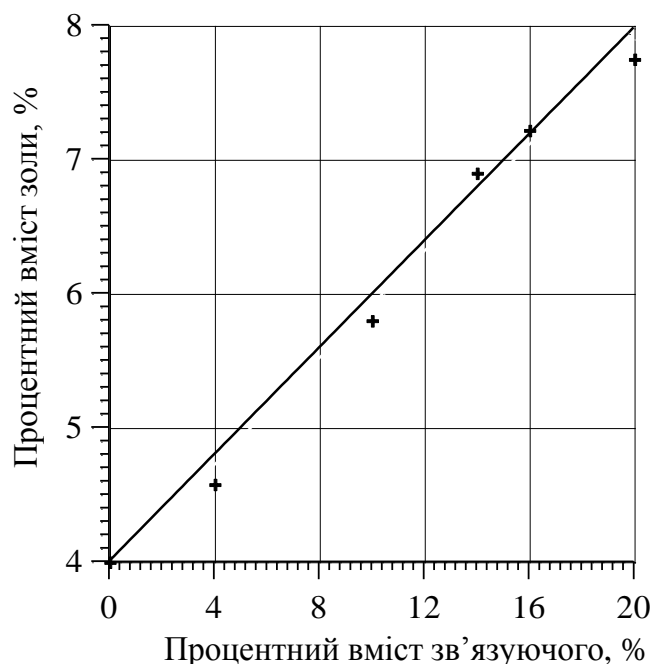


Рисунок 3.3 – Зміна вмісту зольності гранул в залежності від відсоткового вмісту зв'язуючої речовини

Також було проведено випробування гранул на статичну міцність, згідно з методикою, описаною в другому розділі. Результати випробування подані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати випробувань на статичну міцність

Процентний вміст зв'язуючого компонента в гранулі, %	Тиск, кПа
35	0
30	29
25	39
20	49
16	39
14	29

Аналіз даних таблиці 3.1 показав, що із збільшенням вмісту у суміші зв'язуючого компонента міцність гранули зростає. Але в той же час зростання вмісту цієї речовини викликає погіршення склеювання деревних частинок між собою, а це призводить, в свою чергу, до зменшення статичної міцності. Отже, за результатами проведених досліджень можна стверджувати, що при екструзійному методі формування гранул оптимальна концентрація зв'язуючої речовини становить 20%.

ВИСНОВКИ

На підставі отриманих результатів можна стверджувати, що:

- під час використання зв'язуючого компонента відбувається формування гранул при менших параметрах тиску, що забезпечує певну статичну міцність;
- з додаванням зв'язуючої речовини зростає теплотворна здатність гранули, порівнюючи з гранулою без зв'язуючої речовини;
- зв'язуюча речовина є мастилом, що зменшує сили тертя, а отже, енергетичні затрати на їх подолання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alexandru Hristea, Balentin Barbu, Gabriela Matache, Dragoş Preda. Analysis of the functional solution of the pellet press. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics*. (Brile Govora, Romania. November 7-9, 2018). Hervex, 2018. P. 248–253.
2. Masan Vladimir, Burg Patrik, Visacki Vladimir, Ondrej Ponjican. Evaluation of fuel pellets as secondary product when pressing oil from grapevine seeds. *17th International Scientific Conference: Engineering for rural development* (Jelgava, 23-25.05. 2018). Jelgava, 2018. P. 1766–1770.
3. Швець Я. С., Щербана О. М. Тепло у вашому домі. Львів, 2003. 56 с.
4. Яцик А. В. Екологічна безпека в Україні. Київ, 2001. 216 с.
5. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Промислова теплотехніка*. 2017. т. 39, №2. С. 60–64.
6. Бехта Павло. Виробництво стружки для деревостружкових плит: монографія. Київ, 1994. 272 с.
7. Ковальчук О. З. Екологія Львівщини. Львів, 2003. 98 с.
8. Nikolaisen L., Nielsen C., Larsen M. G., Straw for Energy Production. Technology. Environment – Economy. EN-TRYK, 1992. 46 p.
9. Nwakaire J. N., Ezeoha S. L., Ugwuishiw B. O. Production of cellulosic ethanol from wood sawdust. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2013. 15 (3). P. 136–140.
10. Басков Е. Д. Использование древесных отходов на зарубежных предприятиях. Москва, 1991. 250 с.
11. Аннеков В. Ф. Висококалорійні паливні брикети з відходів деревини та залишків сировини рослинного походження. *Світ меблів і деревини*. 1999. № 3-4. С. 35 – 49.
12. Гелетуха Г. Г., Железная Т. А. Обзор современных технологий сжигания древесины. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 1999. №7. С. 15 – 25.
13. Процишин Б. М., Воробйов Л. Й., Лох Є. Л., Павлюк С. М., Гордієнко П.

- В. Виробництво композиційних палив з відходів промисловості та сільського господарства. *Промышленная теплотехника*. 2006. №2. С. 20–25.
14. Бать Р. Я., Мальований М. С. Технологія створення біокомпозиції на основі відходів лісової та целюлозно-паперової промисловості. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2006. Т.16, №2. С. 86–88.
15. Zapałowska A., Bashutska U. Отримання деревної біомаси з енергетичною метою у Польщі та Україні. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 2016, №14. С. 17–22. <https://doi.org/10.15421/411601>.
16. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. Bruxelles, 1997. 53 p.
17. Клименко В. В., Кравченко В. І., Личук М. В., Солдатенко В. П. Експериментальна оцінка виготовлення твердого біопалива з композитів на основі рослинних відходів. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2016. № 3. С. 18–24. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2016_3_4.
18. Білоконь М. В., Аврам М. М., Білокучма М. В., Артановський О. Ф. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернівецькій області у 2015 році: монографія. Чернівці, 2016. 208 с.
19. Бехта П. А. Технологія деревинноволокнистих плит. Львів, 1997.
20. Білей П. В. Теоретичні основи теплової обробки і сушки деревини: монографія. Коломия, 2005. 364 с.
21. Установка для формування паливних матеріалів. Деклараційний патент на винахід №21200 В30 В11/22 С10L 5/40 від 21.04.2006 Мальований М. С., Бать Р. Я.; опубл. 15.03.2007. Бюл.№3.
22. Коган В. Б., Волков А. Д. Процессы и аппараты целлюлозно-бумажного промышленности. Москва, 1980. 250 с.
23. Решетняк О. В., Українець А. М., Закордонський В. П., Яцишин М. М., Ковалишин Я. С. Лабораторні роботи з фізичної хімії. Термохімія. Фазова та хімічна рівновага. Будова речовини: Практикум для студентів хімічного факультету. Львів, 2005. 210 с.
24. Грошев А. П. Технический анализ. Ленинград, 1983. 250 с.

25. Грошев А. П. Технический анализ. Ленинград, 1983. 250 с.
26. Калиновская О. П., Тюктяев И. Ш. Водостойкие гранулированные комбикорма. Москва, 1975. 220 с.

АНОТАЦІЯ

Актуальність дослідження.

В результаті антропогенного впливу в гірській частині Українських Карпат за останні роки гостро постала загроза порушення екологічної безпеки регіону. Незважаючи на те, що для території Покутсько-Буковинських Карпат характерні екологічні проблеми, які є типовими для всього Карпатського регіону, має місце своя специфіка викликана транскордонним положенням, особливістю кліматичних умов, веденням традиційного господарства, тощо. Внаслідок нераціонального ведення лісового господарства, розорювання та підрізання схилів, прокладання доріг, випасу свійських тварин тощо, має місце руйнація гірських ландшафтів, знищення біорізноманіття, ерозія ґрунтового покриву, спостерігаються періодичні паводкові явища.

Наведений аналіз свідчить, що завдяки господарській діяльності людини гірські екосистеми стали досить вразливими і вимагають, якщо не повного заповідання, то принаймні бережного відношення та збалансованого використання. Проте для впровадження основних положень Карпатської конвенції та створення екологічно безпечних умов в регіоні необхідний аналіз та прогнозування шляхів збалансованого розвитку за умов сучасних викликів.

З метою мінімізації екологічної небезпеки для ґрунтового покриву гірських екосистем було запропоновано утилізацію деревних відходів методом екструзії із додаванням лігнінзв'язуючого компоненту.

Мета дослідження. Метою роботи є вивчення утилізації деревних відходів, як елементу підвищення рівня екологічної безпеки гірських екосистем.

Завдання дослідження.

- Характеристика перспектив використання некондиційних відходів деревини для виробництва біопалива;
- вивчити методику отримання паливних гранул із деревних відходів та визначення їх фізико-хімічних показників;

- аналіз досліджень формування паливних гранул методом екструзії

Методика дослідження передбачала вивчення та аналіз показників утворення та поводження з відходами на підприємствах регіону дослідження..

Загальна характеристика роботи. Регіоном дослідження служила Чернівецька область - найменша в Україні адміністративно-територіальна одиниця чисельністю населення до одного млн. осіб. Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та списку джерел літератури.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та списку джерел літератури. Перший розділ присвячений порівняльній характеристиці основних існуючих технологій утилізації твердих побутових відходів в світі та в Україні.

В другому розділі розглянуто аналіз системи збору біогазу в процесах утилізації твердих побутових відходів.

В третьому розділі розглянуто аналіз техногенної та екологічної безпеки регіону досліджень в контексті існуючих технологій поводження та утилізації твердих побутових відходів.

Робота нараховує 24 сторінок тексту, містить 2 таблиці та 5 рисунки, використано 26 джерел літератури.

Результати досліджень опубліковані в тезах 2-х наукових конференцій.

Ключові слова: технології, утилізація, екологічна безпека, деревні відходи, екструзія

Підпис керівника: _____