

Згідно з формою № Н-9.02
Наказ Міністерства освіти і
науки, молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та
безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему “Дослідження енергетичних витрат в процесі виробництва
деревинних паливних брикетів”

Виконав: студент 6 курсу, групи ДМТ-61м

Спеціальність 187 «Деревообробні та
меблеві технології»

Яремчук Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Андрашек Й.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кушпін А.С.
(прізвище та ініціали)

Львів-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут	Деревообробних технологій і дизайну
Кафедра	Технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності
Освітньо-кваліфікаційний рівень	Магістр
Спеціальність технології»	187 «Деревообробні та меблеві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

"15" вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУЯремчуку Дмитру Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: “Дослідження енергетичних витрат в процесі виробництва деревинних паливних брикетів”

Керівник роботи: Андрашек Йосип Володимирович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від “10” червня 2025 року № С- 344

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати теоретичні і експериментальні дослідження витрат теплової і електричної енергії в технологічному процесі виробництва паливних брикетів RUF на ТзОВ "Берест-М" з сухої подрібненої деревини. Приділити увагу до визначення витрат електричної для подачі подрібненої деревини до пресів для виготовлення брикетів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

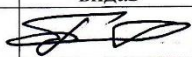
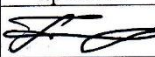
1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.

2. Дослідження енерговитрат в процесі виробництва паливних брикетів.

3. Охорона праці і довкілля.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Технологічна схема виготовлення деревних паливних брикетів та слайди з презентації результатів теоретичних і експериментальних досліджень

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доц. Сомар Г.В.		

7. Дата видачі завдання _____ 03.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз стану питання	до 01.09.25	
	Експериментальні дослідження	до 25.11.25	
	Обробка результатів експериментальних досліджень	до 10.12.25	
	Оформлення пояснювальної записки і підготовка презентації	до 15.12.25	

Студент



Яремчук Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



Андрашек Й.В.
(прізвище та ініціали)

Анотація

В магістерській роботі на тему: “Дослідження енергетичних витрат в процесі виробництва деревинних паливних брикетів” за літературними джерелами виконаний аналіз виробництва деревинних паливних брикетів в Європі і світі. Приведена структура основних видів виготовлення паливних брикетів з подрібненої деревини. Показані позитивні і негативні сторони виготовлення паливних брикетів різними способами. Це паливо розглядається як один із заміників викопного палива, такого як вугілля та нафта, для опалення та когенерації. Нині виробляються великі обсяги брикетів для великомасштабного виробництва тепла та електроенергії, щоб замінити вугілля стійкими енергетичними ресурсами. Приведений аналіз розвитку ринку деревинних паливних брикетів в Європі до 2035 року. Аналіз динаміки розвитку виробництва паливних брикетів показує на економічну доцільність їх виготовлення з точки зору перспективи розвитку Товариства з обмеженою діяльністю “Берест М”.

Виконаний аналіз стану технологічного процесу виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М”. Розроблена структурна технологічна схема етапів споживання електричної енергії виготовлення паливних брикетів на підприємстві. Детально проаналізовано споживання електричної енергії коли брикети виготовляються з кускових відходів (обзолні рейки і торцьові відрізки) і в процесі виготовлення з сухої тирси і стружки. Розроблена методика і проведені виробничі дослідження питомих витрат електричної енергії на різних стадіях технологічного процесу виготовлення деревинних паливних брикетів на даному підприємстві. Зроблене статистичне оброблення результатів виробничих досліджень споживання електричної енергії в процесі виконання всіх технологічних операцій виготовлення деревинних паливних брикетів. За результатами проведених досліджень запропоновані конкретні технологічні рекомендації з оптимізації і раціонального використання електричної енергії на підприємстві

ТзОВ “Берест М” в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів RUF.

Ключові слова: деревинні паливні брикети, подрібнена деревина, питомі витрати електричної енергії, енергоефективність, енергетичні переваги.

Abstract

In the master's thesis on the topic: "Study of energy costs in the process of production of wood fuel briquettes" according to literary sources, the analysis of the production of wood fuel briquettes in Europe and the world is carried out. The structure of the main types of production of fuel briquettes from shredded wood is given. The positive and negative aspects of the manufacture of fuel briquettes in different ways are shown. This fuel is considered as one of the substitutes for fossil fuels, such as coal and oil, for heating and cogeneration. Large volumes of briquettes are currently being produced for large-scale heat and power generation to replace coal with sustainable energy resources. An analysis of the development of the wood fuel briquettes market in Europe until 2035 is given. The analysis of the dynamics of the development of the production of fuel briquettes shows the economic feasibility of their production from the point of view of the development prospects of the Company with limited activity "Berest M".

An analysis of the state of the technological process for the manufacture of wood fuel briquettes at Berest M LLC was performed. A structural technological scheme of the stages of electricity consumption for the production of fuel briquettes at the enterprise has been developed. The consumption of electrical energy when briquettes are made from lumpy waste (ash slats and end segments) and in the process of manufacturing from dry sawdust and shavings is analyzed in detail. A methodology has been developed and production studies of specific electricity consumption at different stages of the technological process of manufacturing wood fuel briquettes at this enterprise have been carried out. Statistical processing of the results of production studies of electricity consumption in the process of performing all technological operations for the manufacture of wood fuel briquettes has been made. Based on the results of the research, specific technological recommendations for the optimization and rational use of electric energy at the enterprise of Berest M LLC were proposed, in the process of manufacturing, studies of energy consumption

in the technological process of manufacturing wood fuel briquettes RUF were performed.

Keywords: wood fuel briquettes, shredded wood, specific consumption of electricity, energy efficiency, energy advantages.

Зміст

1. Перспективи індустрії палива з біобрикетів	11
1.1. Ринок брикетного палива з біомаси	11
1.2. Основні види паливних брикетів та способи їх виробництва.....	16
1.3. Технологія виготовлення паливних брикетів RUF	20
1.4. Мета магістерської роботи і задачі виробничих досліджень.....	26
2. Методика і результати виробничих досліджень витрат електричної енергії.....	28
2.1. Методика досліджень витрат електричної енергії.....	28
2.2. Результати виробничих досліджень питомих витрат електричної енергії.	36
2.3. Висновки і технологічні рекомендації	45
3. Охорона праці.....	47
3.1. Техніка безпеки в технологічному процесі виробництва паливних брикетів	47
3.2. Заходи з пожежної безпеки.....	49
3.3. Екологічна безпека в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів.....	50
Список використаних джерел.....	52
Додатки.....	55

Вступ

Глобальне споживання енергії постійно зростає, і це породжує нагальні проблеми, які необхідно вирішити в короткостроковій перспективі. До 2006 року 79% глобального кінцевого споживання енергії належало джерелам викопного палива. Більша частина запасів мінеральної нафти розташована в кількох країнах, що створює нестабільний запас енергії. Крім того, використання викопного палива спричиняє численні екологічні проблеми, такі як локальне забруднення повітря та викиди парникових газів.

У 2016 році близько 18% світового кінцевого енергоспоживання припадало на відновлювані джерела енергії. Розвиток чистіших і відновлюваних джерел енергії з біомаси можна розглядати як частину вирішення проблеми залежності від викопного палива та глобального потепління. Однією з переваг є те, що біомаса доступна в усьому світі, і її можна виробляти та споживати на CO₂-нейтральній основі.

Деревні пелети є чистим відновлюваним паливом, яке в основному виробляється з сильно спресованої тирси, стружки та кори. Це паливо розглядається як один із заміників викопного палива, такого як вугілля та нафта, для опалення та когенерації. Нині виробляються великі обсяги пелет для великомасштабного виробництва тепла та електроенергії, щоб замінити вугілля стійкими енергетичними ресурсами. Однак деревні гранули також можна використовувати в побутових печах і котлах середньої потужності. Загалом торговельні потоки відбуваються між сусідніми країнами, але також має місце торгівля на великі відстані. Загальні міжнародні торговельні потоки включають експорт деревних пелет з Східної Європи до Швеції, Бельгії, Нідерландів та Великобританії.

Деякі регіони можуть мати набагато більше запасів біомаси для виробництва деревних пелет, ніж інші. В Європі деревообробна промисловість добре розвинена, але велика кількість побічних продуктів механічної

деревообробної промисловості все ще недостатньо використовується. На даний момент в Україні побічні продукти механічної обробки деревини дуже обмежено використовуються в целюлозно-паперовій промисловості та виробництві ДСП. Велика кількість лісопильних відходів все ще не використовується, а виробництво деревних пелет можна розглядати і як екологічне рішення, і як додаткову економічну вигоду. Однак витрати на виробництво деревних пелет необхідно детально оцінити перед запуском заводу з виробництва пелет.

Вартість виробництва деревних пелет залежить від кількох факторів, таких як біомаса та ціна електроенергії. Кращий економічний та стійкий аналіз проекту виробництва деревних пелет можна отримати, якщо витрати на виробництво та енергоспоживання оцінювати за інших рамок умов. Таким чином, загальною метою цього дослідження було визначити витрати на виробництво деревних пелет і споживання енергії в різних базових умовах на заході України.

1. Перспективи індустрії палива з біобрикетів.

1.1. Ринок брикетного палива з біомаси.

Обсяг світового ринку брикетного палива з біомаси у 2024 році становив близько 937,8 млн доларів США, і, за прогнозами, до 2034 року він зросте приблизно до 2201,71 млн доларів США зі сукупним річним темпом зростання (CAGR) приблизно 8,2% між 2025 і 2034 роками. У звіті аналізуються рушійні сили, обмеження/проблеми світового ринку брикетного палива з біомаси та їхній вплив на попит протягом прогнозованого періоду. Прогнозована динаміка зростання виробництва паливних брикетів показана на рисунку 1.1.

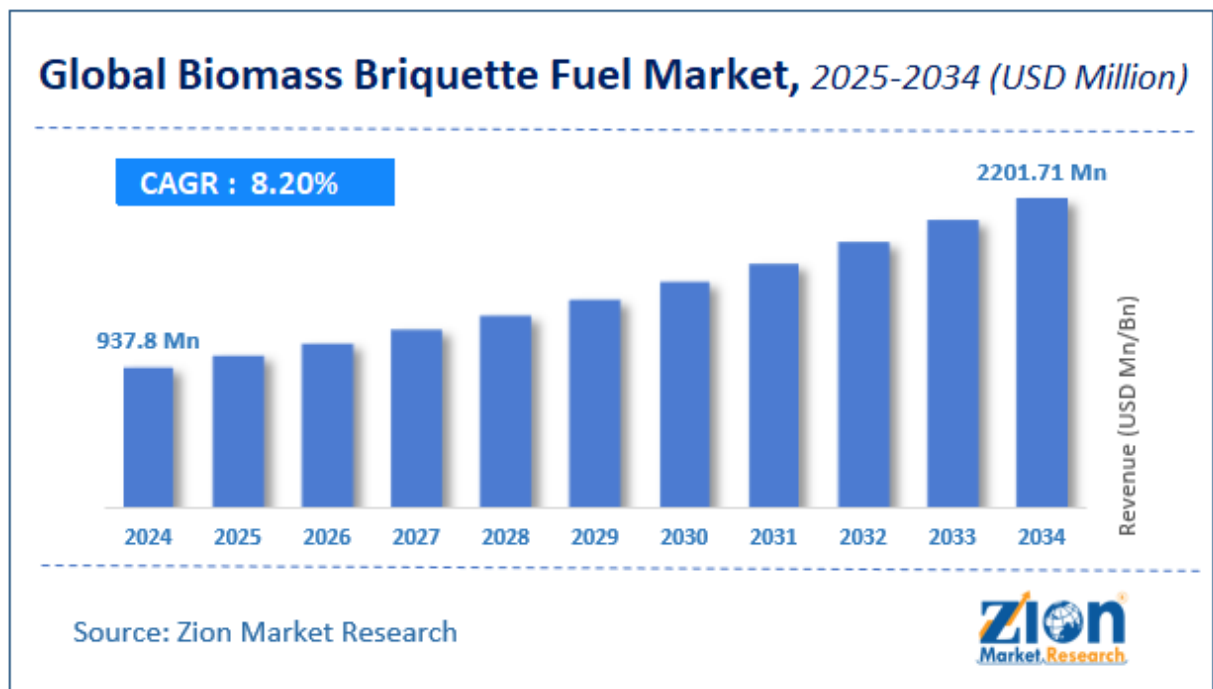


Рисунок 1.1. Прогнозована динаміка зростання виробництва паливних брикетів

Брикети з біомаси – це джерело енергії, що виробляється з використанням брикетів з біомаси. Це альтернативи біопаливу, виготовлені з біорозкладних та чистих зелених відходів. Порівняно з традиційним паливом, брикети з біомаси демонструють нижчі викиди вуглекислого газу та парникових газів. Вони широко використовуються як замітники шкідливого біопалива та застосовуються в кулінарії, опаленні та виробництві

електроенергії. Станом на 2024 рік брикети з біомаси набули надзвичайної популярності в розвинених країнах завдяки зростаючій увазі до споживання екологічно чистих продуктів та джерел енергії.

Біомасні брикети – це фізичні продукти, що використовуються для виробництва супутнього палива, і вони здебільшого виготовляються із зелених відходів у поєднанні з іншими органічними матеріалами. Вони складаються з таких продуктів, як багаса, рисове лушпиння, тверді побутові відходи, шкаралупа горіхів та сільськогосподарські відходи. Залежно від наявності сировини, точний склад біомасових брикетів може змінюватися. Оскільки матеріали, що використовуються у виробництві брикетів, вже є частиною вуглецевого циклу, споживання біобрикетного палива призводить до низьких чистих викидів парникових газів. Очікується, що галузь палива, отриманого з біомасових брикетів, набере високих темпів розвитку, оскільки обізнаність споживачів та застосування кінцевими користувачами стрімко зростають.

Згідно з аналізом, проведеним Biomass Briquette Fuel Market, світовий ринок брикетів з біомаси, за оцінками, зростатиме щорічно зі середньорічним темпом зростання близько 8,2% протягом прогнозованого періоду (2025-2034). Що стосується доходів, то обсяг світового ринку брикетного палива з біомаси у 2024 році оцінювався приблизно в 937,8 млн доларів США, а до 2034 року прогнозується, що він досягне 2201,71 млн доларів США. Прогнозується, що ринок палива з біобрикетів зростатиме значними темпами завдяки зростаючому попиту на відновлювані джерела енергії, суворим екологічним нормам, зростаючому впровадженню в промислове та житлове опалення, а також державним стимулам для екологічно чистих альтернатив паливу. Залежно від типу, очікується, що сегмент брикетів з тирси лідируватиме на світовому ринку. Виходячи із застосування, сегмент виробництва електроенергії зростає високими темпами та продовжуватиме домінувати на

світовому ринку. Виходячи з регіону, прогнозується, що Європа домінуватиме на світовому ринку протягом прогнозованого періоду.

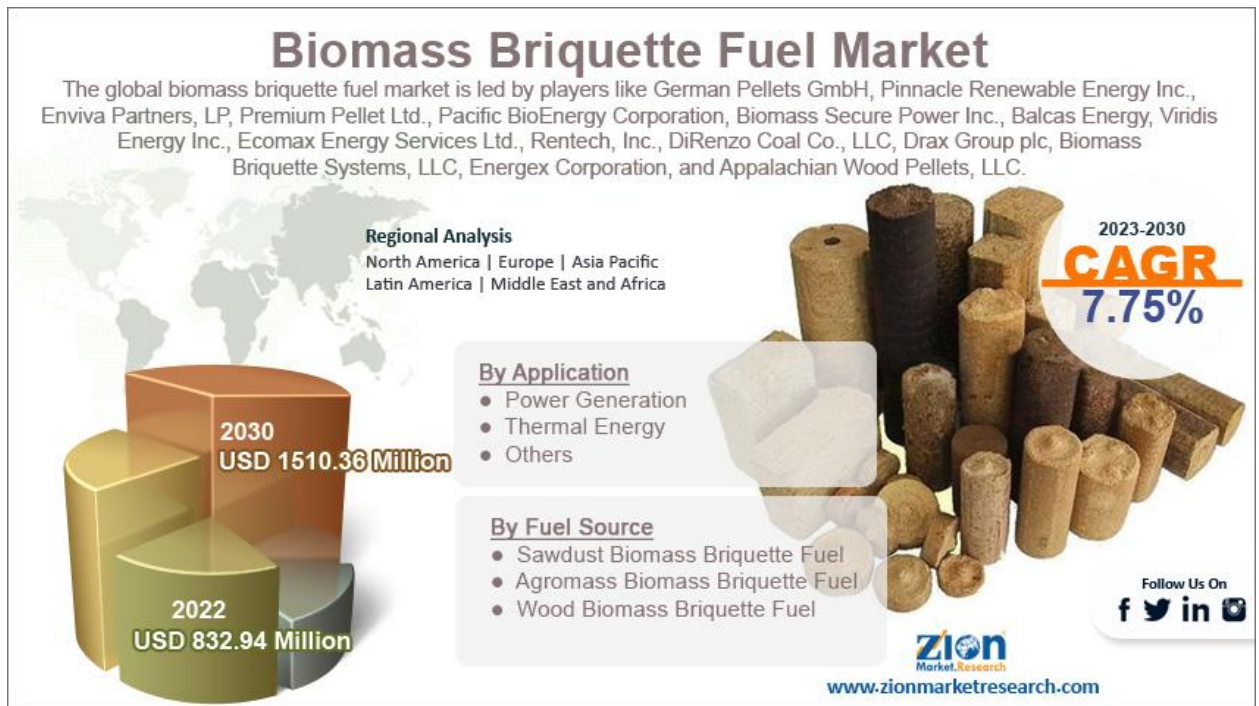


Рисунок 1.2. Лідери світового ринку паливних брикетів.

Прогнозується, що світовий ринок брикетного палива з біомаси зростатиме через зростання попиту на чисту енергію в усьому світі. Нестримне споживання невідновлюваного викопного палива для виробництва енергії призвело до величезного забруднення навколишнього середовища та негативного впливу на екосистему. Викиди шкідливих та отруйних газів, таких як вуглекислий газ, є основною причиною зростаючого занепокоєння щодо здоров'я серед населення. Крім того, відбулися значні зміни в моделях споживання, оскільки споживачі активно шукають способи просування використання чистої енергії, яка не залежить від викопного палива. Ці фактори, ймовірно, стимулюватимуть попит на паливо, вироблене з брикетів з біомаси, оскільки не тільки вихідні матеріали є відновлюваними та екологічно чистими, але й споживання цих варіантів палива не має суттєвого впливу на стан навколишнього середовища. У серпні 2023 року кабінет міністрів Німеччини оголосив про затвердження субсидій на відновлювану енергетику

на суму понад 12,6 мільярда євро. За даними Міжнародного енергетичного агентства, світові інвестиції в чисту енергетику досягли 1,7 трильйона доларів США у 2023 році.

Паливо, вироблене з використанням брикетів з біомаси, має кілька переваг. Наприклад, ці варіанти мають вищу енергетичну щільність порівняно з іншими біопаливами. Це означає, що теплова або електрична потужність брикетів з біомаси вища, що робить їх більш економічно ефективними. Однією з ключових переваг брикетів з біомаси є те, що їх можна виробляти вдома споживачами без необхідності промислового обладнання. Останнім часом багато країн повідомляють про домашнє виробництво брикетів з біомаси, що призводить до збільшення споживання палива, отриманого з них.

Зростання світового ринку брикетів з біомаси, ймовірно, буде обмеженим через обмежену обізнаність про переваги брикетів з біомаси. Наразі виробництво та споживання брикетів з біомаси значною мірою обмежується розвиненими країнами, чому сприяють такі фактори, як постійні дослідження та розробки, а також наявність інфраструктури для інвестування у великомасштабне виробництво брикетів з біомаси. Крім того, ринок традиційно використовуваного палива, такого як бензин та дизельне паливо, є величезним і його важко замінити. Майже всі країни продовжують значною мірою покладатися на викопне паливо як критично важливі джерела енергії. Мине багато років, перш ніж традиційні види палива відійдуть на другий план, дозволяючи сталим альтернативам зайняти лідерство, тим самим обмежуючи подальше споживання брикетів з біомаси, оскільки альтернативи легкодоступні та користуються перевагами зрілого ринку.

Прогнозується, що галузь брикетного палива з біомаси отримає кілька можливостей для зростання, створених завдяки постійним стратегічним партнерствам між учасниками ринку. Транскордонні ділові операції відкривають двері для нових інвестицій та заохочують інших гравців наслідувати цей приклад. Наприклад, у березні 2023 року Biofuel та Sai Vasudev Briquettes оголосили про початок стратегічної співпраці, оскільки

компанії роблять ще один крок у напрямку чистіших джерел енергії. Згідно з умовами та баченням партнерства, компанії надаватимуть брикетне паливо з біомаси на онлайн-платформі, що управляється Buuofuel, яка також має розгалужену мережу виробників біопалива, агрегаторів сировини, генераторів відходів та споживачів палива. У січні 2023 року інша компанія ProMart, торговий майданчик для бізнесу та постачальник рішень для ланцюгів поставок, розпочала свій шлях до комплексних закупівель брикетів з біомаси. Компанія задовольняє потреби в чистій енергії компаній зі списку Fortune 500 та співпрацюватиме лише з сертифікованими постачальниками брикетів з біомаси, які займаються високоякісною продукцією.

Очікується, що зростання інвестицій у виробництво брикетів з біомаси у великих масштабах допоможе пов'язаній з цим паливній промисловості досягти нових висот протягом прогнозованого періоду. У квітні 2022 року Корпорація з управління відходами Гоа (GWMC) в Індії оголосила, що виробничий об'єкт з виробництва брикетів з біомаси в Салігао потужністю 20 тонн на день запрацює до кінця року. Будівництвом та експлуатацією заводу займається уряд Гоа.

Виробництво брикетів з біомаси залежить від наявності сировини, яка використовується для приготування брикетів з біомаси. Крім того, якщо вміст вологи в брикеті перевищує необхідну норму, продукт втрачає свою корисність та ефективність. Управління кількістю зворотного потоку до ідеальних умов є додатковою проблемою в галузі, що займається виробництвом та постачанням брикетів з біомаси.

Глобальний ринок брикетів з біомаси сегментований за застосуванням, джерелом палива та регіоном.

Залежно від застосування, сегментами світового ринку є виробництво електроенергії, тепла енергія та інші. У 2022 році попит на виробництво електроенергії був найвищим через зростаючий акцент на виробництві чистої енергії та зменшенні залежності від традиційно використовуваного палива. Брикети з біомаси не впливають негативно на навколишнє середовище та їх

легко виробляти, оскільки зростають інвестиції у виробництво брикетів з біомаси. Зростання споживання та простота виробництва дозволяють здійснювати місцеве виробництво. Згідно з дослідженнями, брикети з біомаси мають енергетичну цінність у середньому від 4500 до 5000 кілокалорій на кілограм.

Залежно від джерела, сегментами галузі виробництва брикетів з біомаси є брикетне паливо з тирси, брикетне паливо з агромаси та брикетне паливо з деревної біомаси. У 2022 році найбільшим джерелом виробництва брикетів з біомаси були тирса. Це надзвичайно універсальний та корисний побічний продукт зростаючої деревообробної промисловості. Зростаюча кількість суворих правил щодо утворення відходів у деревообробній промисловості є основним фактором зростання. За оцінками, щороку утворюється понад 3,3 мільйона тонн деревних відходів.

1.2. Основні види паливних брикетів та способи їх виробництва.

У Європі використання деревних брикетів із кожним роком стає все більш популярним. В основі технології виробництва деревних паливних брикетів лежить процес пресування дрібно подрібнених сухих відходів деревини (тирси, трісок, кори). Брикети мають циліндричну або прямокутну форму і вагу від 500 грамів до 2 кг.

До основних видів паливних брикетів відносяться:

1. Прямокутні брикети (RUF-брикети). За формою такий брикет нагадує невелику цеглу. Вони отримали свою назву від німецького виробника брикетуючих пресів RUF. Брикет виготовляється на гідравлічних пресах, тобто за допомогою високого тиску близько 300-400 бар.



Рисунок 1.3. Загальний вигляд прямокутних брикетів (RUF-брикетів)

2. Циліндричні брикети - це брикети із радіальним отвором або без нього. Брикет виготовляється на гідравлічних або ударно-механічних пресах за допомогою високого тиску 400-600 бар.



Рисунок 1.4. Загальний вигляд циліндричних брикетів.

Перевагами обох цих технологій виготовлення брикетів є мінімальні вимоги до організації виробництва та низька собівартість. Недоліки: брикет не стійкий до вологи (необхідна добра упаковка), а також до механічних пошкоджень, що негативно позначається на його стані після тривалого транспортування.

3. Чотирьох або шестигранний Pini-Kayu брикет із радіальним отвором. Брикет виготовляється на механічних (шнекових) пресах за допомогою поєднання дуже високого тиску (1000-1100 бар) та термічної обробки (випал). За рахунок термічної обробки він має характерний чорний або темно-коричневий колір зовнішньої поверхні.



Рисунок 1.5. Загальний вигляд чотирьох або шестигранних Pini-Kayu брикетів.

Переваги такого типу брикетів: стійкість до механічних пошкоджень, висока вологостійкість. Брикет відрізняється високою калорійністю та довготривалим горінням. Недоліки: трудомісткість виробничого процесу, необхідність у висококваліфікованих спеціалістах, значна енергоємність і т.д.

Теплотворна здатність деревного брикету знаходиться в межах 4,5-5,0 кВт•год/кг. Така висока теплотворна здатність брикету досягається, з одного боку, завдяки великій питомій щільності після пресування, з іншого - за рахунок невеликої залишкової вологості (як правило, менше 10%).

Брикети, виготовлені з тирси хвойних порід, за рахунок вмісту смолистих речовин у процесі горіння швидко досягають максимальної температури, але й швидко згорають, на відміну від брикетів із листяних порід.

Досить цікавий продукт - паливні брикети, на 100% виготовлені з кори. Вони тліють не згораючи та дають жар тривалістю до 10-12 годин, тому їх використовують для підтримки у будинку комфортної температури протягом тривалого часу. Міцність брикету досягається за рахунок речовини, що міститься у деревині - лігніну, який розплавляється під дією температури та нагрівання.

Переваги деревних топливних брикетів у порівнянні з іншими видами твердого палива

- Теплотворна здатність брикетів 4,5-5,0 кВт•год/кг, тобто вище, ніж у дров, та може бути порівняна з окремими видами вугілля.
- На відміну від дров, брикети не потребують попередньої сушки.
- Паливні брикети горять із мінімальною кількістю диму, не "стріляють" та не іскрять.
- Довга тривалість горіння брикетів, у порівнянні зі звичайними дровами. Закладку у піч можна робити у декілька разів рідше.
- Постійна температура протягом усього горіння деревних брикетів (при довгій тривалості горіння).
- Низька зольність (0,5-1,0%). Після згорання паливних брикетів залишається попел, а не вугілля, як при спалюванні інших твердих видів палива.
- Брикети вимагають менше місця для складування та перевезення: одна європалета брикетів вагою 1 т (близько 1 м³) еквівалентна 3-4 кубічних метрів дров. Відповідно, суттєво знижуються витрати на транспортування та зберігання палива.

- Зручна розфасовка (в основному по 10 кг) дозволяє вивантажувати та складати їх вручну в гаражі, підвалі та навіть в коморі або на балконі квартири.
- Викид оксиду вуглецю в атмосферу при згорянні паливних брикетів мінімальний.
- Можливість тривалого зберігання брикетів без погіршення їх якісних характеристик, негативного впливу на навколишнє середовище та пожежобезпечність.
- Деревні паливні брикети мають широке застосування та можуть використовуватися для всіх видів топків, котлів, відмінно горять в камінах та печах, грилях і т. д.
- Зневоднення деревини вимагає значних витрат енергії як при прямому спалюванні, так і за попередньої сушки. Таким чином, енергетичне використання первинних видів деревного палива (дров) з відносною вологістю 45-60% в 1,8–3,5 рази знижує теплотворну здатність деревини.
- Вологовміст деревного палива істотно впливає також на механізми та ефективність процесів горіння та теплообміну. Стійке, стабільне горіння відбувається за вологості не більше 40-45%.

Спалювання такого виду деревного палива, як брикети, та використання для цього ефективного обладнання дозволяє отримати в 2-4 рази більше теплової енергії з наявного потенціалу паливної деревини, у порівнянні із технологіями спалювання первинних видів деревного палива (дров).

1.3. Технологія виготовлення паливних брикетів RUF

Оскільки ціни на енергоносії, такі як нафта та газ, продовжують зростати, деревина знову набула свого значення як джерело енергії. Вона доступна на місцевому рівні, стабільна за ціною та екологічно чиста. Одним із найефективніших способів використання деревної енергії є її виробництво у вигляді брикетів, таких як деревні брикети RUF .

Брикети RUF – це паливі брикети, що виготовляються з деревної тріски, тирси або інших деревних відходів. Вони названі на честь німецької компанії RUF, яка розробила спеціальне обладнання для їх виробництва. Брикети RUF – це ефективне та екологічно чисте паливо, яке широко використовується як у побуті, так і в промисловості для забезпечення теплом та енергією.

Брикети RUF виготовляються із сухої деревної тріски або тирси – повністю без будь-яких зв'язуючих речовин. Високий гідравлічний тиск розріджує природний лігнін, що міститься в деревині, який потім діє як зв'язуючий агент і формує брикет твердої форми. Перетворення сухих подрібнених відходів деревини (тирса, стружка) в паливні брикети ілюстративно показано на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6. Ілюстрація перетворення сухих подрібнених відходів деревини (тирса, стружка) в прямокутні брикети RUF.

Типові характеристики

Розміри: приблизно $155 \times 65 \times 100$ мм

Густина: приблизно 1000 кг/м³ (залежно від матеріалу)

Енергетична цінність: приблизно $5,0$ кВт·год/кг (18 МДж/кг)

Завдяки високій щільності та однорідному розміру, брикети RUF горять повільно та рівномірно, забезпечуючи тривале тепло.

Виробництво якісних брикетів вимагає правильної технології. Брикетувальні машини RUF для деревини спеціально розроблені для ущільнення деревних залишків у брикети високої щільності, готові до продажу. Загальний вигляд брикетувальної машини RUF показаний на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7. Загальний вигляд брикетувальної машини RUF.

Переваги брикетувальних систем RUF:

- Компактний дизайн – підходить для існуючого виробничого середовища;
- Plug & Press – швидке встановлення та введення в експлуатацію;
- Низькі експлуатаційні витрати – розроблено для ефективності та безвідмовної роботи;
- Повністю автоматизована робота 24/7;

- Надзвичайно міцний – створений для тривалого промислового використання.

Для брикетування можна використовувати різні матеріали на основі деревини – від дрібної тирси до грубої тріски. Вирішальним фактором є залишкова вологість нижче 12% . Стандарти якості, такі як DIN 51731 або Ö-Norm M7135, допомагають забезпечити стабільну якість продукції. Сертифіковані брикети проходять випробування на відповідність цим стандартам.

Основні переваги деревних брикетів RUF

- Збільшення доходу від продажу готового до продажу кінцевого продукту
- Не потрібні добавки – пресується лише з використанням натурального лігніну
- CO₂-нейтральне паливо – екологічне та екологічно чисте
- Вища енергетична цінність, ніж у дров
- Економія місця завдяки прямокутній формі.

На підприємстві ТзОВ “Берест М” де проводилися виробничі дослідження витрат енергії в технологічному процесі виготовлення паливних брикетів RUF для їх виготовлення використовуються сухі відходи від виробництва букових колодок.

Загальна технологічно-структурна схема виробництва паливних брикетів чи гранул показана на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8. Схема виробництва паливних брикетів чи гранул.

На підприємстві ТзОВ “Берест М” з загальної технологічної схеми не виконується технологічна операції сушіння, оскільки виготовлення паливних брикетів здійснюється з сухих відходів. Сухі відходи які утворилися після поздовжнього розкою, торцювання, стругання на чотирьохбічних верстатах і фрезерування апсраційною системою подаються в бункер накопичення перед пресом пресовальною машиною RUF. Друге джерело виготовлення деревинних паливних брикетів на даному підприємстві – сухі кускові відходи в вигляді обзольних рейок і торцьових відрізків. Для використання сухих кускових відходів для виготовлення брикетів їх спочатку подрібнюють на рубальній машині для виготовлення технологічної тріски. Для доведення технологічної тріски до необхідної фракційності її додатково подрібнюють на молотковій дробарці. Структурно-технологічна схема виготовлення паливних брикетів на ТзОВ “Берест М” показана на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9. Структурна схема виготовлення деревинних паливних брикетів RUF на ТзОВ “Берест М”.

На структурно-технологічній схемі показані основні технологічні і транспортні операції виготовлення паливних брикетів RUF для здійснення яких витрачається електрична енергія.

1.4. Мета магістерської роботи і задачі виробничих досліджень.

Структурно-технологічна схема виготовлення деревинних паливних брикетів враховує з яких саме відходів деревинина на ТзОВ “Берест М” проходить їх виготовлення. На структурній схемі показано саме ці технологічні і транспортні операції які в основному споживають електричну енергію в технологічному процесі виготовлення брикетів. Виходячи з цього була сформована мета досліджень і задачі які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети магістерської роботи.

Мета роботи – дослідити витрати електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М” для оптимізації енергоспоживання.

Для реалізації поставленої мети в магістерській роботі потрібно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз перспективи ринку деревинних паливних брикетів в Європі;
- розробити структурно-логічну схему споживання електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М” ;
- розробити методику дослідження визначення витрат електричної енергії в процесі виробництва паливних брикетів RUF
- здійснити виробничі дослідження витрат електричної енергії на стадіях виробництва паливних брикетів;
- зробити статистичну обробку результатів виробничих досліджень;
- проаналізувати витрати електричної енергії на основних стадіях виробничого процесу;

- запропонувати технічні рекомендації з оптимізації витрат електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М”.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М”.

Предмет дослідження – витрати електричної енергії на етапах технологічного процесу виготовлення деревинних паливних брикетів RUF на ТзОВ “Берест М”.

2. Методика і результати виробничих досліджень витрат електричної енергії.

2.1. Методика досліджень витрат електричної енергії.

Підприємство ТзОВ “Берест М” займається виготовленням колодок для щіток. Майже на сто відсотків свою продукцію підприємство експортує в країни Європи. Підприємство працює виключно з деревиною бука. Технологічний процес виготовлення колодок починається з розкрою круглих букових лісоматеріалів (колод) на необрізні дошки. Розкрій колод здійснюється на лісопильній рамі фірми, а для круглих лісоматеріалів діаметром більше 55 сантиметрів використовується горизонтальний стрічковопилковий верстат. В подальшому необрізні пиломатеріали складаються в сушильні штабелі і зберігаються в піднавісах перед завантаженням в сушильні камери. Підприємство оснащено котельнею яка працює на спалюванні сирих відходів деревини і трьома сушильними камерами конвективного типу. Сушіння пиломатеріалів в необрізних дошках безперечно зменшує коефіцієнт завантаження сушильних камер і збільшує тривалість сушіння. Але здатність букових пиломатеріалів до покороблення в процесі сушіння в конвективних камерах стало визначальним у виборі сушіння в необрізних дошках. Практика показала, що програємо в ефективності сушіння, але суттєво збільшуємо кількісний і, особливо, якісний вихід заготовок з необрізних пиломатеріалів в порівнянні з сушінням в заготовках чи обрізних дошках.

Сирі відходи у вигляді тирси повністю використовуються для забезпечення нормальної роботи котельні і не використовуються для виготовлення паливних брикетів. Кускові відходи лісопиляння (горбилі і торцьові відрізки) частково використовуються як паливо для котельні і в більшій мірі продаються для населення як паливні дрова. Кускові відходи для виготовлення паливних брикетів в даний час не використовуються.

Поснується дана обставина відсутністю обладнання (сушильних камер) для сушіння подрібненої деревини.

Сухі необрізні пиломатеріали розкрояються на заготовки необхідних розмірів за поздовжньо-поперечною схемою розкрою. В подальшому заготовки подаються на чотирьохсторонній строгальний верстат де формується поперечний перетин майбутніх колодок. В подальшому відбувається поперечний розкрій сухих струганих заготовок за довжиною на заготовки довжина яких відповідає потрібним розмірам колодок. Для формування готової колодки з необхідними розмірами, форми і отворів в колодці використовуються фрезерні, свердлильні і спеціальні верстати. Сухі відходи в вигляді тирси і стружки аспіраційною системою відбираються від різного обладнання і транспортуються в бункер-накопичувач пресової машини RUF. Загальний вигляд аспіраційної системи машинного цеху виготовлення колодок показаний на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1. Аспіраційна система машинного цеху виготовлення колодок.

Сухі кускові відходи (обзолні рейки і торцьові відрізки) переробляються на технологічну тріску на рубальній машині. Загальний вигляд рубальної машини показаний на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2. Рубальна машина для подріблення сухих кускових букових відходів.

Для додаткового подріблення технологічної тріски до розмірів необхідних для виготовлення деревинних паливних брикетів використовується молоткова дробарка.

В подальшому після молоткової дробарки суха подрібнена деревина подається (як і суха тирса і стружка) в бункер-накопичувач з рухомим дном. Рухоме дно виконане у формі мотовила і запобігає злежуванню подрібненої деревини на дні бункера. Відбір сухої подрібненої деревини для подальшого використання здійснюється знизу за допомогою дозатора. Після дозатора шнековим транспортером суха подрібнена деревина подається на першу ступінь брикетувальної машини RUF. Загальний вигляд бункера-накопичувача з дозатором показаний на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3. Загальний бункера-накопичувача з дозатором.

Процес виготовлення деревинних паливних брикетів на брикетувальній машині RUF відбувається наступним чином. Загальна структурно-логічна схема роботи брикетувальної машини RUF показана на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4. Структурно-логічна схема роботи роботи пресувальної машини RUF.

Суха подрібнена деревини шнековим транспортером подається в бункер завантаження брикетувальної машини. Бункер оснащений мотовилом (перемішувачем) для постійного перемішування подрібненої деревини яка поступає в бункер для попередження осідання і рівномірної подачі сухої тирси чи стружки в шнек-дозатор. За допомогою шнека-дозатора відбувається подача матеріалу (сухої подрібненої деревини) в камеру преса для попереднього формування профілю майбутнього брикета. В камері попереднього пресування подрібнена деревина стискається до густини 250-300 кг/м³. Наявність шнека-дозатора дозволяє регулювати кількість подрібненої деревини яка подається камеру попереднього пресування. Завдяки цьому можна регулювати густину майбутніх деревинних паливних брикетів. Форма поперечного перетину формується в камері попереднього пресування і залишається не змінною впродовж всього циклу виготовлення брикета в брикетувальній машині RUF. Також не змінним залишається хід вертикального поршня камери преса для попереднього пресування. Подаючи більшу чи меншу кількість сухої подрібненої деревини в камеру змінюватися може тільки густина попередньо спресованого брикета, а його фактичні розміри (об'єм) залишається постійним. Дана обставина була використана в дослідженнях для встановлення зміни питомих витрат електричної енергії в залежності від густини готового брикета. Тобто шляхом регулювання кількості подрібненої деревини яка подається в камеру попереднього пресування легко задавати необхідну густину готового брикета. Для формування самих брикетів в брикетувальній машині використовуються два преси які по чергово завантажуються попередньо сформованими брикетами. В цих пресах форма поперечного перетину брикета залишається не змінною, а за допомогою поршня формується товщина готового брикета. Слід зауважити, що за товщиною готові брикети мають однакові розміри. Тобто не залежно від того яка була густина попередньо сформованого брикета його кінцеві розміри залишаються однаковими. Іншими словами можна сказати, що розміри і об'єм готових брикетів завжди однакові, а змінюючи дозування подачі кількості

сухої подрібненої деревини в камеру попереднього пресування можна досягти різної густини готових брикетів. Загальний вигляд брикетувальної машини RUF на якій проводилися виробничі дослідження на ТзОВ “Берест М” показаний на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5. Загальний вигляд брикетувальної машини RUF на ТзОВ “Берест М”

Вироблені брикети вкладають на піддони і повністю упаковують в поліетиленову плівку для попередження сорбції вологи з оточуючого середовища до моменту використання. На ТзОВ “Берест М” виробляється орієнтовно 6-7 тонн брикетів протягом доби

2.2. Результати виробничих досліджень питомих витрат електричної енергії.

Використання деревинних паливних брикетів для застосування їх як палива в сучасних котельнях які використовуються для обігріву будинків

знаходить все більше поширення. Основні капіталовкладення для організації виробництва паливних гранул складаються з вартості самої брикетувальної машини і додаткового обладнання для подачі сухої подрібненої деревини і її зберігання в бункерах-накопичувачах. Таке виробництво деревинних паливних брикетів організоване на ТзОВ “Берест М” де вони виготовляються з сухої тирси і стружки, а також з сухих кускових відходів. Для використання сухих кускових відходів на підприємстві встановлені рубальна машина і молоткова дробарка. Дане обладнання необхідне для переробки сухих кускових відходів в подрібнену деревину необхідної фракційності. У випадку коли для виробництва деревинних паливних брикетів будуть використовуватися сирі відходи у вигляді кускових відходів чи тирси необхідно встановлювати сушильне обладнання для сушіння подрібненої деревини.

В умовах підприємства ТзОВ “Берест М” де деревинні паливні брикети виготовляються з сухих відходів основні витрати енергії на їх виробництво пов'язані з споживанням електричної енергії. Дослідження на витрати електричної енергії на одиницю вироблених брикетів проводили протягом місяця серпня 2025 року роботи заводу. Електрична енергія використовується для транспортування сухої тирси і стружки за допомогою аспіраційної системи до бункера-накопичувача. Також електроенергія використовується рубальною машиною для подрібнення сухих кускових відходів (обзолних рейок і торцьових відрізків) на технологічну тріску, молотковою дробаркою для подрібнення технологічної тріски на подрібнену деревину необхідної фракційності. Певна частина електричної енергії використовується для забезпечення роботи бункера-накопичувача і транспортування сухої подрібненої деревини до брикетувальної машини RUF. Основне споживання електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів – це брикетувальна машина RUF де власне відбувається процес виготовлення брикетів з сухої подрібненої деревини. Для проведення досліджень витрат електричної енергії на різних стадіях технологічного циклу

виготовлення деревинних паливних брикетів використовувалися електричні трьохфазні лічильники з трансформаторами струму. Загальний вигляд лічильників обліку електричної енергії показаний на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6. Фото трьохфазних лічильників з трансформаторами струму для обліку електричної.

Заміри проводили за результатами споживання електроенергії на протязі чотирьох годин роботи всього обладнання з виготовлення деревинних паливних брикетів. Такі заміри виконували десь разів протягом місяця роботи відділення з виробництва брикетів. Після проведення статистичного оброблення результатів досліджень отримали середньозважені показники питомих витрат електричної енергії на всіх стадіях технологічного процесу виробництва деревинних паливних брикетів. Результати досліджень приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Середньозважені показники питомих витрат електричної енергії на всіх стадіях технологічного процесу виробництва деревинних паливних брикетів

Виробничі операції	Питомі витрати електроенергії на виробництво брикетів RUF, МДж/т	
	З сухої стружки	З технологічної тріски
Отримання стружки	84,6	
Рубальна машина		98,5
Молоткова дробарка		96,6
Аспіраційна система	8,4	6,3
Бункер-накопичувач	5,1	7,1
Брикетувальна машина RUF	178,7	182,7
Разом:	276,8	391,2

За результатами питомих витрат електричної на всіх стадіях технологічного процесу виробництва деревинних паливних брикетів побудована номограма порівняння витрат на різних стадіях. Діаграма витрат електричної на всіх стадіях технологічного процесу виробництва деревинних паливних брикетів показана на рисунку 2.7.

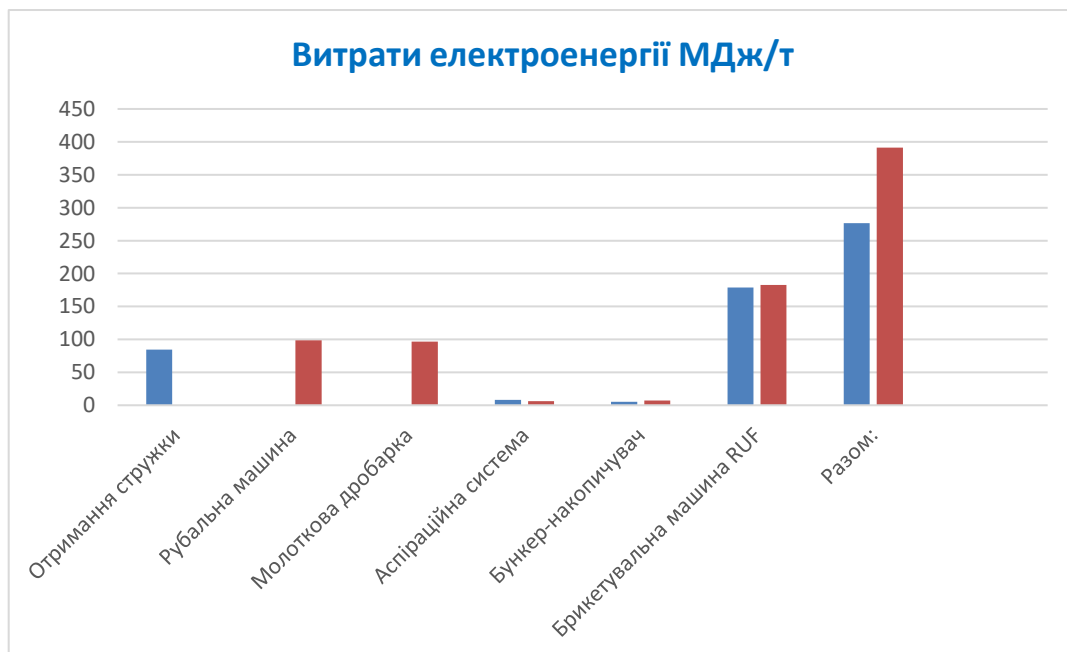


Рисунок 2.7. Діаграма питомих витрат електричної енергії на всіх стадіях технологічного процесу виробництва деревинних паливних брикетів

Окремо були виконані дослідження питомих витрат електричної енергії брикетувальною машиною RUF в залежності від густини деревинних паливних брикетів. Результати досліджень показані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Питомі витрати електричної енергії брикетувальною машиною RUF в залежності від густини деревинних паливних брикетів.

Густина брикетів кг/куб.метр	Питомі витрати електроенергії МДж/т
800	193,4
850	187,4
900	182,7
950	185,2
1000	188,4

Графічна інтерпретація досліджень питомих витрат електричної енергії брикетувальною машиною RUF в залежності від густини деревинних паливних брикетів показана на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8. Діаграма питомих витрат електричної енергії брикетувальною машиною RUF в залежності від густини деревинних паливних брикетів.

Індекс енергоефективності брикетів стосовно питомих витрат електричної енергії виконували за методикою приведеною на рисунку 2.9.

Показник енергетичної ефективності використання брикетів (E_{Γ}):

$$E_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{C_{\Gamma}} = \frac{Q_{\Gamma}}{C_{\Gamma}} \quad (2)$$

де: V_{Γ} – енергетичні вигоди від використання брикетів заданої маси, еталонно прийнято відносити до 1 кілограма ваги брикетів;

C_{Γ} – витрати електричної енергії на виготовлення 1 кілограма брикетів;

Q_{Γ} – питома (масова) теплотворна здатність брикетів;

Рисунок 2.9. Методика визначення показника енергетичної ефективності деревинних паливних брикетів стосовно питомих витрат електричної енергії на їх виготовлення.

Показник енергетичної ефективності деревинних паливних брикетів стосовно питомих витрат електричної енергії на їх виготовлення становить:

$$E_{\Gamma} = \frac{17,8}{0,39} = 45,64$$

Висновки і технологічні рекомендації

1. За результатами літературного огляду приведені критерії доцільності і раціональності виготовлення деревинних паливних брикетів як з огляду економічності так і екологічних показників їх використання для отримання теплової енергії.
2. Деревинні паливні брикети відносяться до відновлювальних джерел енергії і в повній мірі можуть розглядатися як альтернатива викопному паливу для виробництва як теплової так і електричної енергії.
3. Розроблена методика і проведені дослідження питомих витрат електричної енергії на всіх стадіях виробництва деревинних паливних брикетів RUF на підприємстві ТзОВ “Берест М”.
4. Встановлена залежність питомих витрат електричної енергії від густини брикетів виготовлених з сухої подрібненої букової деревини.
5. Мінімальна витрата електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів RUF з сухих букових відходів встановлена для їх густини 900 кг/м^3 .

3. Охорона праці

3.1. Техніка безпеки в технологічному процесі виробництва паливних брикетів.

У відповідності до ДСТУ 12.0.003-2014*. ССБТ до суттєвих небезпечних, а також шкідливих факторів в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів RUF відносяться:

- рухомі елементи обладнання і машини які використовуються на всіх стадіях виробничого процесу виготовлення деревинних паливних брикетів;
- електричні машини (двигуни) які використовуються в робочому устаткуванні;
- значний рівень вібрацій;
- в багатьох випадках має місце низька освітленість робочих зон на різних етапах технологічного процесу виготовлення деревинних паливних брикетів.

Виходячи з вище приведених факторів для забезпечення правил техніки безпеки з метою попередження отримання виробничих травм чи пошкоджень необхідно дотримуватися норм поведінки при роботі з технологічним обладнанням яке використовується для виготовлення деревинних паливних брикетів RUF на підприємстві ТзОВ “Берест М” які приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Організаційні і технічні міроприємства для забезпечення безпечних умов праці

№ з/п	Назва фактора	Джерело утворення	Заходи щодо запобігання небезпеці і уникненні травмувань
1	Рухомі машини	Автонавантажувач	-забезпечення твердого покриття на ділянці роботи ; - відповідність маси вантажу, що підіймається, допустимим нормам навантаження.
2	Пересувні частини робочого устаткування	Вагонетка	-оснащення вагонеток пристроями для фіксації їх на рейках в нерухомому положенні;
4	Підвищений рівень шуму	Вентилятори	- чергування періодів роботи і відпочинку оператора; - застосування спеціальних технічних засобів шумогасіння; - використання засобів індивідуального захисту від шуму.
5	Недостатня освітленість робочої зони	-	-встановлення додаткових освітлювальних пристроїв у виробничих приміщеннях; -встановлення пристроїв для зовнішнього освітлення на території цеху.

Також необхідно дотримуватися вимог стосовно забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці в цеху виготовлення деревинних паливних брикетів RUF на підприємстві ТзОВ “Берест М” . Дані вимоги які відповідають усталеним нормативам згідно ДБН В.2.5-28-2006 наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Норми для забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці в цеху з виготовлення деревинних паливних брикетів

№ з/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Одиниці вимірювання	Нормативне значення фактора	Нормативний документ, що регламентує гранично допустимі значення
1	Рівень віброшвидкості (віброприскорення)	дБ	меше 110	ДСН 3.3.6-039-99 [13]
2	Рівень звукового тиску	дБ	меше 60	ДСН 3.3.6-037-99 [18]
3	Освітленість	лк	200	ДБН В.2.5-28-2006 [8]
4	Коефіцієнт природної освітленості	%	3	ДБН В.2.5-28-2006 [8]
Мікроклімат у приміщенні:				
5	температура повітря	°C	18...27	ДСН 3.3.6.042-99 [15]
6	швидкість руху повітря	м/с	0,3	ДСН 3.3.6.042-99 [15]
7	відносна вологість повітря	%	40...60	ДСН 3.3.6.042-99 [15]

3.2. Заходи з пожежної безпеки

Стосовно категорії пожежонебезпечності приміщення цеху з виготовлення деревинних паливних брикетів RUF на підприємстві ТзОВ “Берест М” у відповідності до НАПБ Б.03.002-2007 відноситься за пожежонебезпечної категорії “В”. В приміщенні де працює оператор брикетувальної машини RUF відсутні вогнегасники, також не має пристроїв

пожежної сигналізації. Тобто приміщення не відповідає вимогам НАПБ Б.03.001-2004, оскільки згідно даного документу всі виробничі приміщення незалежно від їхнього призначення мають бути оснащені переносними чи іншими рухомими вогнегасниками.

У відповідності до НАПБ А.01.001-2004 необхідно виконати міроприємства для забезпечення цеху хоча б первинними засобами для пожежогасіння. То необхідно встановити пожежний щит (пост). На щиті для пожежогасіння повинні бути присутні такі пристосіблення:

- вуглекислотні чи інші вогнегасники – мінімум 3 шт.;
- ящик місткістю 1,0 м³ наповнений піском – 1 шт.;
- покривало виготовлене з негорючого, а також теплоізоляційного матеріалу мінімальним розміром 2×2 м – 1 шт.;
- спеціальні гаки – мінімум 3шт.;
- металеві лопати – 2 шт.

3.3. Екологічна безпека в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів

На підприємстві доцільно виконати інвентаризацію всіх джерел які можуть бути причиною викидів в атмосферу. Особливу увагу звернути на бункер-накопичувач де зберігається суха подрібнена деревина. Даний пристрій повинен бути оснащений фільтрувальною установкою або правильно підібраним циклоном для не допущення викиду дрібнодисперсних частнок сухої деревини в оточуюче середовище. Допустимі викиди не повинні перевищувати встановлених допустимих норм. Якщо викиди перевищують встановлені норми то необхідно отримати дозвіл на викиди в довкілля яке видає Державне управління охорони навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Андрашек Й. В. Мультимедійний конспект лекцій з дисципліни “Технологія сушіння і захист деревини” в форматі PDF. – Львів, 2023. – 675 с.
2. Андрашек Й.В., Курка Р.Р., Петросюк О.М., Реалізація математичної моделі розподілу полів вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясена. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2024. № Вип. 34(2), 116-123. <https://doi.org/10.36930/40340215>
3. Кійко О.А. Статистичні методи підвищення якості продукції деревооброблення. – Львів: Панорама. – 228 с.
4. Максимів В.М., Андрашек Й.В., Щупаківський Р.Б. Використання методу високочастотної денситометрії для оцінки зміни щільності деревини дуба при термічному модифікуванні в середовищі вуглекислого газу. Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. - техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – вип.10 – С.83-90.
5. Щупаківський Р.Б. Закономірності термічного модифікування деревини дуба у вуглекислому газі: дис. канд. тех. наук: 05.23.06. – Львів, 2013. – 164 с.
6. ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ Інженерне обладнання будинків і споруд ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ БУДИНКІВ І СПОРУД ДБН В.2.5-27-2006
7. ПРАВИЛА УЛАШТУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://misksvitlo.if.ua/wp-content/uploads/2015/09/Правила-улаштування-електроустановок.pdf>
8. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : http://www.techno-cobalt.com.ua/up/files/normativna_baza/files/pozharka/napb.pdf

9. Про затвердження Типових норм належності вогнегасників (НАПБ Б.03.001-2004) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0554-04>
10. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2004) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1410-04>
11. ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ. ДБН В.2.5-28-2006 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>
12. DIN 51731 – Test of solid fuels – Compressed untreated wood Requirements and testing, Deutsches Institut für Normung. 1996.
13. SS 187120. Biofuels and peat – Fuel pellets –Classification. Swedish Standards Institution. 1998.
14. ÖNORM M 7135 – Presslinge aus naturbelassenem Holz oder naturbelassener Rinde – Pellets und Briketts – Anforderungen und Prüfbestimmungen. Österreichisches Normungsinstitut. 2000.
15. Chen S. Life Cycle Assessment of wood pellet. Master Thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2009.
16. Chojnacki J., Ondruska J., Kuczyński W., Šooš L. and Bałasz B. Emissions from the combustion of solid biofuels. IX International Scientific Symposium “Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture”, Lublin, Poland, 2017.
17. GAIN (Global Agricultural Information Network) Report. EU-28 Biofuels Annual 2019. Number: NL1902, 2019.
18. EXECUTIVE SUMMARY OF WOOD PELLET FUEL MARKET Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2022-2032

19. Marczak H. Analysis of the energetic use of fuel fractions made of plastic waste. *Journal of Ecological Engineering*, 20(8), 2019, 100-106.
20. Wisz J. and Matwiejew A. Biomasa – badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania. *Energetyka*, 9 (615), 2005, 631-637.

Додатки

Деревні паливні брикети

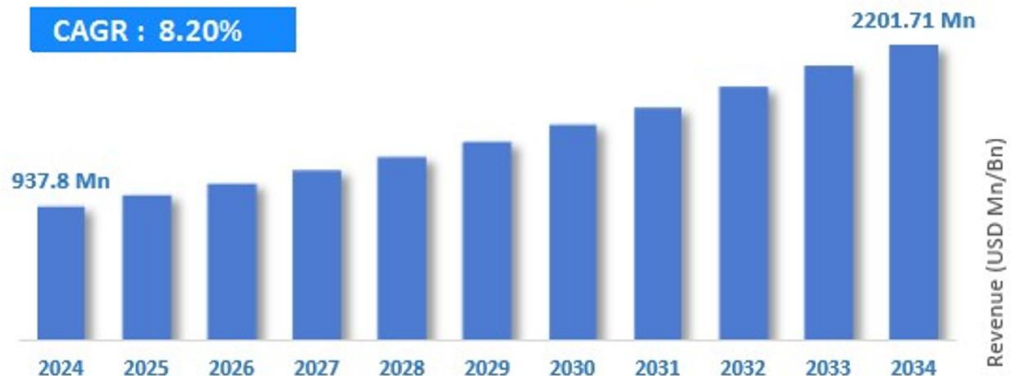


* Деревні брикети – це джерело енергії, що виробляється з використанням біомаси. Це альтернативи біопаливу, виготовлені з біорозкладних та чистих зелених відходів. Порівняно з традиційним паливом, брикети з біомаси демонструють нижчі викиди вуглекислого газу та парникових газів. Вони широко використовуються як замітники шкідливого біопалива та застосовуються в кулінарії, опаленні та виробництві електроенергії.

2

Статистика і перспективи розвитку глобального ринку паливних брикетів

Global Biomass Briquette Fuel Market, 2025-2034 (USD Million)

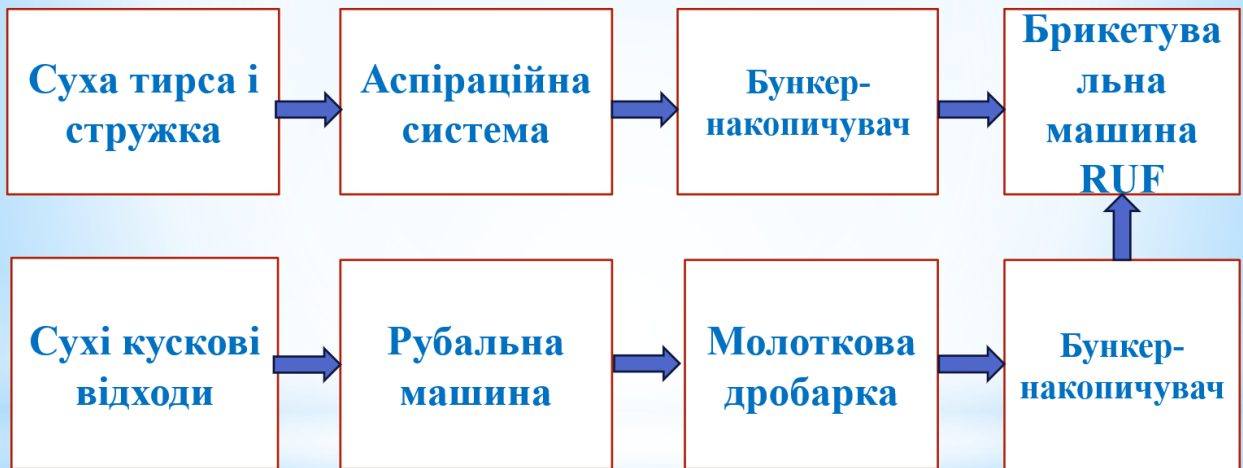


Source: Zion Market Research

Zion
Market Research

3

Структурна схема виготовлення брикетів RUF на ТзОВ “Берест М”



4

Питома потреба в електричній енергії (C_{ϵ}) для виготовлення брикетів визначається:

$$C_{\epsilon} = C_{\text{т.ст.}} + (C_{\text{руб.}} + C_{\text{м.дроб.}}) + C_{\text{аспір.}} + C_{\text{б.н.}} + C_{\text{бр.м.}}$$

де: $C_{\text{т.ст.}}$ – витрати електричної енергії на етапі отримання сухої тирси і стружки;

$C_{\text{руб.}}$ – витрати електричної енергії на виготовлення технологічної тріски;

$C_{\text{м.дроб.}}$ – витрати електричної енергії в молотковій дробарці;

$C_{\text{аспір.}}$ – витрати електричної енергії на транспортування деревних відходів;

$C_{\text{б.н.}}$ – витрати електричної енергії в бункері-накопичувачі;

5 $C_{\text{бр.м.}}$ – витрати електричної енергії в брикетуючій машині RUF.

Мета роботи - дослідити витрати електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М” для оптимізації енергоспоживання.

6

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М”.

Предмет дослідження – витрати електричної енергії на етапах технологічного процесу виготовлення деревинних паливних брикетів RUF на ТзОВ “Берест М”.

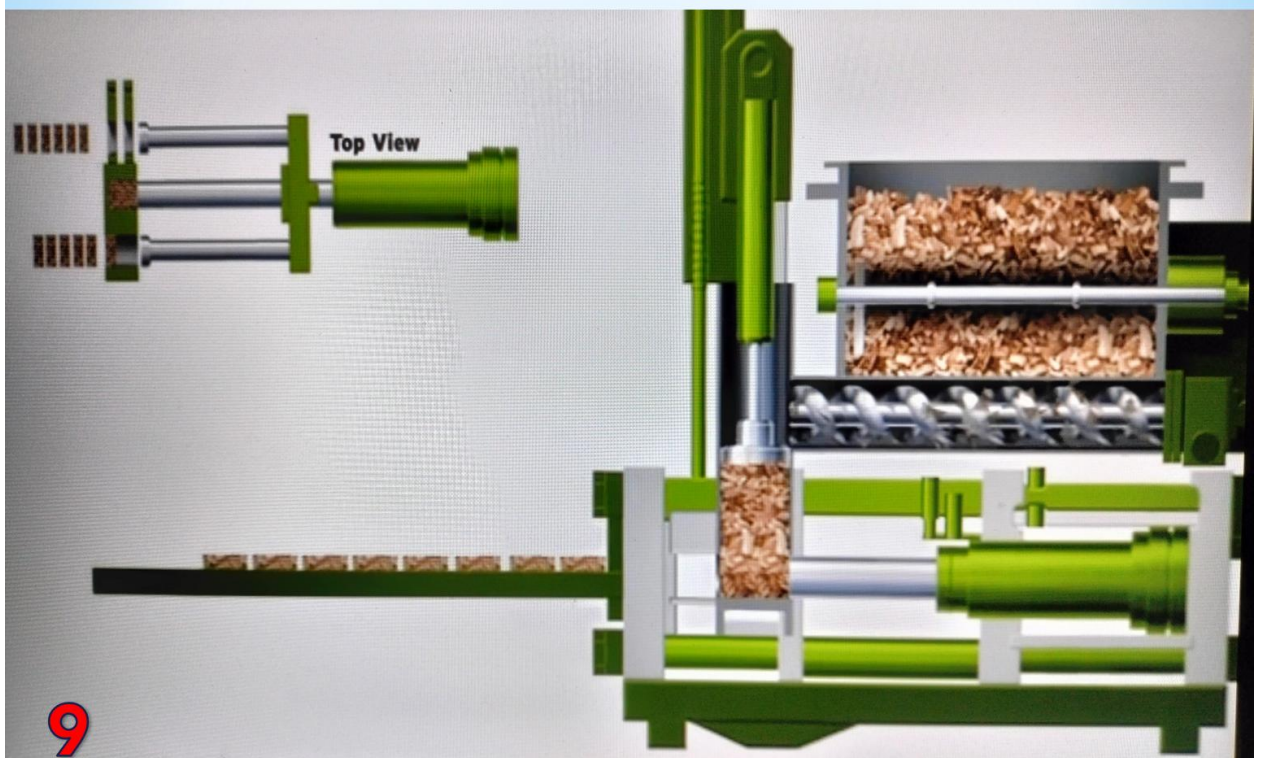
7

Задачі досліджень:

- -виконати аналіз перспективи ринку деревинних паливних брикетів в Європі;
- -розробити структурно-логічну схему споживання електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М” ;
- -розробити методику дослідження визначення витрат електричної енергії в процесі виробництва паливних брикетів RUF
- -здійснити виробничі дослідження витрат електричної енергії на стадіях виробництва паливних брикетів;
- -зробити статистичну обробку результатів виробничих досліджень;
- -проаналізувати витрати електричної енергії на основних стадіях виробничого процесу;
- -запропонувати технічні рекомендації з оптимізації витрат електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів на ТзОВ “Берест М”.

8

Принцип роботи брикетувальної машини RUF



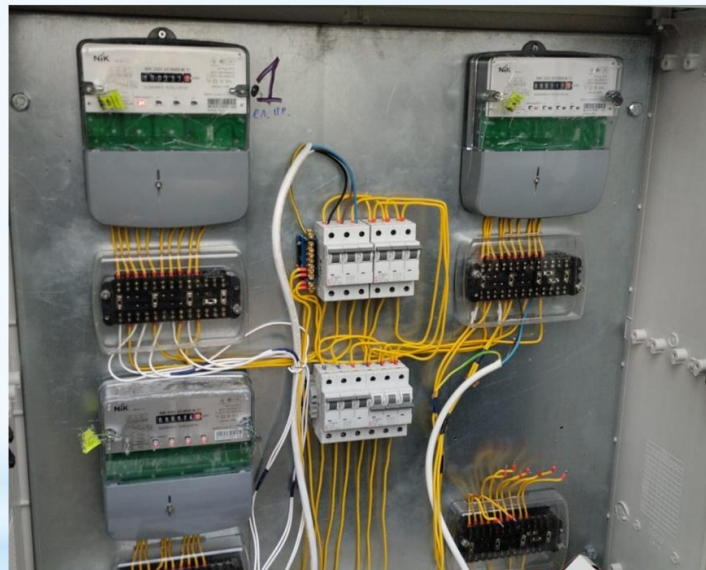
9

Обладнання для виробництва брикетів



10

Лічильники обліку електроенергії з трансформаторами струму



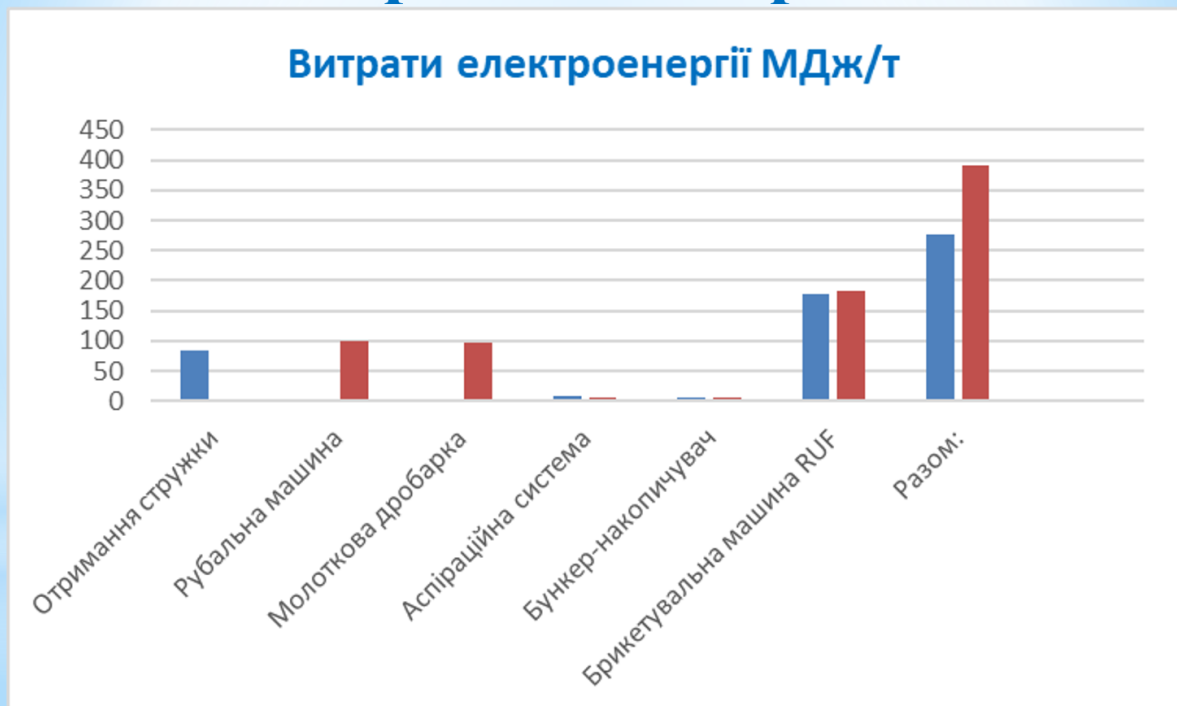
- 1-брикетувальна машина RUF ;
 2-рубальна машина і молоткова дробарка;
 1 1 3-аспіраційна система і бункер накопичувач.

Питомі витрати електроенергії для виробництва брикетів

Виробничі операції	Питомі витрати електроенергії на виробництво брикетів RUF, МДж/т	
	З сухої стружки	З технологічної тріски
Отримання стружки	84,6	
Рубальна машина		98,5
Молоткова дробарка		96,6
Аспіраційна система	8,4	6,3
Бункер-накопичувач	5,1	7,1
Брикетувальна машина RUF	178,7	182,7
Разом:	276,8	391,2

12

Діаграма витрат електроенергії для виробництва брикетів



13

Залежність питомих витрат електроенергії від густини брикетів, МДЖ/т

Густина брикетів кг/куб.метр	Питомі витрати електроенергії МДЖ/т
800	193,4
850	187,4
900	182,7
950	185,2
1000	188,4

14

Залежність питомих витрат електроенергії від густини брикетів, МДЖ/т



15

Показник енергетичної ефективності використання брикетів (E_{Γ}):

$$E_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{C_{\Gamma}} = \frac{Q_{\Gamma}}{C_{\Gamma}} = \frac{17,8}{4,5} = 45,64$$

де: V_{Γ} – енергетичні вигоди від використання брикетів заданої маси, еталонно прийнято відносити до 1 кілограма ваги брикетів;

C_{Γ} – витрати електричної енергії на виготовлення 1 кілограма брикетів;

Q_{Γ} – питома (масова) теплотворна здатність брикетів;

ВИСНОВКИ

1. За результатами літературного огляду приведені критерії доцільності і раціональності виготовлення деревинних паливних брикетів як з огляду економічності так і екологічних показників їх використання для отримання теплової енергії.
2. Деревинні паливні брикети відносяться до відновлювальних джерел енергії і в повній мірі можуть розглядатися як альтернатива викопному паливу для виробництва як теплової так і електричної енергії.
3. Розроблена методика і проведені дослідження питомих витрат електричної енергії на всіх стадіях виробництва деревинних паливних брикетів RUF на підприємстві ТЗОВ “Берест М”.
4. Встановлена залежність питомих витрат електричної енергії від густини брикетів виготовлених з сухої подрібненої букової деревини.
5. Мінімальна витрата електричної енергії в технологічному процесі виготовлення деревинних паливних брикетів RUF з сухих букових відходів встановлена для їх густини 900 кг/м³.