

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра технології зерна і комбікормів



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему

«НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА»

Здобувача Кондрашова Г.О.

2 курсу, групи ТЗХ – 61 г

Керівник доц. Бордун Т.В.

Консультант проф. Басюркіна Н.Й.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 04.12 2023 р., протокол № 12.

Завідувачка кафедри ТЗіК _____ Макаринська А.В.

Одеса – 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Технології зерна і зернового бізнесу
Кафедра	Технології зерна і комбікормів
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	181 «Харчові технології»
Освітня програма	«Технології зберігання і переробки зерна»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Макаринська

Алла Василівна

« 21 » грудня 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кондрашова Георгія Олександровича

1. Тема роботи Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива

Затверджена наказом університету від 21.12.2022 р. наказ №958-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 04 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані роботи матеріали переддипломної практики

4. Перелік питань, які потрібно розробити

техніко-економічне обґрунтування, проблеми та перспективи виробництва твердого біопалива з рослинної біомаси, сучасний стан і перспективи розвитку українського та європейського ринку твердого біопалива, класифікація і характеристика твердого біопалива, характеристика сировини для виробництва твердого біопалива, вимоги до якості твердого біопалива, загальна методика, об'єкт і методи дослідження, теоретичне та експериментальне обґрунтування технології виробництва твердого біопалива, технологічна частина (аналіз схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива, розрахунок ємності складів для зберігання сировини та готової продукції, розрахунок технологічного, транспортного обладнання, ємності оперативних бункерів, проектування внутрішньоцехової комунікації, технохімічний та технологічний контроль виробництва), охорона праці, оцінка економічної ефективності будівництва цеху з виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначення обов'язкових креслень)

Схема технологічного процесу (б/м) – 1 аркуш

Плани поверхів (М 1:50) – 1 аркуш

Розрізи (поздовжній, поперечний, М 1:50) – 2 аркуші

Наукові дані – 3 аркуші

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування Техніко-економічні показники	Басюркіна Н.Й., проф, д.е.н.		
Охорона праці	Бордун Т.В., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання _____ 21 грудня 2022 р. _____

Керівник _____ Бордун Т.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Кондрашов Г.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Техніко-економічне обґрунтування	25.09.2023 – 29.09.2023	
2.	Науково-дослідна частина	28.09.2023 – 20.10.2023	
3.	Технологічна частина	20.10.2023 – 03.11.2023	
4.	Вибір розташування обладнання, комунікація.	16.10.2023 – 17.11.2023	
5.	Технохімічний та технологічний контроль виробництва	20.11.2023 – 23.11.2023	
6.	Графічне виконання проєкту	06.11.2023 – 30.11.2023	
7.	Техніко-економічні показники	20.11.2023 – 30.11.2023	
8.	Затвердження роботи	04.12.2023 – 15.12.2023	
9.	Захист проєкту	18.12.2023 – 20.12.2023	

Здобувач – дипломник _____ Кондрашов Г.О.

Керівник роботи _____ Бордун Т.В.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач – дипломник Кондрашов Г.О. _____

Анотація

Тема: «Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива».

Мета: підвищення ефективності використання побічних продуктів переробки сільськогосподарської сировини шляхом удосконалення технології виробництва твердого біопалива у вигляді паливних гранул і паливних брикетів.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи включає вступ, сім розділів, список використаних літературних джерел та висновки. У першому розділі проведено аналіз світового та українського ринку твердого біопалива, обґрунтовано доцільність його виробництва. У другому розділі вивчено енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні, наведено класифікацію і характеристику твердого біопалива, характеристику сировини для виробництва твердого біопалива та вимоги до його якості. У третьому розділі розроблено програму проведення дослідження, обрано об'єкт, предмет та методи дослідження.

У четвертому розділі наведено теоретичне та експериментальне обґрунтування технології виробництва твердого біопалива: спосіб виробництва твердого біопалива, характеристику фізико – хімічних та теплофізичних показників якості вихідної сировини для виробництва твердого біопалива та дослідження показників якості паливних гранул та паливних брикетів отриманих експериментальним шляхом.

У п'ятому розділі наведено аналіз схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива, розраховано ємності складів для сировини та готової продукції, технологічне, транспортне обладнання, ємності оперативних бункерів, оформлено відомість руху продуктів за схемою технологічного процесу, наведено технохімічний контроль виробництва. У шостому розділі розглянуто заходи з охорони праці. У сьомому розділі розраховано техніко-економічні показники проєкту.

Кваліфікаційну роботу оформлено у 2 частинах:

1 частина – пояснювальна записка, яка викладена на 145 аркушах друкованого тексту, містить 46 таблиць, 20 рисунків, список літератури включає 59 найменувань.

2 частина – графічна та наукова, представлена на 7 аркушах формату А1: креслення (М 1:50) – 4 аркуші, наукові дані – 3 аркуші.

В И Т Я Г

з протоколу засідання кафедри технології зерна і комбікормів
протокол №12 від 4 грудня 2023 року

ПРИСУТНІ: д.т.н., проф. Єгоров Б.В., д.б.н., проф. Левицький А.П., д.т.н., проф. Станкевич Г.М., д.т.н., доц Макаринська А.В., к.т.н., доц. Страхова Т.В., к.т.н., доц. Дмитренко Л.Д., к.т.н., доц. Лапінська А.П., к.т.н., доц. Борта А.В., к.т.н., доц. Кац А.К., к.т.н., доц. Бордун Т.В., к.т.н., доц. Турпурова Т.М., к.т.н., доц. Ворона Н.В., к.т.н., доц. Валецька Л.О., к.т.н., доц. Фігурська Л.В., к.т.н., доц. Чернега І.С., к.т.н., доц. Цюндик О.Г., к.т.н., доц. Соколовська О.Г., зав. лаб. Луніна В.Ю., зав. лаб. Щербатюк С.І., зав. лаб. Луніна Л.О.

СЛУХАЛИ: звіт доц. Бордун Т.В. про перевірку на академічну доброчесність кваліфікаційної роботи студента СВО «Магістр» Кондрашова Георгія Олександровича, тема: «Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива». На перевірку надавались наступні розділи: техніко-економічне обґрунтування роботи, літературний огляд за темою та результати наукових досліджень; інші розділи пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи, враховуючи їх ідентичність, не проходили перевірку, так як всі методики та розрахунки наведені у цих розділах виконуються відповідно до методичних вказівок, та нормативної документації. Перевірка проводилась за допомогою програми Unichesk. За результатами перевірки унікальність тексту кваліфікаційної роботи становить 87,8 %.

УХВАЛИЛИ: звіт доц. Бордун Т.В. про перевірку на академічну доброчесність кваліфікаційної роботи студента СВО «Магістр» Кондрашова Георгія Олександровича, тема: «Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива» затвердити та рекомендувати до захисту на засіданні екзаменаційної комісії №24.

Зав. кафедри ТЗіК,
д.т.н., доц

Алла МАКАРИНСЬКА

Секретар кафедри ТЗіК,
к.т.н., доц.

Тетяна ТУРПУРОВА

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1 Техніко-економічне обґрунтування будівництва цеху з виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів)	9
1.1 Аналіз світового ринку біопалива.....	9
1.2 Український ринок твердого біопалива.....	15
1.3 Огляд підприємств-виробників твердого біопалива в Україні.....	19
1.4 Вплив війни на виробництво твердого біопалива.....	22
1.5 Мета і робоча гіпотеза проектування, результати, які очікуються	25
Розділ 2 Проблеми та перспективи виробництва твердого біопалива з рослинної біомаси.....	26
2.1 Актуальний стан і можливості подальшого розвитку ринку твердого біопалива в Україні та Європі.....	26
2.2 Енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні.....	31
2.3 Класифікація і характеристика твердого біопалива.....	39
2.4 Характеристика сировини для виробництва твердого біопалива...	43
2.5 Вимоги до якості твердого біопалива.....	48
2.6 Електронна система торгівлі біопаливом.....	55
Розділ 3 Загальна методика, об'єкт і методи дослідження.....	60
3.1 Розробка програми та вибір об'єкту дослідження.....	60
3.2 Методи дослідження фізико-хімічних показників вихідної сировини та готової продукції.....	61
3.3 Теплофізичні методи досліджень сировини.....	63
Розділ 4 Теоретичне та експериментальне обґрунтування технології виробництва твердого біопалива.....	68
4.1 Дослідження показників якості сировини для виробництва твердого біопалива.....	68
4.2 Удосконалення способу виробництва твердого біопалива.....	71
4.3 Дослідження показників якості паливних гранул, отриманих експериментальним шляхом.....	74

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6			
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива	Літ.	Арк	Аркушів
Консультант							5	145
Перевірів		Бордун Т.В.				ОНТУ 2023		
Зав.каф.		Макаринська А.В.						
Затверд.								

Розділ 5 Технологічна частина.....	80
5.1 Аналіз схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів).....	80
5.2 Розрахунок обладнання приймально-відпускних пристроїв.....	82
5.3 Розрахунок ємності складів для зберігання сировини та готової продукції.....	84
5.4 Розрахунок технологічного обладнання.....	92
5.5 Розрахунок ємності оперативних бункерів.....	98
5.6 Розрахунок транспортного обладнання.....	103
5.7 Оформлення відомості руху продуктів за схемою технологічного процесу виробництва твердого біопалива.....	105
5.8 Технохімічний та технологічний контроль виробництва.....	110
Розділ 6 Охорона праці.....	112
Розділ 7 Оцінка економічної ефективності будівництва цеху з виробництва твердого біопалива (паливних гранул та брикетів).....	116
7.1 Розрахунок необхідної суми інвестицій.....	116
7.2 Розрахунок виробничої програми.....	118
7.3 Розрахунок собівартості продукції.....	118
7.4 Розрахунок річного обсягу реалізованої продукції та прибутку від реалізації продукції.....	123
7.5 Оцінка економічної ефективності інвестицій.....	123
Висновки.....	125
Список літератури.....	126
Додатки. Презентація.....	132

Вступ

Біологічні види палива представляють собою одну з найбільш перспективних груп товарів у галузі відновлювальних енергетичних ресурсів, з подальшою його генерацією у вигляді електроенергії та тепла. З початку 2011 року ринок твердого біопалива у світі демонструє активний розвиток та стабільний річний ріст на рівні приблизно 14 %. Збільшується не лише кількість виробників твердого біопалива, але й загальний попит на цей вид готової продукції, що свідчить про зростання кількості потенційних споживачів. Спалах COVID-19, пандемія по всьому світу у 2020 році призвела до уповільнення зростання цього ринку.

Обсяг світового ринку біопалива у 2022 році оцінювався в 91,18 мільярдів доларів США. Прогнозується, що з 2023 по 2030 роки його зростання складатиме в середньому 11,1 % щорічно.

Ключовими зв'язками на міжнародному ринку є торгівля між США та Великою Британією, а також важлива роль гравців на ринку твердого біопалива в країнах Прибалтики. Європейські країни лідирують у світовому виробництві паливних гранул, за якими йде Північна Америка, зокрема Канада та США, які в основному експортують свою продукцію на ринки ЄС. Азіатський регіон, Латинська Америка, Франція та Австралія займають третє місце, але їхній внесок у світове виробництво в 2018 році становив лише 11 %.

Щодо ринку твердого біопалива в Україні, то внутрішній попит наразі не є значним, проте через те, що більшість української продукції експортується в Європу, де попит постійно зростає, виробництво паливних гранул та брикетів стає потенційно привабливим для багатьох підприємців та інвесторів. Важливо відзначити, що повномасштабне вторгнення росії в Україну створило значні труднощі, пов'язані з енергетикою і теплопостачанням як всередині держави так і у різних країнах Європи взагалі.

Найбільш привабливими ринками для експорту твердого біопалива з України є Німеччина, Франція, Великобританія, Данія, Бельгія, Італія та Швеція. Ці ринки характеризуються високим рівнем розвитку, зрілістю і високими обсягами, а також позитивною динамікою використання на довгострокову перспективу.

На сьогоднішньому промисловому ринку паливні гранули та брикети найбільш конкурентоспроможний різновид палива. Це джерело енергії на порядок дешевше ніж природний газ чи вугілля. Окрім цього, європейські підприємства та приватні господарства масово переходять на використання паливних гранул та брикетів через прийняті Європарламентом закони про охорону природи, опасіння перебоїв постачання природного газу та зростання його вартості.

Розвиток біоенергетики стає ключовою складовою енергетичної безпеки для різних країн Європи та світу, і зокрема України. Цей напрям дозволяє зменшити залежність від природних викопних видів палива, скоротити імпорт енергоносіїв і забезпечити стабільне енергопостачання. Для виробництва біопалива переважно використовують різноманітні сільськогосподарські культури та продукти їх переробки, деревину та енергетичні рослини. Таким чином, сільське господарство стає одним з ключових джерел отримання альтернативної, а головне, відновлюваної енергії. Важливо відзначити, що розвиток виробництва біопалива відкриває нові можливості для сільського господарства у сфері отримання прибутку.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності використання побічних продуктів переробки сільськогосподарської сировини шляхом удосконалення технології виробництва твердого біопалива у вигляді паливних гранул і паливних брикетів. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- провести аналіз світового ринку біопалива та українського ринку твердого біопалива;
- вивчити енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні;
- навести класифікацію і характеристику твердого біопалива та вимоги до його якості;
- навести характеристику сировини для виробництва твердого біопалива;
- розробити спосіб виробництва твердого біопалива;
- визначити фізико-хімічні та теплофізичні показники якості сировини для виробництва твердого біопалива;
- визначити фізико-хімічні та теплофізичні показники якості паливних гранул отриманих експериментальним шляхом;
- визначити економічну ефективність запроваджених нововведень.

Розділ 1 Техніко-економічне обґрунтування будівництва цеху з виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів)

1.1 Аналіз світового ринку біопалива

Обсяг світового ринку біопалива у 2022 році оцінювався в 91,18 мільярдів доларів США (рис. 1.1). Прогнозується, що з 2023 по 2030 рік його зростання складатиме в середньому 11,1 % щорічно. Очікується, що ринок розвиватиметься завдяки попиту на чистіше паливо, у поєднанні з посиленням державних правил десульфурзації нафтопродуктів.

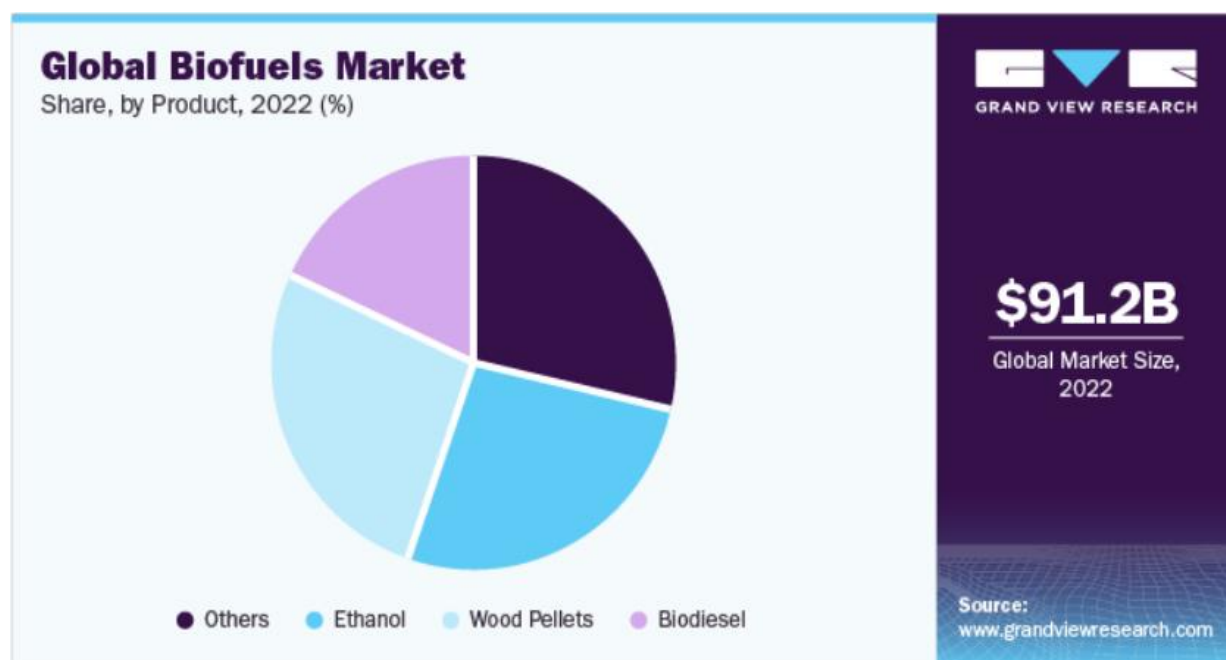


Рис. 1.1 – Обсяг світового ринку біопалива у 2022 році

Північна Америка стала найбільшим регіоном у 2022 році з часткою доходу 33,25 % завдяки наявності великої кількості сировини для виробництва біопалива. Наявність допоміжної інфраструктури для виробництва біопалива та сприятливої державної політики щодо використання біопалива в регіоні призведе до домінуючої позиції регіону у світовій промисловості. Основне зростання, ймовірно, відбуватиметься за рахунок США, Бразилії, Китаю та Європейського Союзу. Прогнозується, що інші країни значно зростуть у виробництві біопалива, наприклад Індія, Таїланд, Нідерланди, Канада та Індонезія, завдяки зростанню обізнаності щодо обмеження викидів вуглецю та

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6		
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Кондрашов Г.О.				Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива	Літ.	Арк
Консультант	Басюркіна Н.Й						9
Перевірів	Бордун Т.В.					ОНТУ 2023	
Зав.каф.	Макаринська А.В.						
Затверд.							

збільшення використання біопалива [1].

Очікується, що зростання попиту на біопаливо в усьому світі на додаток до зростаючих проблем з енергетичною безпекою сприятиме зростанню ринку протягом прогнозованого періоду. Північна Америка та Європейський Союз створили ринок за допомогою енергетичної політики, яка визначає необхідну швидкість включення біопалива в нафтопродукти. Зростання цін на нафту змусило кінцевих споживачів використовувати біопаливо як альтернативу. Крім того, очікується, що ініціативи, вжиті великими економіками, включаючи США, Китай і Бразилію, щодо підтримки впровадження біопалива шляхом значних податкових знижок, стимулюватимуть зростання ринку протягом прогнозованого періоду [2]. Очікується, що до 2030 року світовий ринок біопалива досягне 207,87 мільярдів доларів США. Очікується, що ринок зросте на 11,1 % CAGR з 2023 по 2030 рік (рис. 1.2).

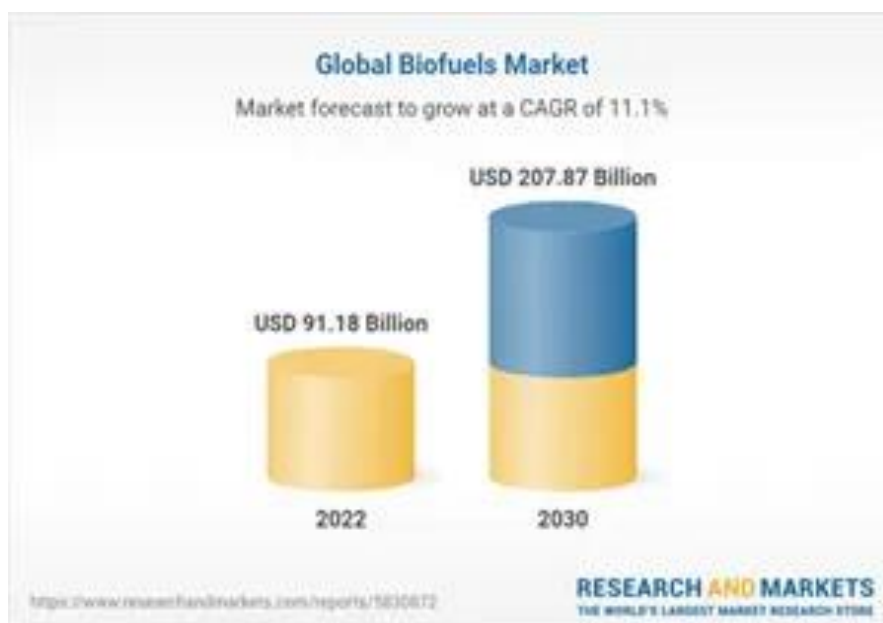


Рис. 1.2 – Обсяг ринку біопалива з 2023 по 2030 рік

Очікується, що зростаюча потреба в стійких енергетичних ресурсах у поєднанні зі сприятливими державними постановами щодо зменшення залежності від викопного палива стане головною рушійною силою зростання ринку. Біопаливо є екологічно чистим і відновлюваним джерелом енергії, і воно виявилось життєздатним варіантом виробництва електроенергії в Європейському Союзі, Північній і Південній Америці та Азіатсько-Тихоокеанському регіоні. Різноманітні переваги, отримані завдяки використанню біопалива, включають стійкість і зменшення вуглецевого сліду.

Спалах COVID-19, пандемія по всьому світу у 2020 році призвела до уповільнення зростання цього ринку. Затримка масштабних проєктів комунального господарства через карантинні заходи, принципи соціального дистанціювання та фінансові проблеми негативно вплинули на попит на біопаливо в сегменті виробництва електроенергії. Пандемія COVID-19 також вплинула на попит на продукцію у сфері виробництва тепла. Млява промислова діяльність зменшила попит на споживання тепла, тим самим негативно вплинувши на попит на біопаливо [3].

На рис. 1.3 наведено основні країни-лідери з виробництвом біопалива в усьому світі у 2022 році. У 2022 році США були провідним виробником біопалива у світі, виробництво якого становило 1627 петаджоулів. Бразилія та Індонезія посіли друге та третє місце з показниками приблизно 915 та 390 петаджоулів відповідно. Для порівняння, виробництво біопалива в Німеччині того року досягло приблизно 138 петаджоулів, ставши країною в п'ятірці провідних країн з виробництва біопалива та провідним виробником в Європі [4].

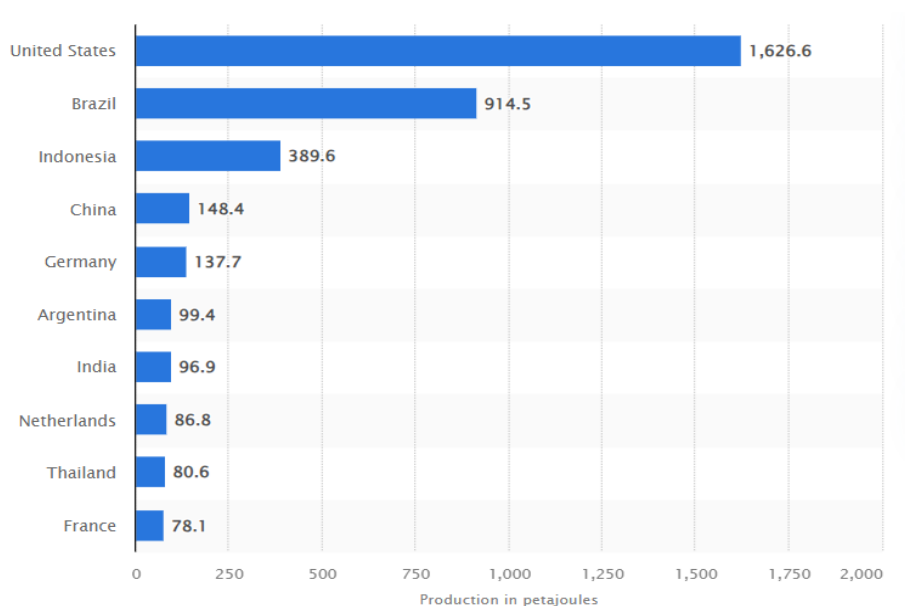


Рис. 1.3 – Країни-лідери з виробництвом біопалива в світі у 2022 році

Глобальний ринок біопалива, за регіонами, має наступну структуру: Північна Америка (США, Канада), Латинська Америка (Бразилія, Мексика, Аргентина, решта Латинської Америки), Європа (Німеччина, Великобританія, Франція, Італія, Іспанія, Україна, решта Європи), Азіатсько-Тихоокеанський регіон (Китай, Індія, Японія, Австралія, Південна Корея, АСЕАН, решта

Азіатсько-Тихоокеанського регіону), Середній Схід (Країни GCC, Ізраїль, решта Близького Сходу), Африка (Південна Африка, Центральна Африка, Північна Африка) [5].

На сьогоднішньому промисловому ринку паливні пелети та брикети найбільш конкурентоспроможний різновид палива. Це джерело енергії на порядок дешевше ніж природний газ, чи вугілля. Окрім цього, європейські підприємства та приватні господарства масово переходять на використання паливних пелет та брикетів через прийняті Європарламентом закони про охорону природи, опасіння перебоїв постачання природного газу та зростання його вартості.

Паливні пелети та брикети однозначно можна назвати більш локальними, відновлюваними та дешевшими джерелами опалення. До роботи на пелетах зараз пристосовані практично усі опалювальні прилади – печі та котли. У зв'язку з стійким зростом вартості енергоносіїв, що спричинило вторгнення росії в Україну, російське та білоруське виробництво пелет підпало під санкції. Отож, на європейському ринку спостерігається підвищена потреба у паливних пелетах та потреба у їх накопичуванні – зростання виробництва уповільнилося й на ринку можливий дефіцит. Особливо якщо прийняти до уваги факт того, що споживання паливних пелет та брикетів стрімко зростає.

За останнє десятиліття світовий ринок пелет значно розширився, переважно за рахунок збільшення попиту від промислового сектора. Прогнози вказують на те, що протягом наступного десятиліття обсяги використання опалювальних пелет будуть продовжувати зростати. Слід відзначити, що до 2016 року головним споживачем пелет було населення, але з 2016 року споживання пелет в промисловості перевищило використання в побуті, і цей розрив продовжує збільшуватися щороку [6]. На рис. 1.4 наведено динаміку світового споживання пеллет в 2010-2018 рр. і прогноз на 2019-2025 рр.

Вже у 2021 році у Європейському Союзі спостерігалось зростання виробничих потужностей для виробництва паливних пелет та брикетів. Спостерігалось абсолютне їх збільшення на 1636119 тонн. Найбільшим виробником є Німеччина, другою за потужностями – Латвія. Також виробництво деревних пелет та брикетів налагоджене у Швеції, Франції, Польщі, Австрії та Естонії. Збільшилося також виробництво у Північній Америці, Канаді, США. Загалом американський приріст виробництва на сьогодні перевищує 17 %.

Динамічна фаза спостерігається на чилійському ринку виробництва твердого біопалива.



Рис. 1.4 – Динаміка світового споживання пеллет в 2010-2018 рр. і прогноз на 2019-2025 рр., млн. т

Стрімке зростання споживання твердого біопалива у Європі спостерігається ще з 2020 року. Загалом воно зросло на 16 % – приблизно 6,5 мільйонів тонн. Найбільшим за приростом споживання залишається 2020 рік – 24,5 мільйона тонн. Лише у Нідерландах приріст становив 940 000 тонн +40 %, у Данії – +25 %, 700 000 тонн, у Німеччині +29 %, 660 000 тонн, у Франції – +23 %, 530 000 тонн. Споживання у сусідній Польщі збільшилося на 76 %. Додатково побутове споживання пелет стимулювалося польським урядом – мова йде про програму для побутових споживачів – Чисте повітря.

Ситуація на європейському ринку. Наразі європейське виробництво твердого біопалива зросло вже на 6,2 % (у ЄС 27). У країнах за винятком ЄС-27, «інша Європа» обсяг виробництва зріс до 20 млн тонн з 18,3 – на 8,9 % (рис. 1.5).

Тим не менше, через російське вторгнення на територію України ринок пелет у Європі неможна назвати стабільним. Держави зараз намагаються компенсувати нестачу сировини, що постачалася з України, білорусії та росії.

Підвищеній популярності паливних пелет та брикетів сприяє й зростання вартості енергоносіїв у Балтійських країнах. Сьогоднішній ринок біомаси переживає найбільший у своїй історії дисбаланс. Ціни подвоїлися, а попит стрімко зростає. Європейці розглядають тверде біопаливо як достойну

альтернативу природньому газу. Внаслідок цього переважна більшість нових житлових будинків вже передбачає вмонтовані пелетні котли. Переходять на таке обладнання й жителі вже існуючих будинків.

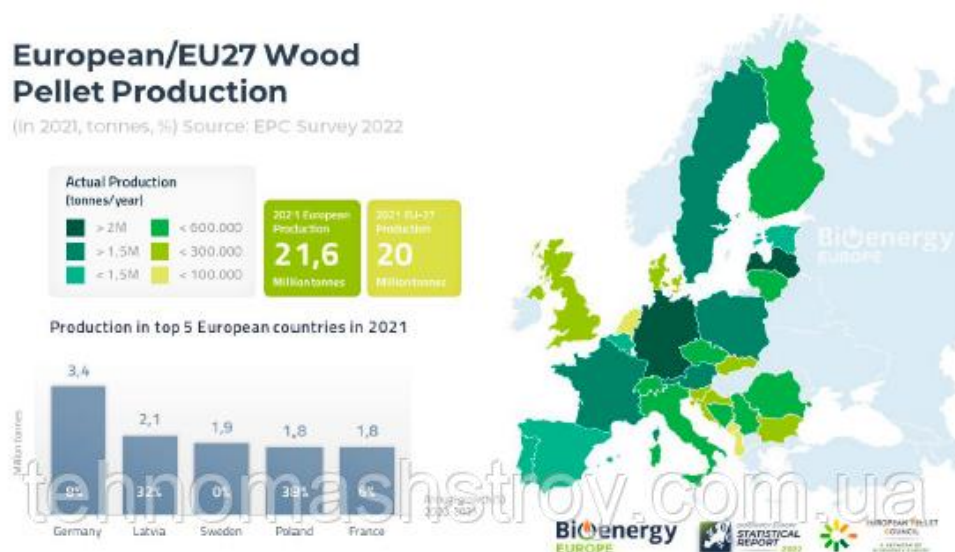


Рис. 1.5 – Виробництво твердого біопалива у Європі, 2021-2022 рр.

Наразі пропозиція не встигає за стрімко зростаючим попитом. Велику роль у дефіциті відіграє й суттєве зменшення українських торгових потоків на ринки ЄС внаслідок війни. Але сумнівів щодо зростання промислового та побутового споживання пелет у Європі не виникає. Висока ймовірність того, що тенденція зростання споживання спостерігатиметься й у найближчі роки. Диверсифікувати енергопостачання європейські країни вимушені у першу чергу через надзвичайно високу вартість блакитного палива. Саме тому надзвичайно вигідною альтернативою йому зараз виступає ефективне та конкурентоспроможне виробництво пелет та брикетів.

Не менш значущим для ситуації на ринку твердого біопалива став й більш холодний температурний режим минулої зими. Попередні зими були дещо м'якшими, що й викликало певний збій у виробництві та дефіцит пресованої біомаси. Зараз Європа намагається запобігти подібній ситуації, отож, однозначно спостерігатимуться тенденції збільшення виробництва твердого біопалива та його запасів.

Зростання споживання твердого біопалива спостерігається не лише на побутовому ринку, але й у промисловості. Найбільшим промислове зростання

споживання стало у 2022 році. При цьому значно збільшився сегмент використання у побутових і промислових споживачів пеллет преміум-класу.

Квоти на викиди, війна в Україні, ріст вартості вугілля – усі ці фактори ще раз продемонстрували економічні вигоди використання у промисловості та побуті паливних пелет та брикетів. Відповідно, помітне й зростання попиту на паливні котли, пристосовані для роботи на твердому біопаливі.

Наразі європейський ринок твердого біопалива знаходиться у структурній ситуації недопостачання. Але, виробники, враховуючи й українських, твердо впевнені у тому, що зможуть налагодити виробництво пелет у необхідних Європі об'ємах, зможуть стати надійними постачальниками з конкурентоспроможними цінами [7].

Найбільшим виробником паливних гранул в світі вважається фінська компанія Varo with Neova, які володіють потужностями з виробництва пеллет в обсязі 980 000 тонн на рік. На другому місці йде Pinnacle Pellets з Канади, який на п'яти пелетних заводах може виробляти 970 000 т/рік. Третє місце займає один російський завод ВАТ «Виборзька целюлоза» потужністю 900 000 т/рік.

У п'ятірку лідерів також входить German Pellets з Німеччини, що має 5 заводів з виробництва деревних гранул загальною потужністю 970 000 т/рік. П'ятірку найбільших гравців пелетного ринку замикає Georgia Biomass – шведсько-німецький концерн, що будує підприємство у США потужністю 750 000 т/рік. Всього в світі 20 великих холдингів, які мають великі обсяги виробництва гранул [8].

1.2 Український ринок твердого біопалива

Україна володіє значними резервами твердого біопалива, які наразі використовуються недостатньо, але мають потенціал сприяти досягненню європейських енергетичних та кліматичних цілей, сприяючи при цьому розвитку внутрішнього ринку.

Частка біопалива та відходів у загальному обсязі первинної енергії в Україні збільшилася до 3,68 %. Протягом 2021 року найбільший приріст у процентному відношенні був відзначений у ТЕС на біомасі: було введено в експлуатацію 43,1 МВт (або +40 %) станцій на біомасі. У кінці 2021 року потужність підприємств, що генерують електричну та теплову енергію з біомаси в Україні, складала 152 МВт. Перепрофілювання опалювальної галузі на

біопаливо відкрило б можливість використовувати у теплопостачанні паливо, яке є в 4-5 разів економічно вигіднішим, ніж частково експортований енергоресурс.

Потенціал використання твердого біопалива для енергетичних потреб є значним (рис. 1.6): лише залишки сільськогосподарських культур мають економічний потенціал замінити близько 34 млн тонн або 9,3 млрд кубів природного газу, а енергетичні культури – 20 млрд кубів природного газу.

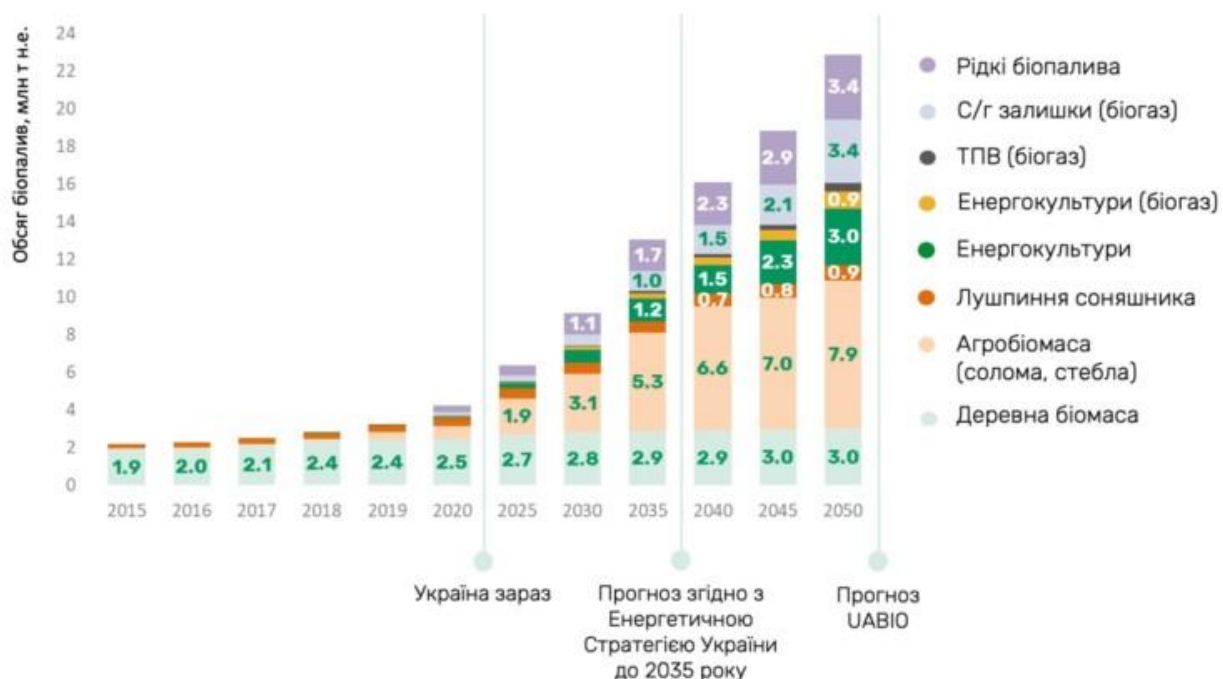


Рис. 1.6 – Потенціал використання твердого біопалива для енергетичних потреб

За своєю тепловою ефективністю, деревна біомаса може еквівалентно замінити тисячу кубічних метрів газу двома тонами дерев'яних гранул. У нас є показник використання біоенергетичних ресурсів, який становить приблизно 4,5 млрд кубічних метрів газу і може збільшуватися при розвитку ринку.

Хоча наразі не розглядається конкретне створення торговельного центру біомаси в Європі, проте змінити ситуацію в країні протягом кількох років абсолютно досяжно. Це можливо завдяки успішному вирішенню проблеми якості палива через введення стандартів виробництва твердої біомаси. Крім того, можливість враховувати обсяги в одиницях виміру МВт-г, узгодження вимірювань в метрах кубічних та тоннах, а також регулювання питань

неоднорідності цін є важливими кроками. Впровадження електронної системи торгівлі біопаливом також може допомогти вирішити критичну проблему – встановлення ринкової ціни на тверде біопаливо (паливні гранули і брикети).

Заміна природного газу та зниження цін є позитивними наслідками. Для ефективної роботи ринку, незалежний експертний чинник повинен забезпечувати баланс між інтересами продавців і покупців, а також створювати потужні сигнали для учасників ринку [9].

На українському ринку твердого біопалива є понад 200 підприємств, які виробляють готову продукцію у вигляді паливних гранул і брикетів. Конкуренція на ринку залишається обмеженою через те, що більшість цих підприємств зосереджена на експорті (головним чином до Європи), а інша частина виробляє паливо для власного використання, не беручи активної участі в ринкових процесах. Слід відзначити, що ринок паливної біомаси в Україні потребує негайного розвитку та переосмислення шляхом забезпечення вільного доступу підприємствам різних форм власності до відходів та побічної продукції лісівництва і сільського господарства. Також важливим кроком є створення біопаливної біржі або аукціону для проведення операцій купівлі-продажу різних видів вихідної сировини.

Основними замовниками твердого біопалива в Україні є:

- муніципальні котельні та окремі міні-ТЕЦ, які завдяки гнучкості виробничих процесів можуть пропонувати більш привабливі ціни при невеликих обсягах поставок. Зазвичай здійснюють закупівлі через посередників або агентів. При прямих угодах з виробниками можуть встановлювати більш високі ціни, але це також несе високу відповідальність і ризики, пов'язані з можливими штрафними санкціями за порушення угод. Вимоги до якості на цьому ринковому сегменті не настільки жорсткі, оскільки біопаливо спалюється в невеликих котлах з простою та невибагливою системою подачі палива;

- приватні власники заміських будинків, котеджів та дач, обладнаних котлами для гранул, є потенційним споживчим сегментом, який може забезпечити максимальний прибуток. Роздрібна ціна біопалива для цього сегменту може сягати 300 євро за тону. Враховуючи довгі оптово-роздрібні канали розподілу, високі маржі посередників та необхідність інвестицій у рекламу, брендінг і просування в торгових мережах, цей сегмент має свої особливості;

– оптові компанії, які постачають гранули та брикети приватним особам, також є учасниками ринку.

– промислові підприємства, які використовують обладнання для спалювання гранул та брикетів, також становлять окремий сегмент споживання.

– зоомагазини та оптові фірми, що закупають пелети для перепродажу у вигляді котячих туалетів, також мають свою участь на ринку.

Основні методи термічної обробки деревини та біомаси включають пряме спалювання (найбільш досліджено і розвинено в комерційному плані), газифікацію (що перебуває на етапі демонстрації) і піроліз (який перебуває на дослідному етапі розвитку).

Якість твердого біопалива формується на етапах вирощування, зберігання і переробки біомаси, при цьому ефективність його використання також залежить від технічної досконалості теплових генераторів. Оптимальні результати можна досягти при спалюванні твердого біопалива у вигляді гранул і брикетів, а також тюкованої соломи тощо.

Для процесу сушіння зерна, зокрема ріпаку, для енергетичних потреб рекомендується використовувати теплогенератори, які працюють на рулонах соломи, включаючи ріпакову соломку. Таке обладнання вже виробляється в Україні і це надає можливість сільськогосподарським виробникам задовольняти свої власні енергетичні потреби, використовуючи біомасу, зібрану на їхніх полях [10].

Виникнення та розвиток ринку виробництва твердого біопалива в Україні головним чином пов'язані зі збільшенням попиту на біомасу протягом 2000-х років на ринку ЄС, який є найбільшим світовим імпортером твердого біопалива, зокрема гранул (рис. 1.7). Транспортування цього виду твердого біопалива на великі відстані є найбільш вигідним і не призводить до значного збільшення собівартості, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності порівняно з природними звичними джерелами енергії [11].

Вітчизняний ринок твердого біопалива активно розвивається. Основним стимулом для його зростання стало прагнення скоротити використання природного газу. Далі розвиток цієї галузі напряму залежить від обсягів споживання енергоносіїв, їхніх резервів і цін на них, що стосується як світового, так і внутрішнього ринків. При цьому екологічний аспект грає важливу роль,

оскільки в розвинених країнах надається перевага тим енергоносіям, які є більш екологічно чистими.



Рис. 1.7 – Динаміка виробництва, споживання та експорту деревних пелет в Україні, 2007-2016 рр.

На основі очікувань стосовно зростання української економіки та зовнішньоекономічної діяльності можна прогнозувати збільшення ринку пелет в Україні. Для визначення майбутніх тенденцій була розроблена прогнозна модель ринку. Згідно з цим прогнозом, обсяг ринку твердого біопалива паливних гранул має тенденцію на зростання на 4-6 % в наступних періодах, що буде обумовлено збільшенням використання твердого палива в Україні.

Сфера твердого біопалива в Україні націлена виключно на експорт, оскільки більше 90 % паливних гранул і брикетів експортуються за межі країни. Основні країни-імпортери твердого біопалива включають Польщу, Німеччину та Італію. Як бачимо – ця галузь в Україні продовжує стрімко розвиватися [6].

1.3 Огляд підприємств-виробників твердого біопалива в Україні

Виробництво твердого біопалива в Україні відрізняється рядом особливостей, таких як регіональна нерівномірність і розсіяність виробництва, а також значна кількість невеликих підприємств, що взаємодіють з трейдерами. Також характерною рисою є розміщення виробництва якнайближче до джерел сировини. Наприклад, виробники деревних і торф'яних гранул і брикетів, головним чином, зосереджені на заході України та в обмеженій кількості в індустриальних районах центру і сходу (восьми областей, зокрема Закарпатської,

Волинської, Чернігівської, Київської, Житомирської, Волинської, Львівської, Сумської, які забезпечують більше 70 % виробництва гранул з деревини). Виробники гранул з лушпиння соняшнику частіше розташовані в центральних і східних регіонах, де є сировинна база вторинних відходів від переробки соняшнику і велика концентрація олійноекстракційних заводів (наприклад, чотири області – Дніпропетровська, Запорізька, Одеська та Миколаївська – забезпечують більше половини виробництва цих гранул в Україні). Виробники гранул і брикетів із соломи розташовані в аграрних районах і відрізняються невеликою кількістю, але великою концентрацією виробництва.

У процесі дослідження вдалося взяти на облік понад 300 компаній-виробників твердого біопалива, які займаються виробництвом цього виду енергетичного ресурсу. З них було обрано для опитування 100 компаній, розташованих на території Волинської, Рівненської, Житомирської, Чернігівської областей, а також Київської області та міста Києва. Географічне охоплення опитування та кількість виробників були визначені на основі результатів опитування виробників твердого біопалива з деревини, яке було проведено Агенцією економічного розвитку PPV Knowledge Networks у 2018 році (рис. 1.8).

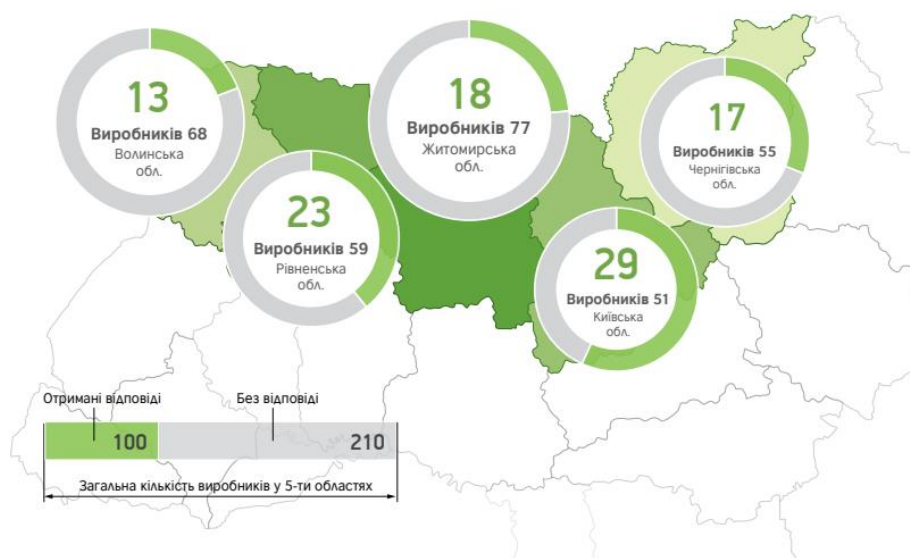


Рис. 1.8 – Географія опитування та кількість виробників твердого біопалива у 2018 р.

За оцінками експертів, ринок твердого біопалива з рослинної біомаси в 2019 році склав близько 390 тис. тонн, і приблизно 57 % з цієї кількості (220 тис.

тонн) припадає на територію, де проводилося дослідження. Обсяги виробництва твердого біопалива у різних областях оцінюються наступним чином: 33,5 тис. тонн у Волинській області, 16,5 тис. тонн у Рівненській, 85 тис. тонн у Житомирській, 66 тис. тонн у Київській та 19,6 тис. тонн у Чернігівській області (рис. 1.9) [11].

У період від 2020 до лютого 2023 року середня ціна на біопаливо в Україні зросла в 2,8 рази: у 2020 році вона становила 2874 гривні за тонну; у 2021 році - 4488 гривень за тонну (+52 %); у 2022 році – 8371 гривень за тонну (+87 %); у 2023 році – 9114 гривень за тонну (+6 %).

Найвищі ціни в 2022 році зафіксовані в Хмельницькій, Київській, Чернівецькій, Чернігівській та Закарпатській областях – від 10 до 13,8 тис. гривень за тонну. Самі низькі ціни, що становлять менше 7 тис. гривень за тонну, зафіксовані у Кіровоградській, Миколаївській та Тернопільській областях.

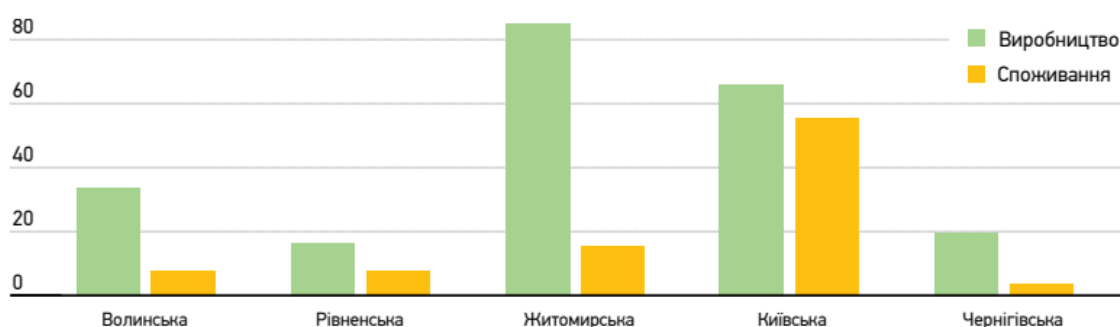


Рис. 1.9 – Обсяги виробництва пелет у 2019 році

У 2022 році було укладено угоди на поставку 560 тисяч тонн паливних гранул за ціною від 15 до 20 тисяч гривень за тонну, що складає понад 34 % від загального річного обсягу [12].

Приблизно 80–85 % вироблених в Україні гранул та брикетів експортується. Багато виробників мають невеликі за масштабом виробництва підприємства, проте вони активно співпрацюють з трейдерами та експортерами для ефективного збуту, що сприяє загальним обсягам реалізації.

Наведемо коротку характеристику деяких найбільших підприємств-виробників твердого біопалива в Україні. Компанія «Пеллет-Енерго Ємільчине» вважається одним із найбільших виробників паливних гранул з деревини в

Україні. Завод розташований в Житомирській області, приблизно за 350 км від кордону з ЄС, що дозволяє здійснювати експорт в Чехію, Польщу, Австрію, Німеччину, Італію, Грецію, Словаччину, Румунію та Австрію [13, 14].

Компанія ТОВ «Авер-Тех» спеціалізується на виробництві паливних гранул з соломи та має виробництво потужністю 700 тонн на місяць. Вони успішно здійснюють збут своєї продукції в Німеччину, Данію та Польщу.

У Новоселицькому районі на Буковині агропідприємство «Ванчиківський Золотий колос» виробляє паливні гранули з соломи, використовуючи власну сировину, яка отримується після обробки 2 тисяч гектарів ріллі з вирощування зернових. Щорічний обсяг виробництва сягає до 2,5 тисяч тонн.

ТОВ «Він-Пелета» із смт. Турбів Вінницької області виготовляє паливні гранули, використовуючи відходи сільськогосподарського виробництва, такі як солома пшениці, ячменю, кукурудзиння, сіно люцерни та різних трав. Завод має сировинну базу понад 1 мільйон тонн біомаси щорічно, розташовану в радіусі 50 кілометрів від заводу [13, 14].

Компанія «Барлінек», також із Вінниччини, яка є виробником паркетної дошки, виготовляє паливні гранули із відходів виробництва паркету.

ТОВ «Цунамі» у Волинській області також виготовляє паливні гранули з дубової тирси на власних відходах, забезпечуючи високу тепловіддачу [13, 14].

А також переважна більшість олійноекстракційних заводів нашої країни має достатньо велику кількість лушпиння соняшникового та потужності для його гранулювання або брекетування [14].

1.4 Вплив війни на виробництво твердого біопалива

Російське вторгнення в Україну та пов'язані з ним санкції сколихнули всі сектори світової економіки. Енергетичні ринки, включаючи сектор твердого біопалива, також зазнали сильного впливу цих чинників.

У 2021 році Україна, росія і білорусь становили близько 15 % загальної міжнародної торгівлі твердим біопаливом. Більшість цієї торгівлі йшла до Західної Європи. Багато російських виробників пелет сертифіковані як за стандартами SBP, так і за ENplus, що дозволяло використовувати їх на промислових і опалювальних ринках Європи та Великобританії. Внаслідок російської агресії в Україні дію цих сертифікатів призупинено на невизначений термін, а прямий імпорт з росії та білорусі до Європи зведений до нуля.

Наслідки цього раптового дефіциту були драматичними: і промисловий сектор, і сектор опалювальних пелет в Європі та інших країнах світу зазнали безпрецедентного стрибка цін. Втім, кілька обставин пом'якшили початкові наслідки, дозволивши спотовим цінам впасти з рекордно високих значень. Так, ця зима в Європі поки що є надзвичайно м'якою. Нижчий, ніж зазвичай, попит на опалення дозволив збільшити запаси пелет, зменшивши тиск на ціни. Крім того, ціни на природний газ у Європі також значно впали від своїх максимумів, що спонукає до збільшення використання замість пелет природного газу. Слабкий попит у промисловому секторі Великобританії дозволив частково заповнити дефіцит опалювальних пелет в ЄС. Але обидві ці пом'якшувальні обставини, ймовірно, зникнуть, коли, рано чи пізно, погода стане холоднішою, і електростанції Великобританії споживатимуть пелети у звичайних обсягах.

Хоча російські пелети не поставляються безпосередньо на основні ринки ЄС, вони можуть частково «просочуватися» в деякі європейські країни. Один із можливих шляхів – через Туреччину, експорт з якої в ЄС після запровадження санкцій суттєво зріс. Втім, без експорту з росії, білорусі та України, навіть враховуючи певний «витік», світова пропозиція твердого біопалива значно не відповідає попиту. Як зазначають аналітики FutureMetrics, ринки вже були напруженими на початку 2022 року, тобто ще до введення санкцій. Раптове та несподіване падіння пропозиції призвело до скорочення сукупних світових ринків твердого біопалива на понад 2 млн тонн у 2022 році, якщо навіть припустити, що на ринки все ще надходить певна кількість «санкційних» пелет через треті країни [15].

Починаючи з 24 лютого, ряд деревообробних підприємств та олійноекстракційних заводів припинили свою діяльність, а деякі навіть закрили свої виробничі цехи у зв'язку із повномасштабним вторгненням та через бойові дії в Харківській, Чернігівській, Житомирській, Сумській, Запорізькій та Миколаївській областях.

Деякі підприємства перенесли свої бізнес-процеси, а інші частково відновили виробництво після деокупації, але частина компаній і досі не може повноцінно працювати. Ще однією проблемою є зменшення обсягів обробки чи призупинення виробництва через мобілізацію та волонтерську діяльність. Ця ситуація стосується всіх регіонів. Багато фахівців у галузі, переважно чоловіків,

підпадають під критерії мобілізації. Більшість з них добровільно вступили в ЗСУ, територіальні оборонні підрозділи або стали волонтерами.

Починаючи з жовтня 2022 року, виникли проблеми з електроенергією через обстріли критичної інфраструктури, що суттєво негативно вплинуло на функціонування підприємств. Ті, які змогли зберегти виробництво, зробили це завдяки значному штату фахівців і певній фінансовій стабільності.

По-перше, відключення електропостачання призвело до невчасного виконання замовлень. По-друге, тимчасове використання альтернативних джерел живлення є дорогим і, отже, збільшує витрати на виробництво. По-третє, ризики подальшого погіршення ситуації впливають на рішення представників галузей деревообробки, сільського господарства, переробної зернової та олійноекстракційної промисловості. Вони обмежують обсяги закупівлі сировини, бо не можуть гарантувати її подальшу переробку [16].

Висловлення експертів вказують на те, що для населення, яке користується пільговими тарифами на газ, вибір варіанту опалення будинків газом виявляється більш економічно вигідним, навіть порівняно з дешевими дровами. Однак із початком воєнних дій уряд припинив всі програми пільгового кредитування, що стосувалися утеплення будинків та переходу на альтернативні джерела енергії, такі як відмова від газу.

Незважаючи на це, попит на тверде паливо серед домогосподарств збільшується, оскільки наростає тривога, що в умовах зимових морозів російські війська можуть атакувати критичну інфраструктуру, а також існують ризики припинення транзиту газу. Взаємозв'язок газорозподільної системи України з газотранспортною системою створює загрозу відсутності газу у віддалених районах при зниженні тиску в газотранспортній системі.

Після початку повномасштабного вторгнення російських військ стало очевидним, що об'єкти критичної інфраструктури, такі як газорозподільчі та електророзподільчі мережі, є досить уразливими.

Коли ставиться питання про безпеку людей, економічні питання тимчасово втрачають свою актуальність. Це призвело до збільшення інтересу до біопалива. Проте більшість людей почали задумуватися про перехід нещодавно, а не рік тому. У деяких великих містах є потужні теплоелектростанції, які використовують газ. Такі об'єкти стають більш вразливими до ракетних ударів, порівняно з, наприклад, 20 котельнями, які працюють на твердому паливі. З

початком війни зріс інтерес до твердопаливних котлів не лише серед населення, але й серед військових [16].

Вторгнення агресора призвело до різкого зниження рівня виробництва товарів та надання послуг у всіх галузях економіки України. Це також стосується галузі виробництва твердого біопалива. Вона частково залежить від деревообробної галузі та переробної, які майже повністю зруйнована в регіонах країни, де тривають активні бойові дії.

У тих регіонах, де тривають і продовжуються активні бойові дії, інфраструктура та логістика фактично зруйновані. Крім того, виникають проблеми з кадровим резервом, обмежений доступ до сировини та ринків збуту. У результаті комплексна ситуація на підприємствах галузі ускладнює їхню подальшу участь на ринку твердого біопалива. Тому необхідно, щоб держава забезпечила підтримку для швидкого відновлення компаній, які зазнали прямих збитків у ході повномасштабного вторгнення росії [17].

1.5 Мета і робоча гіпотеза проєктування, результати, які очікуються

Економічна мета проєкту: збільшення прибутку за рахунок виробництва та реалізації твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів).

Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива буде актуальним для зернопереробних, олієпресових та круп'яних заводів. При переробці насіння соняшнику в олію отримують 17...20 % лушпиння соняшникового. При переробці на круп'яному заводі (гречки, ячменю, вівса) утворюються відходи у вигляді лузги (19,3...20,8 %, 7...9 %, 26...28 % відповідно), які доцільно використовувати для виробництва твердого біопалива.

Очікувані результати:

- використання найбільш розповсюджених відходів і побічних продуктів сільськогосподарської рослинної сировини (лушпиння соняшнику, відходів очистки соняшнику, лузги зернових культур (гречаної, ячмінної, вівсяної));
- реалізація твердого біопалива в Україні та за кордоном;
- отримання прибутку.

Проєкт має прогнозований термін окупності до 5 років, що свідчить про його доцільність та економічну ефективність. Основні джерела інвестицій: власні кошти підприємства та залучені кошти.

Розділ 2 Проблеми та перспективи виробництва твердого біопалива з рослинної біомаси

2.1 Актуальний стан і можливості подальшого розвитку ринку твердого біопалива в Україні та Європі

З початку 2011 року ринок твердого біопалива демонструє активний розвиток та стабільний річний зріст на рівні приблизно 14 %. Збільшується не лише кількість виробників твердого біопалива, але й загальний попит на цей вид товару, що свідчить про зростання кількості споживачів.

Ключовими зв'язками на міжнародному ринку є торгівля між США та Великою Британією, а також важлива роль гравців на ринку пелет в країнах Прибалтики, яка значно зросла в останні роки. Зацікавленість у пелетній гранулі збільшується в Азіатському регіоні, особливо в Японії та Південній Кореї, де державна фінансова підтримка сприяє збільшенню попиту [18].

Європейські країни лідирують у світовому виробництві паливних гранул, за якими слідує Північна Америка, зокрема Канада та США, які в основному експортують свою продукцію на ринки ЄС [19]. Азіатський регіон, Латинська Америка, Франція та Австралія займають третє місце, але їхній внесок у світове виробництво в 2018 році становив лише 11 %.

Щодо ринку твердого біопалива в Україні, то внутрішній попит наразі не є значним, проте через те, що більшість української продукції – твердого біопалива експортується в Європу, де попит постійно зростає, виробництво паливних гранул та брикетів в Україні стає потенційно привабливим для багатьох підприємців та інвесторів [20].

Втім, існують певні труднощі, особливо враховуючи оцінки In Ventures Investment Group, які вказують, що до 2011 року український ринок твердого біопалива відзначався поступовим зростанням. Однак через попит споживачів на пелети з європейськими сертифікатами якості багато українських виробників, які постачали продукцію до Європи, припинили свою діяльність. Це пов'язано з високими витратами на сертифікацію та жорсткими європейськими стандартами, яким не всі українські виробники могли відповідати [21]. Запобігти цьому можна

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6		
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива	Літ.	Арк
Консультант							Аркушів
Перевірів		Бордун Т.В.					26
Зав.каф.		Макаринська А.В.					34
Затверд.						ОНТУ 2023	

було б, шляхом введення обов'язкової сертифікації твердого біопалива на внутрішньому ринку та регулярного контролю виконання умов цього сертифіката. Однією з обов'язкових умов впровадження такої сертифікації є її визнання європейськими споживачами. Наявність такого сертифіката дозволила б знизити витрати на перевірку продукту і в той же час зробити його конкурентоспроможним, так само, як і в разі сертифікації за схемою EnPlus, оскільки не було б потреби в оплаті візиту та проживання європейського експерта чи формуванні і транспортуванні зразків до Європи і т.д. Крім того, наявність обов'язкової сертифікації стимулювала б виробників виробляти якісний продукт ще на етапі планування підприємницької діяльності.

Оцінюючи поточний стан ринку твердого біопалива в Україні, слід відзначити, що в період з 2012 по 2013 рік, окрім негативних наслідків, пов'язаних з сертифікацією, також спостерігалось скорочення виробників через жорстку конкуренцію на ринку деревної сировини. Проте, з 2016 року ситуація дещо стабілізувалась.

Інформація щодо обсягу виробництва та експорту пелет українськими підприємствами за період з 2012 по 2018 рік представлена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Обсяг виробництва та експорту пелет українськими підприємствами за період з 2012 по 2018 рік, тис. т

Показник	Роки						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Вироблено	624	726	690	665	698	706,7	715,4
Експортовано	572,5	617,1	621,0	598,0	642,1	636,0	643,8

Практично весь обсяг виробленої українською промисловістю пелети експортується за межі країни. У 2013 році було досягнуто найвищого обсягу виробництва пелетної гранули – 726 тис. тонн, а найбільший експорт зафіксовано в 2018 році на рівні 643,8 тис. тонн.

Навіть при певній стабілізації ситуації із сировинною базою, проблема заслуговує належної уваги. З роками кількість деревини в Україні постійно зменшується, а саме пелетна гранула з деревини користується великим попитом на зовнішніх ринках. Для мінімізації негативних наслідків від зменшення сировинної бази, розумною стратегією може бути вирощування власної сировини, зокрема енергетичної лози. Цей вид лози виростає протягом 25-30

років після одноразового висадження. Вирощування енергетичної лози має ряд переваг: низька вимоги до якості ґрунтів, здатність рости навіть у болотистих умовах і вартість полів, що є значно меншею. Також необхідно враховувати її високу стійкість до хвороб і кліматичних умов. Використання такої сировини дозволить знизити вартість виробництва та забезпечити незалежність від постачальників деревини.

Додатково, сприяти подоланню негативних наслідків може державне регулювання в галузі протидії незаконному вирубуванню лісу та встановлення фіксованих цін на ринку сировини. Іноземні компанії, що працюють на українському ринку, не повинні мати можливість купувати сировину за цінами, що перевищують ринкові, що може погіршити ситуацію вітчизняних виробників.

Починаючи з 2010 року, основна частина пелет, вироблених на українському ринку, була виготовлена з лушпиння соняшника. Проте, починаючи з 2013 року, лідерство в обсягах виробництва перейшло до пелети, виготовленої з відходів деревини. Ця тенденція обумовлена зростаючим попитом на цей вид пелети в країнах Європи [22]. Інформація щодо структури пелетного ринку в Україні за видами пелетної гранули в період з 2012 по 2018 роки наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Структура пелетного ринку України за видами пелетної гранули, що виготовлялась у 2012–2018 роках, тис. т

Види пелети	Роки						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Пелета з деревних відходів	74,8	332,8	338,1	359,1	376,9	381,6	386,3
Пелета із соломи	12,4	10,8	27,6	33,2	34,9	35,3	35,7
Пелета з лушпиння соняшника	492,9	326,7	289,8	242,7	254,7	257,9	261,1
Пелета з торфу	43,6	55,5	34,5	29,9	31,4	31,8	32,1
Всього	624,0	726,0	690,0	665,0	698	706,7	715,4

Пелети, виготовлені з соломи, застосовуються як технічне паливо для обігріву промислових підприємств і теплових електростанцій (ТЕЦ). У той час як паливо з деревини в основному використовується для обігріву житлових будинків, котеджів і частково для виробництва [23].

Експерти ринку відзначають, що найбільш перспективним напрямком для збуту української пелетної гранули залишається пелетний ринок Європи. Тому важливо ретельно вивчати тенденції його розвитку, зокрема зміни в обсягах виробництва пелет в європейських країнах (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Динаміка виробництва пелет країнами – членами ЄС за 2014–2018 роки

Країна	Виробництво, тис. т					Темпи приросту, 2016–2018 роки, %
	2014 рік	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	
Австрія	940	893	962	948	1 000	5,49
Німеччина	1 875,99	2 246,08	2 207,52	2 078,03	1 998,19	-3,84
Іспанія	240	250	350	350	350	0
Італія	750	690	400	450	450	0
Латвія	722	1 048	1 093	1 280	1 599,84	24,99
Польща	600	600	600	700	750	7,14
Португалія	650	690	812	1 034	1 034	0
Франція	550	682	890	1 050	1 000	-4,76
Швеція	876	1 663	1 512	1 577	1 660	5,26

Лідером у виробництві пелет в Європі є Німеччина, яка у 2018 році виготовила 1 998 тис. тонн продукції, що на 3,84 % менше, ніж у попередньому році. Незважаючи на зменшення виробництва порівняно з іншими європейськими країнами у 2018 році, Німеччина продовжує бути лідером у цьому секторі та відіграє головну роль.

Серед європейських країн-лідерів у виробництві пелетних гранул найменшу кількість у 2018 році виготовила Іспанія – всього 350 тис. тонн. Це пояснюється тим, що Іспанія лише з 2013 року активно розвиває виробництво пелетної гранули, і, на відміну від Німеччини, не отримує від уряду значної фінансової чи іншої підтримки для виробників біопалива та його споживачів [24].

Найбільш привабливими ринками для експорту гранул з України є Німеччина, Франція, Великобританія, Данія, Бельгія, Італія та Швеція. Ці ринки характеризуються високим рівнем розвитку, зрілістю і високими обсягами, а також позитивною динамікою використання на довгострокову перспективу.

Найвищий рівень споживання пелет спостерігається у Великобританії – 7,2 млн. тонн у 2018 році, проте економічно необґрунтовано постачати паливну гранулу з України до Великобританії через високі витрати на логістику.

Найбільш вигідною є поставка в Італію, де високий попит і менші витрати на логістику.

У країнах Європейського Союзу споживання паливних гранул передбачає відповідність галузевим системам сертифікації продукції, що дозволяє кінцевим споживачам купувати продукцію, яка відповідає встановленим стандартам якості та стійкості. Наявність сертифіката стає важливим фактором для виробників, оскільки споживачі все більше віддають перевагу сертифікованій продукції [23].

Українські виробники пелет конкурують із європейськими партнерами за наявність європейського сертифікату якості, зокрема, з Австрією, Німеччиною та Іспанією. Проте, коли розглядається критерій «Ціна», українська паливна гранула є значно більш доступною порівняно з європейською, забезпечуючи однакову якість та наявність сертифікатів. Саме тому українська пелета користується великим попитом на європейських ринках.

Незважаючи на перспективи в Європі, з кожним роком все більше виробників твердого біопалива виходить на внутрішні ринки ЄС, що може зменшити потребу в імпортованій гранулі з інших країн. Щоб зменшити ризики, українським виробникам рекомендується розглядати нові напрямки розвитку, зокрема, перспективним вважається ринок Південної Кореї, де зростає попит через зростання екологічних питань. Хоча логістика може бути дорогою для деяких виробників, знаходження шляхів її здешевлення чи забезпечення унікальності продукції може привести до комерційного успіху в Кореї.

Крім експорту, важливим є розвиток внутрішнього ринку біопалива. Хоча попит на пелету в Україні поступово зростає, це відбувається повільними темпами через відсутність стимулювання споживачів використовувати біопаливо, навіть при високих витратах на викопне паливо. Запровадження компенсаційної програми для покупців твердопаливних котлів може стимулювати використання екологічного палива, аналогічно практиці, яка вже застосовується в ряді високорозвинених країн.

Крім того, щоб підвищити попит споживачів на пелети та брикети, слід активно підтримувати вітчизняних виробників, спрямовуючи їхню увагу на виробництво та реалізацію своєї продукції на внутрішньому ринку України. Крім того, необхідно вдосконалювати інституційну базу, зокрема, поліпшувати інвестиційний клімат в країні. Для сприяння розвитку підприємців, які займаються виробництвом біопалива, важливо забезпечити їх доступом до вигідних кредитів та інших пільгових умов [25]. Особливо ця важливо зараз, так

як війна в Україні призвела до серйозних труднощів у галузі енергетики та теплопостачання.

2.2 Енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні

Відповідно до визначення, яке прописане в директиві Європарламенту та Ради Європи 2009/28/ЕС, біомаса охоплює органічні речовини, що піддаються біологічному розкладу. А саме – це такі продукти як, відходи та залишки сільського господарства, лісового господарства та пов'язаних з ними галузей, а також частина промислових та побутових відходів [26].

У законодавстві України, зокрема в Законі № 1391-XIV від 14.01.2000 року «Про альтернативні види палива», біомаса визначається як біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що піддається біологічному розкладу, включаючи відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства, технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічну частину промислових та побутових відходів [27]. На такому визначенні біомаси базується визначення поняття біологічних видів палива (біопалива): тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива [27].

Походження біомаси різноманітне і включає відходи сільського господарства, харчової промисловості, домашнього господарства, а також відходи комунального господарства. Деревинні відходи з лісового господарства, деревообробної та целюлозно-паперової промисловості також є важливим джерелом біомаси. Спеціальні енергетичні культури, такі як верба, тополя, платан, використовуються для виробництва біомаси, а також важливі енергетичні культури, такі як міскантус, просо і сорго. Біомаса також може бути вироблена з енергетичних культур, таких як ріпак, соняшник та кукурудза для виробництва рідких моторних палив.

Біомаса (рис. 2.1) може використовуватися в енергетичних цілях через безпосереднє спалювання або у вигляді перероблених рідких біопалив (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) або газоподібних біопалив (біогаз з відходів сільського господарства та рослинництва, осаду стічних вод, твердих побутових відходів, продуктів газифікації твердих палив) [26].

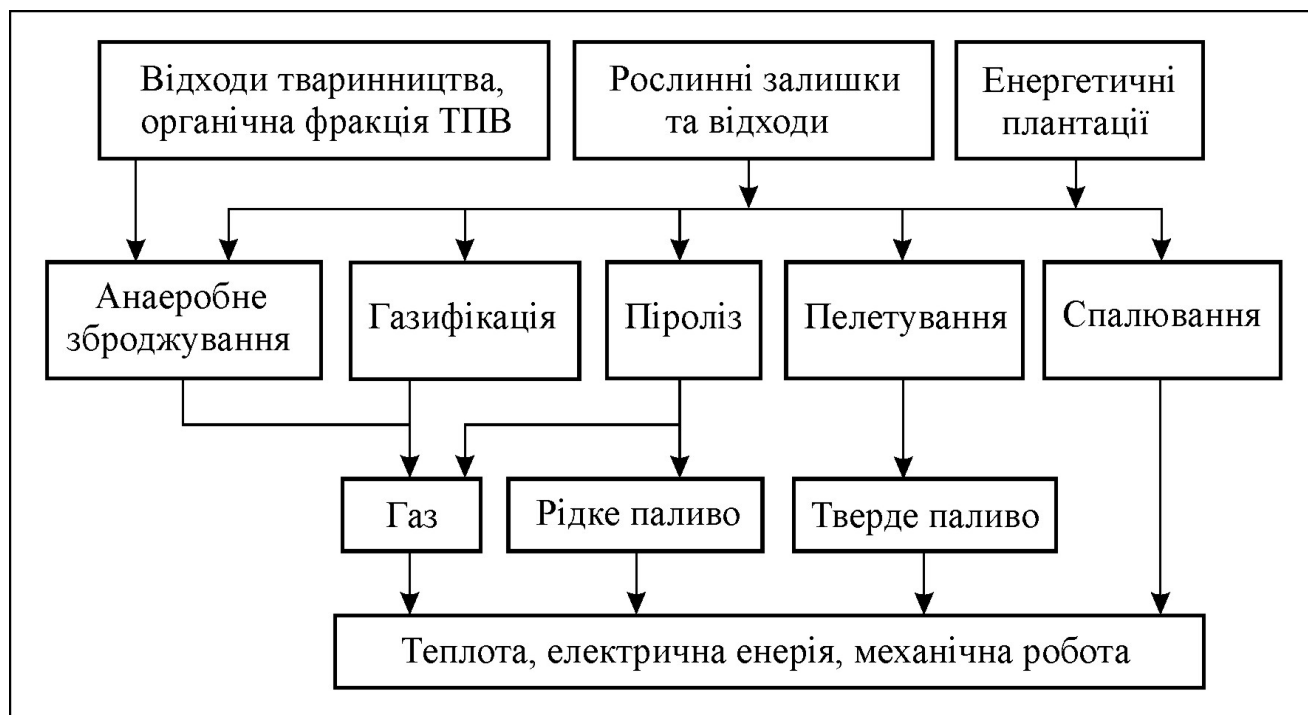


Рис 2.1 – Способи виробництва енергії з біомаси

Процес конверсії біомаси у різні форми енергії або кінцеві енергетичні носії, такі як тепло або електроенергія, може відбуватися за допомогою фізичних, хімічних і біохімічних методів. Основні переваги використання біомаси включають:

- біомаса є локальним джерелом палива, оскільки в процесі виробництва енергії з біомаси використовуються наявні місцеві ресурси регіону, включаючи робочу силу. Це сприяє розвитку місцевої економіки, відновлюваності та нейтральності щодо викидів парникових газів, а також вважається відносно простим у добуванні та використанні;

- біомаса є відновлюваним джерелом палива, тому при раціональному використанні вона є, по суті, нескінченним джерелом енергії, що сприяє сталому розвитку регіону та уникненню ризиків поступового вичерпання, які характерні для традиційних джерел енергії;

- біомаса є екологічно чистим видом палива порівняно з іншими твердими видами палива, такими як вугілля. Зазвичай біомаса містить мало сірки, і її спалювання при невеликих температурах не призводить до утворення оксидів азоту. Крім того, через включення біомаси в природний цикл поглиблення, зберігання та вивільнення CO₂, її спалювання не збільшує парниковий ефект та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище;

– біомаса, як правило, є більш доступним паливом за одиницю енергії порівняно з іншими традиційними ресурсами енергії. Тенденції останніх двадцяти років свідчать про швидший ріст цін на традиційні енергетичні ресурси, ніж на відновлювані, що робить біомасу більш конкурентоспроможною;

– використання біомаси допомагає зменшити кількість відходів та сміття в містах. При використанні біогазу також відбувається утилізація небезпечних відходів з полігонів твердих побутових відходів, сприяючи очищенню забруднених територій та покращенню екології в цілому;

– реалізація проєктів з виробництва енергії на основі біомаси сприяє впровадженню передових технічних рішень у галузі теплопостачання, модернізації існуючого технологічного обладнання, розвитку виробництва нових технічних засобів та проведенню робіт з їх монтажу та обслуговування.

Основними елементами потенціалу біомаси в Україні є первинні агровідходи, такі як солома та відходи виробництва кукурудзи та соняшника. Ці матеріали залишаються на полях як побічні продукти після збору врожаю основних сільськогосподарських культур та енергетичних рослин, які активно вирощуються в Україні в останні роки. Солома, яка є найважливішим видом первинних відходів сільського господарства для енергетичного використання, виробляється в основному після збору врожаю злакових та інших однорічних лігноцелюлозних культур. Річний обсяг виробництва соломи в Україні становить приблизно 25 млн. тон, з яких принаймні 20 % може бути використано в якості біопалива [26, 28]. Склад соломи відрізняється від деревинних відходів і тирси, оскільки вона містить значну кількість летких речовин, має низьку густину і довший час горіння.

Вторинні відходи сільського господарства утворюються та накопичуються під час обробки сільськогосподарських культур для виробництва харчових продуктів та кормів для тварин. Серед них можна виділити лущиння соняшнику, лузгу круп'яних культур, горіхову шкаралупу, відходи квасолевих бобів та інші види рослинної біомаси. Загальний економічний потенціал відходів сільського господарства складає 10,96 млн. тон у.п./рік, а енергетичних культур – 4,88 млн. тон у.п./рік (табл. 2.4).

Деталізований склад потенціалу біомаси в Україні у 2019 році наведено в табл. 2.4 [29, 30]. Як бачимо, найбільша кількість припадає на побічні продукти виробництва кукурудзи (стебла, стрижні), соломі зернових культур та побічні продукти виробництва соняшника (стебла, кошики). Також у табл. 2.5

представлено прогноз енергетичного потенціалу біомаси в Україні до 2050 року [29, 30], відповідно якому будуть зростати вище перераховані види сировини, а також спостерігаємо зростання у два рази потенціалу енергетичних культур (верби, тополі, міскантуса).

Таблиця 2.4 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні у 2019 р.

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Економічний потенціал, доступний для енергетики	
		% теор. потенціалу	млн. т у.п.
Солома зернових культур	37,5	30	3,84
Солома ріпаку	5,9	40	0,81
Побічні продукти виробництва кукурудзи (стебла, стрижні)	46,6	40	3,57
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, кошики)	29,0	40	1,66
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшника)	2,6	100	1,08
Деревна біомаса	7,4	95	1,73
Енергетичні культури: верба, тополя, міскантус	11,5	100	4,88

Таблиця 2.5 – Прогноз енергетичного потенціалу біомаси в Україні (2050 р.)

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Економічний потенціал, доступний для енергетики	
		% теор. потенціалу	млн. т у.п.
Солома зернових культур	49,2	30	5,04
Солома ріпаку	4,9	40	0,68
Побічні продукти виробництва кукурудзи (стебла, стрижні)	58,1	40	4,45
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, кошики)	26,9	40	1,54
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшника)	2,4	100	1,00
Деревна біомаса	12,3	95	2,88
Енергетичні культури: верба, тополя, міскантус	34,5	100	14,65

На даний момент українська енергетична система використовує лише приблизно 10 % загального потенціалу біомаси, що складає 2,7 млн. тон у.п./рік (табл. 2.6) [29, 30]. Основними джерелами є деревна біомаса у вигляді дров,

тріски, гранул/брикетів (загалом 86 % від річного обсягу використання біомаси) та лушпиння соняшника (8 %). Рослинні відходи, зокрема 94 тис. тон соломи на рік, що становить менше 1 % економічного потенціалу соломи в Україні, використовуються менш активно. Детальна структура використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні за 2019 рік представлена в табл. 2.7 [30].

Таблиця 2.6 – Використання біомаси для виробництва енергії

Вид біомаси/біопалива	Річний обсяг споживання		Частка в річному обсязі споживання, %	Частка використання економічного потенціалу, %
	натуральні одиниці	тис. тон у.п.		
Солома зернових культур та ріпаку	94 тис. т	48	1,8	0,9
Дрова (населення)	5,0 млн. м ³	1200	45,1	>90
Деревна біомаса (крім споживання населенням)	3,2 млн. т	1089	40,9	
Лушпиння соняшника	380 тис. т	208	7,8	41

Таблиця 2.7 – Структура використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні, 2019 рік

Вид біомаси та напрямок використання	Потенціал доступний для енергетики, тис. т	Обсяг, що вже використовується для потреб енергетики		Частка використання загального потенціалу, %
		тис. т	тис. т н.е.	
1	2	3	4	5
Солома зернових/ріпаку	12258	371	130	3,0
-спалювання (тюки)		200	68	1,6
-виробництво та спалювання гранул		155	55	1,3
-виробництво та експорт гранул		0,97	0,35	0,01
-виробництво та спалювання брикетів		15	5,5	0,1
Стебла, стрижні кукурудзи	12828	15	5,0	0,1
Стебла, кошики соняшника	9299	0	0	0,0

Продовження табл. 2.7

1	2	3	4	5
Деревна біомаса:	10117	10037	2713	99,2
-спалювання(дрова)		7040	1848	69,6
-спалювання(тріски)		1405	340	13,9
-експорт дров/тріски		850	223	8,4
-виробництво та спалювання пелет		240	97	2,4
-виробництво та експорт пелет		332	135	3,3
-виробництво та експорт брикетів		170	69	1,7
Лушпиння соняшника:	2374	1500	626	63,2
-спалювання		650	271	27,4
-вирбництво та спалювання пелет		300	125	12,6
-виробництво та експорт пелет		450	188	19,0
Жом цукрового буряку (W 13 %)	4410	200	10,2	4,5
Силос кукурудзи(зелений)	27000	15	1,9	0,06
Гній тваринництва та послід птахівництва	30020	335	12,9	1,1
Всього	108306	12473	3499	в середньому: 11,5 %

На рис. 2.2 і 2.3 представлений потенціал використання енергії з біомаси в Україні. Як бачимо, найбільший потенціал деревної біомаси спостерігається у найбільш лісистих північних та північно-західних районах країни, таких як Житомирська, Львівська, Рівненська, Київська області, а також гірські території Карпат і Криму. Наприклад, загальний потенціал деревної біомаси у 2013 році становив 1378 тис. тон у нафтовому еквіваленті (н.е.), а потенціал агробіомаси – 8039 тис. тон н.е. Подібна інформація відображає сучасний стан справ в Україні. Потенціал деревної біомаси визначається рівнем розвитку деревообробної промисловості в конкретному регіоні і рівнем вирубок деревини, що зараз становить приблизно 50 % від річного приросту [26].

На рис. 2.4 наведено динаміку виробництва основних сільськогосподарських культур в Україні в період з 2010 до 2019 рр., на рис. 2.5 наведено структуру енергетичного потенціалу біомаси в Україні [30]. Валовий збір зернових, зернобобових культур, кукурудзи та соняшнику мав тенденцію на зростання. Відповідно, побічних продуктів переробки кількість зростає, які потенційно є твердим біопаливом.

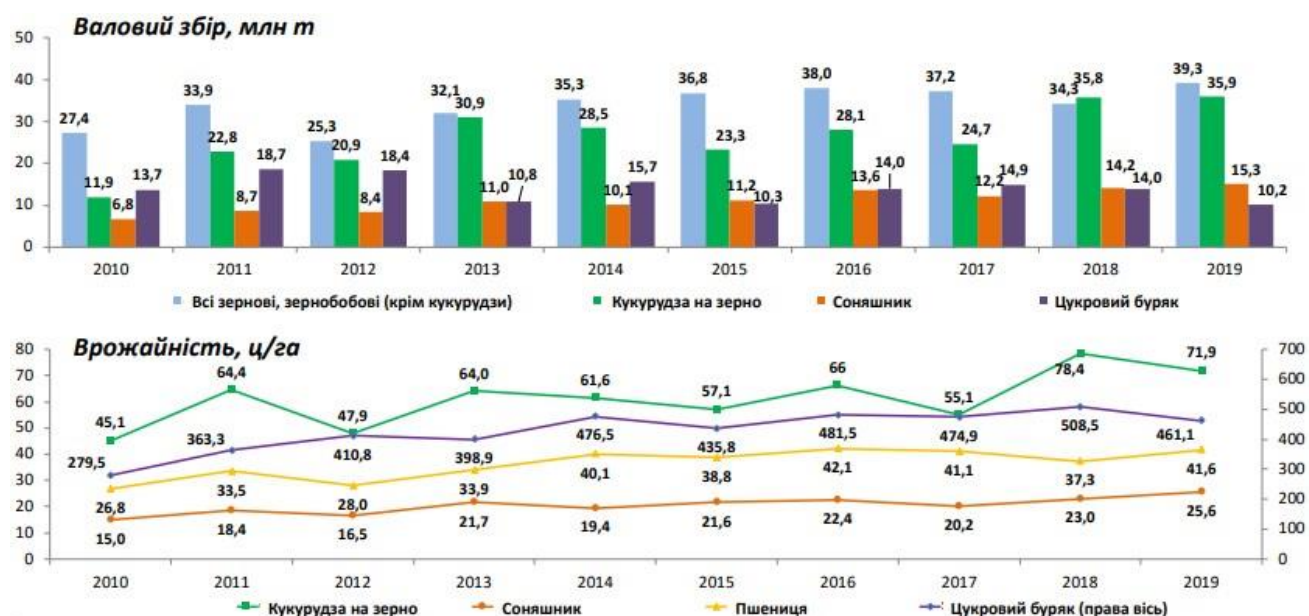


Рис. 2.4 – Динаміка виробництва основних с/г культур в Україні (2010-2019 рр.)

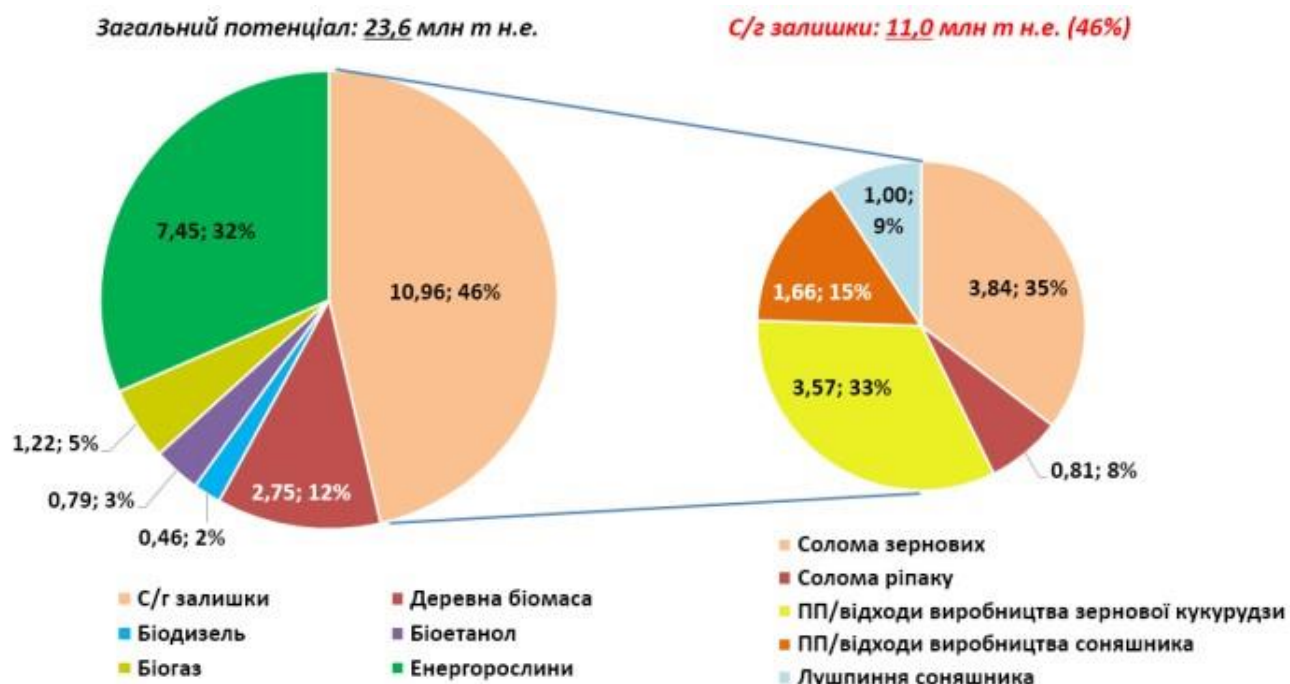


Рис 2.5 – Структура енергетичного потенціалу біомаси в Україні, 2019 р.

У центральних, південних та південно-східних регіонах України, де сільське господарство та харчова переробна галузь добре розвинуті, наявний найбільш доступний потенціал агробіомаси від цих секторів. Для аграрної біомаси основним фактором, що впливає на потенціал, є річна врожайність сільськогосподарських культур, яка значно змінюється в залежності від кліматичних умов кожного року. Крім того, з урахуванням тенденції зростання врожайності в Україні в найближчі роки, прогнозувалося збільшення потенціалу агробіомаси. Проте, повномаштабне вторгнення росії на територію нашої держави внесло негативні фактори у дані прогнози.

2.3 Класифікація і характеристика твердого біопалива

З урахуванням аналізу ринку, а також на основі вивчення й узагальнення літературних, патентних та інтернет джерел, тверді види біопалива класифікують у залежності від виду рослинної сировини, форми випуску, способу пресування і призначення (рис. 2.6) [31].

Відповідно до типу рослинної сировини, тверде біопаливо можна отримувати з вторинних продуктів та відходів обробки деревини (наприклад, стружка та тирса без кори, відходи з корою, кора, відходи виробництва МДФ, шліфувальний пил, відходи виробництва фанери і інші), з відходів і побічних продуктів сільськогосподарської сировини (соломи, лушпиння та лузга зернових культур, рису, кукурудзи, ячменю, гороху, соняшнику тощо) та з інших видів сировини.

Саме відходи та побічні продукти, отримані з сільськогосподарської сировини, складають значну частину всієї біомаси і можуть слугувати важливим джерелом палива для більшості сільських регіонів, особливо в областях з обмеженими лісовими ресурсами. За оцінками провідних фахівців у сфері біоенергетики, економічний потенціал біомаси оцінюється приблизно в 30 млн тонн умовного палива на рік, що може задовольнити до 14 % потреби України в первинній енергії, з яких 17 млн тонн умовного палива доступні на сьогоднішній день. Основними джерелами є відходи сільського господарства, такі як солома пшениці та ріпаку, стебла та качани кукурудзи, лушпиння соняшнику і інші. Потенціал деревної біомаси становить приблизно 1,63 мільйона тонн умовних одиниць, що в 7 разів менше потенціалу сільськогосподарських відходів. Ці види сировини мають ряд переваг: вони є одним з найдешевших відновлюваних джерел енергії, мають високі енергетичні характеристики, і при спалюванні

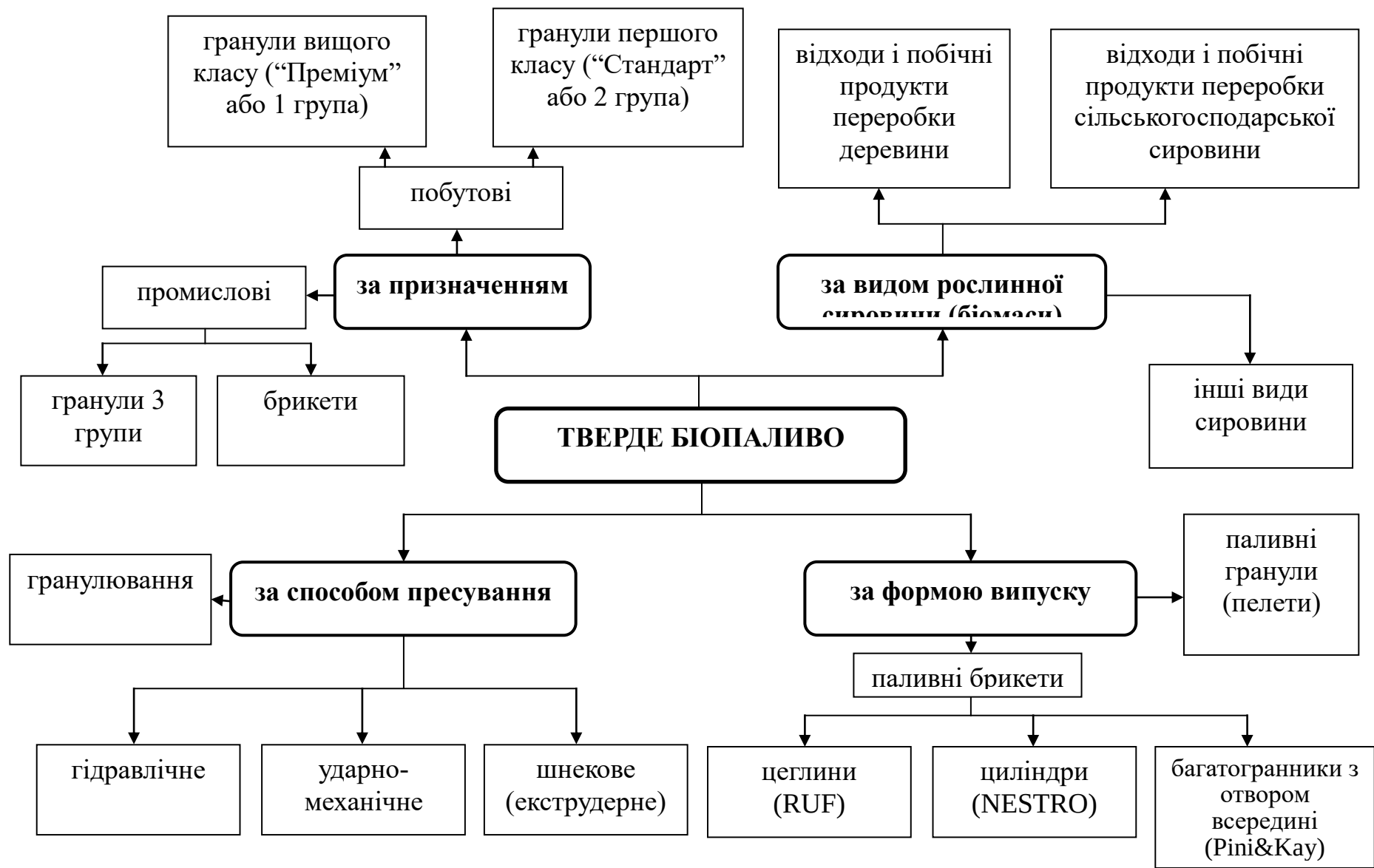


Рис. 2.6 – Класифікація твердого біопалива

твердого біопалива, одержаного з відходів і побічних продуктів сільськогосподарської сировини, утворюється значно менша кількість шкідливих викидів. Наприклад, кількість CO₂, що вивільняється в атмосферу, дорівнює тій, що була поглинена рослиною під час її росту [31-33].

Залежно від форми випуску тверде біопаливо поділяється на паливні гранули (пелети) і паливні брикети. Невід’ємним складником, який впливає на форму випуску гранул і брикетів, є спосіб пресування. В залежності від способу пресування розрізняють: гранулювання, як спосіб виробництва гранул (пелет) та гідравлічне, ударно-механічне і шнекове (або екструдерне) пресування, як спосіб виробництва брикетів.

Паливні гранули (пелети) – біопаливо, що отримують з відходів і побічних продуктів переробки деревини, сільськогосподарської сировини та інших видів рослинної біомаси шляхом гранулювання після висушування і подрібнення. Являють собою циліндричні гранули правильної форми різних розмірів.

Гранули відрізняються від звичайної сировини більш низькою вологістю (8–12 % вологи порівняно із 30–50 % у дровах) та більш високою щільністю, яка, приблизно, в 1,5–2 рази перевищує щільність вихідної сировини. Ці характеристики гарантують високу теплотворчу здатність у порівнянні із вихідною сировиною. Основні властивості пелет:

- при спалюванні одної тонни пелет виділяється еквівалентна кількість енергії, що дорівнює 1600 кг дров, 685 літрам мазуту, 500 літрам дизельного палива або 480 м³ газу;
- теплотворна здатність пелет у порівнянні з вугіллям становить 4,3 – 4,7 кВт/кг, (в 1,5 разу більше, ніж у деревини);
- конструктивні особливості печей дозволяють автоматизувати процес отримання необхідної кількості теплової енергії;
- горіння пелет у топці котла більш ефективне: залишки (зола) не перевищують 0,5 – 1,0 % від загального обсягу використовуваних гранул;
- при спалюванні гранули не мають негативного впливу на навколишнє середовище;
- пелети не містять прихованих пор, схильних до самозаймання при підвищенні температури.

Паливні брикети – екологічно чистий продукт, який виробляють без хімічних добавок і склеювальних речовин з натуральних, не оброблених ніякими хімічними препаратами відходів і побічних продуктів переробки деревини, сільськогосподарської сировини та інших видів рослинної біомаси шляхом

пресування. Теплотворна здатність брикетів становить 4,5 – 5 кВт/кг.

Брикети знаходять широке застосування і можуть бути використані для різних видів топок, котлів центрального опалення, ефективно горять у камінах, печах, грилях та інших пристроях. Однією з вагомих переваг брикетів є стабільність температури під час горіння протягом 4 годин. Брикети ущільнені в 4–12 разів, що значно зменшує площі для зберігання. Їх легше подавати в камеру топки порівняно з дровами чи вугіллям. Вони легко розпалюються, горять тривалий час і рівномірно. Горіння брикетів відбувається ефективніше: кількість залишків (золи) не перевищує 0,5–8,0 % від загального обсягу використаного палива (порівняно з зольністю деяких видів вугілля, яка сягає 30–40 %). Зола, що утворюється, може бути використана як калійне добриво. Під час горіння брикети не впливають негативно на навколишнє середовище та внутрішню атмосферу приміщення. Вони не є джерело неприємного запаху, не стріляють, не іскрять, майже не виділяють диму, кіптяви, чадного газу та інших шкідливих речовин, на відміну від дров чи вугілля [31-34].

В залежності від способу пресування та форми випуску брикети класифікують на три види: у вигляді цеглини (RUF) – одержані способом гідравлічного пресування, циліндричної форми (NESTRO) – одержані способом ударно-механічного пресування та багатогранники з отвором всередині (Pini&Kay) – одержані способом шнекового (екструдерного) пресування.

Брикети у вигляді цеглини (RUF) мають форму прямокутного паралелепіпеда зі скошеними кутами. Цей тип брикета формується за допомогою гідравлічного пресування, а його розміри залежать від рівня «пухкості» вихідної сировини та ступеня тиску, який використовується під час процесу виготовлення. Обмеження пов'язані з продуктивністю, а також з якістю і фіксованою формою брикету, призводять до того, що брикети RUF в Європі дуже мало використовуються на промисловому ринку, у великих котельнях. Якщо говорити про споживчий ринок, то й тут вони програють за декількома показниками брикетам, які виготовлені ударно-механічним способом, у середньому їх ринкова вартість на 20 % нижча. Також вони не користуються широким попитом і на внутрішньому ринку України.

Циліндричні брикети (NESTRO) одержують шляхом пресування на обладнанні ударно-механічного типу. Ці брикети виготовляють з отвором і без отвору всередині діаметром 50 і 80 мм, але можливо форму змінювати в залежності від застосовуваної насадки. Ці брикети мають необмежену довжину і можуть бути розділені на шайби або поліна. Завдяки своїй високій щільності

вони є дуже популярними в Європі. На внутрішньому ринку України найчастіше використовують кускові брикети, виготовлені за даною технологією, як паливо для твердопаливних котлів.

Багатогранники (призма 6 або 8-кутна) з отвором всередині (Pini&Kay) одержують шляхом шнекового пресування за допомогою поєднання високого тиску і термічної обробки в пресах-екструдерах. Такі брикети обов'язково мають отвір всередині та обпалену верхню поверхню. Основна ідея технології екструдювання при виробництві брикетів полягає в тому, що використовується пресування шнеком при високому тиску та високій температурі (200 – 300 °C). Висока температура, застосована під час пресування, призводить до обплавлення поверхні брикетів, що робить їх міцними і водонепроникними. Це важливо при подальшому зберіганні і транспортуванні брикетів, також знищується вся бактеріальна флора і виходить «мертвий» продукт для паразитів (жуків і мікроорганізмів). Ці брикети є популярними на ринку Прибалтики та користуються великим попитом у країнах, таких як Німеччина, Данія, Великобританія, Норвегія, Швеція та Італія [31, 34, 35].

За призначенням тверді види біопалива класифікують на побутові і промислові. До промислових відносять переважно паливні брикети. Паливні гранули (пелети) побутового призначення поділяються на: гранули вищого класу (“Преміум” або 1 група), гранули першого класу (“Стандарт” або 2 група). До гранул 3 групи відносять гранули побутового призначення. Паливні гранули вищого класу повинні містити не більше ніж 1,0 % золи, а гранули першого класу – не більше ніж 3,0 %. У цій класифікації важливе значення приділяють таким показникам, як теплотворна здатність, діаметр, довжина, щільність, вміст пилу, об'ємна маса, вологість, масова частка шкідливих речовин і вміст зв'язувальних речовин [31].

2.4 Характеристика сировини для виробництва твердого біопалива

Паливні гранули та брикети можна виготовляти з будь-яких видів біомаси, які володіють достатньою енергетичною цінністю та задовільними фізичними властивостями, а також є можливість їх ефективно подрібнювати і пресувати.

Залежно від виду сировини тверде біопаливо можна одержувати:

- з відходів і побічних продуктів сільськогосподарської сировини (соломи, початків кукурудзи, лушпиння соняшнику, лузги зернових культур тощо);
- з відходів і побічних продуктів переробки деревини (таких як стружка та тирса без кори, відходи із корою, кора, залишки від виробництва МДФ,

шліфувальний пи́л, відходи фанерних виробництв тощо);

– з інших видів сировини (торф, тверді побутові відходи, осад стічних вод тощо) [31, 35].

Солома зернових

Україна, яка традиційно є аграрною країною, має приблизно 70 % своєї території як орні землі. Це створює можливість для вирощування та обробки різноманітних зернових культур, при цьому одним з побічних продуктів є солома. На сьогоднішній день резерви соломи перевищують ресурс будь-яких інших видів біомаси в країні, особливо з урахуванням співвідношення маси зерна до маси стебел зернових культур. Проте, наразі соломі зернових культур можна назвати стратегічним запасом, адже її використання у вигляді палива не набуло широкого вжитку та практичного спрямування. Останнім часом було створено кілька підприємств-виробників пелет із соломи, здебільшого з орієнтацією на експорт до країн Європейського Союзу. Такий напрямок був обраний через відсутність значної внутрішньої потреби в таких пелетах на внутрішньому ринку. Це рішення, серед іншого, пов'язане з труднощами використання соломи як палива, перевезенням та стандартизацією через значні відхилення в основних фізико-хімічних параметрах, навіть між сусідніми агрогосподарствами. У табл. 2.8 наведено середні значення хімічного складу соломи для найпоширеніших зернових культур в Україні [14].

Таблиця 2.8 – Характерні середні показники хімічного складу соломи для найпоширеніших зернових культур

№ п/п	Найменування	Види соломи зернових культур			
		Жито	Овес	Пшениця	Ячмінь
1.	Зольність, %	3,98	5,9	4,5	5,88
2.	Вуглець, С %	47,66	47,6	47,1	46,2
3.	Водень, Н %	5,62	5,8	5,9	5,7
4.	Азот, N %	0,24	0,5	0,6	0,6
5.	Сірка, S %	0,04	0,08	0,1	0,08
6.	Кисень, О %	42,4	43,5	41,8	41,54
7.	Нижча теплота згоряння, Q_i^d , МДж/кг	17,75	17,67	17,82	17,43
8.	Вища теплота згоряння, Q_s^d , МДж/кг	18,51	18,54	18,71	18,15

Солома для транспортування, зберігання і подальшого використання пресується прес-підбирачами в рулони або тюки. Розрізняють озиму і яру

солому, злакові та бобові, а за видами рослин – пшеничну, житню, ячмінну, льняну, конопляну та ін. Хороша злакова солома – світла, блискуча, пружна; а та солома, яка зберігалась тривалий час – ламка, легко пилиться, часто з пряним запахом.

Використання соломи в якості сировини для прямого спалювання ускладнене на етапах збору, транспортування та зберігання, а також під час безпосереднього спалювання. Це пов'язано з її неоднорідністю і відносно високою вологістю, низькою об'ємною масою, температурою плавлення золи і підвищеним вмістом хлору. Великий вміст хлору, що спостерігається в соломі вівса, ячменю та ріпаку, призводить до підвищеної корозії елементів котлів. Солома, подібно до загальної біомаси, є паливом, яке утримує баланс викидів CO_2 . Так як кількість CO_2 , яку поглинула рослина з атмосфери під час росту, приблизно дорівнює кількості CO_2 , яка виділяється в атмосферу під час її спалювання. Однак, в соломі містяться шкідливі небажані елементи – азот, калій, хлор. Азот збільшує емісію NO_2 , хлор і лужні метали можуть викликати корозію високотемпературних поверхонь [14, 36].

Стебла і стрижні кукурудзи

Площа під посівами кукурудзи в Україні постійно збільшується і входить до топ-трійки агрокультур після зернових та соняшнику, зростаючи на середній відсоток від 10 до 15 % щорічно. Це свідчить про великий потенціал використання залишків та відходів цієї культури як альтернативного виду палива в Україні. Однак, незважаючи на цей потенціал, кукурудза досі не отримала широкого застосування як паливо через труднощі технологічного процесу збору залишків та невелику популярність аграрної біомаси як джерела енергії. На відміну від цього, властивості кукурудзи щодо паливної ефективності не поступаються іншим аграрним біомасам і навіть перевищують їх за показниками вологості та теплотворної здатності.

Важливо відзначити, що порівняно із соломою зернових культур, стебла кукурудзи мають більш волокнисту структуру, що може викликати проблеми під час їх збору та подальшого використання внаслідок складнощів в допалюванні коксових залишків та необхідності видалення значної кількості золи (табл. 2.9) [14].

Таблиця 2.9 – Типові усереднені значення хімічного складу різних частин кукурудзи

№ п/п	Найменування	Частини кукурудзи		
		початок	стебло	листя
1.	Зольність, %	1,36	5,06	7,35
2.	Вуглець, С %	46,58	46,82	46,5
3.	Водень, Н %	5,87	5,74	5,81
4.	Азот, N %	0,47	0,66	0,56
5.	Сірка, S %	0,01	0,11	0,11
6.	Кисень, О %	45,46	41,36	39,67
7.	Нижча теплота згоряння, Q_i^d , МДж/кг	17,49	16,85	17,73
8.	Вища теплота згоряння, Q_s^d , МДж/кг	18,11	18,44	18,61

Лушпиння соняшнику

Україна займає лідируюче місце серед світових виробників рослинної олії, що виражається як у першому місці за обсягами виробництва, так і за обсягами експорту. Колись вирощування соняшнику, яке стало однією з ключових технічних культур на території України, мало історичний характер. У період перебування України у складі бувшого Радянського Союзу значна частина соняшникового насіння експортувалася як сировина. Однак після отримання незалежності, особливо протягом останніх 10–15 років, ситуація суттєво змінилася. З'явилося значне число переробних підприємств насіння для виробництва олії, що призвело до переосмислення методів обробки та вирощування соняшнику та сприяло утворенню великої кількості побічної продукції у вигляді лушпиння соняшнику – відходів від технологічного процесу отримання рослинної олії. Починаючи з 2003 року, лушпиння соняшнику стали використовувати як вид палива безпосередньо на підприємствах, що виробляють рослинну олію. Згодом лушпиння соняшнику стало сировиною для виробництва твердого біопалива для різних споживачів. Сьогодні лушпиння соняшнику активно використовується на практично всіх підприємствах-виробниках рослинної олії (загальний обсяг близько 500 000 тонн) та широко застосовується для заміщення природного газу в промислових печах будівельного та металургійного секторів в Україні.

Зараз лушпиння соняшнику широко використовується для енергетичних потреб підприємств, таких як ПАТ «Ватутінський комбінат вогнетривів» (витрата лушпиння до 3 тонн на годину, заміщення природного газу на 80 % у обортовій печі для обпалювання шамоту), ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (витрата лушпиння до 7 тонн на годину, заміщення природного газу на 45 % у цеху обпалювання вапняку, печах №4 та №5), ПАТ «Запоріжжвогнетрив» (витрата лушпиння до 2,5 тонн на годину, заміщення природного газу на 55 % у печі №3 для обпалювання шамоту, при середній завантаженості устаткування протягом 18 днів на місяць), та ВАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» (витрата лушпиння до 12 тонн на годину, заміщення природного газу на 40 % у кожній з чотирьох обортових печей). Щодо фізико-хімічних властивостей лушпиння та пелет з лушпиння, то вони, подібно до багатьох інших аграрних відходів та залишків, представляють собою певні труднощі для спалювання, порівняно з деревиною, незважаючи на дещо вищу теплоту згоряння. Основні труднощі виникають через високий вміст золи, значну кількість летючих речовин та низьку насипну щільність. У табл. 2.10 представлені середні значення хімічного складу лушпиння соняшнику [14, 37, 38].

Таблиця 2.10 – Типові середні значення хімічного складу лушпиння соняшнику

№ п/п	Найменування	Лушпиння соняшнику
1.	Зольність, %	3,83
2.	Вуглець, С %	48,25
3.	Водень, Н %	5,84
4.	Азот, N %	0,81
5.	Сірка, S %	0,24
6.	Кисень, О %	41,03
7.	Нижча теплота згоряння, Q_i^d , МДж/кг	18,51
8.	Вища теплота згоряння, Q_s^d , МДж/кг	19,12

Лузга, мучка круп'яних культур

Ця сировина представляють певні можливості для виробництва твердого органічного біопалива. Але вони мають ряд недоліків, таких як незадовільна сипкість, низька питома вага та щільність, що призводить до поганої транспортабельності та обмеженої теплотворної здатності. Тому оптимальною формою готової продукції вважається пресована, така як гранули або брикети. Результати експериментальних досліджень показують, що лузга, незалежно від

виду культури, має низькі фізичні характеристики, такі як мала сипкість, великий кут насипного ухилу, і менша об'ємна маса, порівняно з мучкою. Досліджувана сировина для виробництва біопалива різняться за розмірами частинок, насипною та питомою вагою, вологістю, міцністю частинок матеріалу і хімічним складом. Тому важливо розробити технологію, яка максимально підвищить теплотворну здатність палива, особливо шляхом пресування (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Фізичні властивості деяких видів лузги, мучка круп'яних культур

Найменування	Фізичні властивості				
	Масова частка вологи, %	Середньозважений розмір частинок, мм	Об'ємна маса, кг/м ³	Кут природного укошу, град	Сипкість, см/с
Лузга ячмінна	11,5	1,30	180-190	70-80	16
Лузга вівсяна	12,2	1,54	130-200	80-90	12
Мучка ячмінна	11,0	0,70	390-460	45-55	17
Мучка вівсяна	14,5	1,45	300-400	50-60	17
Лузга гречана	11,0	1,35	140-150	70-80	16

За калорійністю паливні гранули та брикети, виготовлені на основі лузги, перевищують деревину і складають 4,2 – 4,4 кВт/кг. Золу після спалювання можна використовувати як добриво для сільського господарства [39-42].

2.5 Вимоги до якості твердого біопалива

Тверде біопаливо (паливні гранули і брикети) є стандартизованим видом біопалива, проте у різних країнах прийняті різні стандарти його виробництва. На сьогодні в Україні відсутні стандарти для паливних гранул та брикетів, і, як наслідок, багато виробників спираються на європейські стандарти, які можуть різнитися від країни до країни, або створюють свої технічні умови (ТУ). Крім того, існуючі західноєвропейські стандарти іноді охоплюють не лише якість самих гранул/брикетів, але також стандарти виробництва, зберігання та транспортування.

З метою виробництва конкурентоспроможної енергетичної продукції вітчизняного виробництва та виходу на європейський ринок важливо впроваджувати виробництво твердого біопалива відповідно до вимог країн, де планується реалізація цієї продукції. Однак, зважаючи на широкий спектр

вимірюваних параметрів якості твердого палива, доцільно визначити стандарти, які відповідають найвищим вимогам. Такі вимоги можуть бути визначені на основі сертифікатів, виданих країнами Європи. З метою узагальнення цих вимог та врахування мінімальних нормативів, розроблений проєкт нормативних значень для твердого біопалива (паливних гранул), що дозволяє впроваджувати продукцію на будь-якому європейському ринку. Цей проєкт враховує мінімальні норми щодо вимог до якості твердого біопалива [43].

У даний момент в Україні в ролі стандартів для твердого біопалива використовують такі документи: ТУ “Паливо гранульоване” Технологічний регламент на виробництво брикетів і гранул паливних з лушпиння соняшнику, ТУ “Паливо з відходів деревини, с/г культур гранульоване і брикетоване”, ГОСТ 3243-88. Дрова. ТУ, ГОСТ 7657-84. Вугілля деревне. ТУ, ГОСТ 23246-78. Деревина здрібнена. Терміни та визначення, ДСТУ 7123:2009. Лушпиння соняшнику. ТУ, ДСТУ 7134: 2009. Лушпиння соняшнику пресоване гранульоване. ТУ [44], ДСТУ EN 15234-1:2013 Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 1. Загальні вимоги, ДСТУ EN 15234-2:2013 Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 2. Пелети деревні для непромислового використання, ДСТУ EN 15234-3:2013 Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 3. Брикети деревні для непромислового використання [45].

Єдиного Європейського стандарту на паливні гранули та брикети поки не існує. У різних країнах прийнято різні стандарти на виробництво паливних гранул і паливних брикетів. У 1996 році в Німеччині вперше були сертифіковані гранули з відходів переробки деревини – стандарт DIN 51731 (briquettes and pellets). В Австрії діє стандарт ONORM M 7135 (briquettes and pellets), але у зв’язку з приходом на ринок низькосортних гранул, виготовлених в основному за кордоном, з весни 2002 року на гранули в Німеччині отримують новий сертифікат DIN plus, у якому поєднано вимоги німецького та австрійського стандартів. У Великобританії – The British Biogen Code of Practice for biofuel (pellets), у Швейцарії – SN 166000 (briquettes and pellets), а у Швеції – SS 187120 (pellets) [45, 46].

Вимоги до якості паливних гранул і паливних брикетів у відповідності до європейських стандартів DIN 51731 (Німеччина), ONORM M 7135 (Австрія), DIN plus (Німеччина), SS 187120, SS18 71 21 (Швеція) наведено в табл. 2.12, 2.13 [31, 43, 45].

Таблиця 2.12 – Деякі європейські стандарти якості на паливні гранули (пелети)

Показники	DIN 51731 Німечч ина	ONOR М М 7135 Австрія	DIN plus Німечч- чина	SS 187120 Швеція		
				1 група	2 група	3 група
Діаметр, мм	4-10	4-10	4-10	≤ 25	≤ 25	≤ 25
Довжина, мм, не більше	50	5d	5d	4d	5d	5d
Щільність, кг/м ³ , не менше	1,0-1,4	1,12	1,12	н/в	н/в	н/в
Вологість, %, не більше	12,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0
Об'ємна маса, кг/м ³ , не менше	650,0	650,0	650,0	500	500	500
Вміст пилу, %, не більше	5,0	2,3	2,5	н/в	н/в	н/в
Зольність, %, не більше	1,5	0,5	0,5	0,7	1,5	1,5
Теплотворна здатність, МДж, не менше	17,5- 19,5	18,0	18,0	16,9	16,9	15,1
Масова частка, %, не більше: сірки	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08	н/в
азоту	0,30	0,30	0,30	н/в	н/в	н/в
хлору	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	н/в
миш'яку	0,80	н/в	0,80	н/в	н/в	н/в
свинцю	10,00	н/в	10,00	н/в	н/в	н/в
кадмію	0,50	н/в	0,50	н/в	н/в	н/в
хрому	8,00	н/в	8,00	н/в	н/в	н/в
міді	5,00	н/в	5,00	н/в	н/в	н/в
ртуті	0,05	н/в	0,05	н/в	н/в	н/в
цинку	100,00	н/в	100,00	н/в	н/в	н/в
Вміст зв'язувальних речовин, %, не більше	н/в	2,0	2,0	н/в	н/в	н/в

Примітка: н/в – не визначається

Таблиця 2.13 – Деякі європейські стандарти якості на паливні брикети

Показники	ONORM713 5		SS18 71 21			SS18 71 21				
	брике ти із дерев ини	брик ети із кори	гру па 1	гру па 2	гру па 3	5 класів за розміром				
Діаметр, мм	20- 120	20- 120	min 25	min 25	min 25	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Довжина, мм	max 400	max 400	> 1/2 діа мет ра, max 300	min 10, max 100	–	>3 00	150 - 300	100 - 150	<10 0	<50
Об'ємна маса, кг/м ³ , не менше	–	–	550, 0	450, 0	450 ,0	–				
Вміст пилу, %, не більше	15	–	8	10	> 10	–				
Вологість, %, не більше	12,0	18,0	12,0	12,0	15, 0	12,0				
Зольність, %, не більше	0,5	6,0	1,5	1,5	–	1,5				
Теплотворна здатність, МДж, не менше	18,0	18,0	16,2	16,2	–	17,5-19,5				
Масова частка, %, не більше: сірки	0,04	0,08	0,08	0,08	–	0,08				
азоту	0,30	0,60	–	–	–	0,30				
хлору	0,02	0,04	0,03	0,03	–	0,03				
кадмію	–	–	–	–	–	0,50				
хрому	–	–	–	–	–	8,00				
1	2	3	4	5	6	7				
ртуті	–	–	–	–	–	0,05				
цинку	–	–	–	–	–	100,00				
Вміст зв'язувальних речовин, %, не більше	2,0		–	–	–	–				

У Європейському союзі відсутній загальний стандарт для сертифікації пелет і брикетів, виготовлених з агрокультур, а саме – соломи. Однак, більшість

країн, що виробляють і споживають ці продукти, використовують відповідні стандарти, прийняті в країнах ЄС. Зокрема, це стосується стандартів AGRO+ та AGRO (Франція) (табл. 2.14) [37].

Таблиця 2.14 – Вимоги до агропелет та агробрикетів

Показники	AGRO+	AGRO
Діаметр, мм	6-8 (± 1)	6-16 (± 1)
Довжина, мм	10-30	10-30
Об'ємна маса, кг/м ³ , не менше	650	650
Вологість, %, не більше	11	15
Теплотворна здатність, МДж, не менше	15,5	14,7
Вміст пилу, %, не більше	2	3
Зольність, %, не більше	5	7
Масова частка, %, не більше: сірки	0,2	0,2
азоту	1,5	2
хлору	0,2	0,3
Показник плавлення золи, С, не б.	1000	800

Міжнародний стандарт ISO EN 17225, спроектований на основі європейських стандартів у сфері твердого біопалива, встановлює класи якості та технічні вимоги для твердого біопалива, виготовленого з різних видів сировини та оброблених матеріалів. Ці сировина і матеріали можуть бути отримані з лісового господарства, сільського господарства і садівництва, а також аквакультури [37, 38].

В Україні національних стандартів на паливні гранули та паливні брикети поки що не існує. А оскільки основна частка виробленого твердого біопалива іде на експорт, то виробники дотримуються вимог до якості країни-експортера. Проте, необхідно зазначити, що Західна Європа на сьогоднішній день має великий дефіцит у біопаливі, а це означає, що вимоги до якості мінімальні. На перше місце виходять критерії стабільності поставок. Отже, при виробництві твердого біопалива є сенс тимчасово орієнтуватися не на ті чи інші стандарти, а на вимоги конкретних покупців і на технічні можливості підприємств.

Наприклад, в Австрії діє кілька наступних стандартів:

– ÖNORM M 7135 Вимоги до пеллет. Цей стандарт визначає характеристики якості пелет і брикетів. Пелети повинні бути виготовлені з натурального дерева, з використанням природних зв'язуючих речовин, не більше

2 %. У документі визначаються стандарти для виробників пелет, такі як щотижневий контроль якості продукції, а також встановлюються вимоги до маркування готової продукції.

– ÖNORM M 7136 Вимоги до логістики пелет. Описується, яким чином слід здійснювати транспортування пелет, включаючи підготовку транспорту та захист від надлишкової вологи. Також встановлюються вимоги до перевізника (наприклад, автотранспорт, що перевозить більше 8 000 кг пеллет повинен бути обладнаний каліброваною системою зважування). Вимоги до підготовки персоналу.

– ÖNORM M 7137 Вимоги до зберігання пеллет у кінцевого користувача.

Ураховуючи економічні та екологічні аспекти твердого біопалива, Європейська організація по стандартизації (CEN) розробила спільні європейські стандарти для цього типу палива, з метою чого було створено Технічний комітет (TC) 335, що включає 5 робочих груп (WG).

Список робочих груп, країн, що їх очолюють і кількість розроблюваних стандартів:

- WG1 Термінологія визначення і опису (Німеччина) – 1 стандарт.
- WG2 Специфікація палива і його класи (Фінляндія) – 2 стандарти.
- WG3 Взяття зразків (Нідерланди/Великобританія) – 3 стандарти.
- WG4 Фізичні механічні методи тестування (Швеція) 13 стандартів (теплотворна здатність, насипна щільність, вологість, летючі речовини і т.д.).

- WG5 Хімічні методи тестування (Нідерланди) (хлор, водень, кисень і т.д.). Основні групи документів:

- DD CEN / TS14588: 2004 Тверде біопаливо – Термінологія, визначення та опис.

- DD CEN / TS14961: 2005 Тверде біопаливо – Специфікація обладнання та його класи.

- DD CEN / TS15234: 2006 Тверде біопаливо – Забезпечення якості палива [38].

Таким чином, процес виробництва твердого біопалива залежить від ряду факторів, таких як наявність сировинної бази, ефективність технологій виготовлення готової продукції (паливних гранул і брикетів), ринку реалізації, державного регулювання та підтримки. Адже виробництво біопалива є достатньо специфічним виробництвом, оскільки одним із основних завдань, покладених на нього, є підвищення екологічної безпеки країни і світу в цілому.

Розглянемо деякі основні показники, які детальніше характеризують

тверде біопаливо: розміри (діаметр та середня довжина), теплотворна здатність (теплота згорання), зольність, вміст вологи, питома щільність, насипна щільність, вміст хімічних елементів (хлор, азот, сірка та ін.), а також вміст інших компонентів та домішок.

Розміри діаметра і середньої довжини паливних брикетів визначаються згідно з вимогами кінцевого споживача, оскільки ці брикети мають широкий спектр застосувань і можуть бути застосовані без необхідності використання спеціального обладнання для їхнього згорання. Зазвичай довжина паливних брикетів визначається як п'ятикратне значення їх діаметра.

У випадку паливних гранул стандарти для розмірів більш жорсткі, оскільки вони використовуються у паливних котлах з автоматизованою системою подачі, такою як шнеки або транспортери. Тому діаметри паливних гранул зазвичай знаходяться у межах від 6 до 8 мм.

Під теплотою згорання біомаси мають на увазі кількість тепла, яке виділяється при згорянні 1 кг речовини. Розрізняють вищу і нижчу теплоту згорання. Вища теплота згорання визначається як кількість тепла, виділеного при повній конденсації всіх утворених при горінні водяних парів з віддачею тепла, витраченого на їх випаровування. Нижча теплота згорання визначається як кількість тепла, що виділилася при згорянні 1 кг біомаси, без врахування тепла, витраченого на випаровування вологи, утвореної під час горіння.

Вимірювання теплоти згорання біопалива здійснюється у сертифікованих лабораторіях за допомогою «калориметричної бомби». Отримані дані зазвичай виражаються у МДж/кг або кДж/кг і можуть бути визначені в залежності від маси вологого, сухого або сухого беззольного палива.

Масову частку золи визначається як вміст мінеральних речовин у паливі, які залишаються після повного згорання усієї горючої речовини. Зола є нежаданою складовою палива, оскільки вона зменшує вміст горючих елементів і ускладнює експлуатацію топкових пристроїв. При проведенні аналізів вміст золи розраховується на суху масу палива.

Згідно з європейськими стандартами, вміст золи в паливних гранулах вищого гатунку повинен становити не більше 0,5-1,5 %. Слід відзначити, що в процесі згорання у промислових установках з автоматичним видаленням золи, наявність золи в паливних гранулах має невеликий вплив.

Вологість біомаси визначається як кількісна характеристика, яка вказує на вміст вологи у біомасі. Тут розрізняють абсолютну та відносну вологість біомаси. Абсолютна вологість визначається як відношення маси вологи до маси

сухої сировини, тоді як відносна або робоча вологість вказує на відношення маси води до маси вологої сировини. Рівень вологості суттєво впливає на теплотворчі характеристики біопалива, де низький рівень вологості забезпечує стабільну ефективність при спалюванні. Водночас вологість має значний вплив на якість паливних гранул. Наприклад, при вологості сировини понад 14 %, щільність гранул зменшується, і через випаровування води вони можуть розколюватися, що призводить до зниження їх міцності.

Питома щільність високоякісних паливних гранул знаходиться в діапазоні від 1 до 1,4 кг/дм³ і змінюється в залежності від типу сировини, використаної для виготовлення готової продукції. Насипна щільність, або об'ємна маса, визначається як відношення маси паливних гранул до об'єму, який вони займають. Під час гранулювання біомаси насипна щільність продукції в середньому зростає від 100 до 650 кг/м³.

Наприклад, якщо говорити про якісні брикети, то їх насипна щільність складає не менше 650 кг/м³. Щільність є основним показником, який впливає на механічну міцність, водостійкість і калорійність паливних гранул і брикетів. Зазвичай чим щільніше паливні гранули, тим вищі їх показники якості. Наприклад, при щільності гранул в діапазоні від 650 до 750 кг/м³, калорійність може становити від 12 до 14 МДж/кг, а при щільності від 1200 до 1300 кг/м³ – від 25 до 31 МДж/кг.

2.6 Електронна система торгівлі біопаливом

На українському ринку біопалива виникає кілька проблем, які вимагають негайного вирішення. Нестабільність цін на цей вид товару негативно впливає на функціонування існуючих та формування нових об'єктів для виробництва енергії. Вартість деревини, пелет, брикетів і тріски, а також інших видів твердого біопалива може значно відрізнятись в різних регіонах. Ціни на біопаливо в межах одного регіону також можуть змінюватись залежно від сезону і вартості природного газу, іноді без видимих причин.

Надійність постачання біопалива є гальмом для розвитку біоенергетичних проєктів. Часто стаються випадки, коли у поставці біопалива відмовляють через ненадійність виробників або постачальників, змушуючи споживачів шукати альтернативні рішення за будь-якою ціною, щоб уникнути зупинки виробництва.

Питання якості біопалива також залишається невирішеним. Виробники застосовують власні технічні стандарти, частково ігноруючи європейські норми.

Іноді виробникам твердого біопалива важко знайти ринки збуту для своєї продукції, тоді як споживачі в інших районах мають труднощі з пошуком надійних постачальників. Це свідчить про те, що ринок біопалива розвивається хаотично і потребує системних змін.

Системою організації ринку біопалива повинна стати єдина електронна платформа, де виробники та споживачі будуть проводити торгівлю. Збільшення кількості учасників має викликати значну конкуренцію, сприяючи зниженню та вирівнюванню цін.

Країни ЄС вже володіють досвідом організації ринку біопалива через використання електронних платформ. Наприклад, у Литві у 2012 році було відкрито біржу біопалива Baltpool. Частка біомаси, яку придбано через цю платформу, зросла з 1 % у 2013 році до 86 % у 2016 році. Створення біржі призвело до більш ефективного та прозорого функціонування ринку біомаси в Литві. Вартість біомаси знизилася на 40 % у 2015 році порівняно з 2012 роком, а різниця у цінах між сусідніми районами практично зникла.

Протягом 2014-2016 років середня вартість біомаси на біржі Baltpool була на 5-15 % нижче, ніж ціна біомаси, купленої за межами біржі. Збільшилася кількість постачальників завдяки легкому доступу до торгівлі на біржі.

Аналогічну платформу, Biomass Pool, запустили в Данії у 2018 році. Очікується, що обсяг торгівлі деревною тріскою через Biomass Pool сягне 100 тис. тонн у 2025 році при загальному обсязі споживання в 4 млн тонн у цій країні.

Ще одним позитивним прикладом організації торгівлі біопаливом є біржа біомаси Graceful Globe. Ця електронна платформа орієнтована на проведення B2B-торгівлі між споживачами, виробниками та оптовими продавцями біомаси з усіх куточків світу.

Торгівля на даній біржі відбувається через онлайн-аукціони на анонімній основі, де учасники можуть подавати заявки на продаж та купівлю в будь-який момент. Аналогічна до цієї система, Minneapolis Biomass Exchange, діє в США з 2009 року, пропонуючи угоди на купівлю, перевірку якості, систему онлайн-транзакцій і логістичні послуги.

При впровадженні подібної системи в Україні важливо враховувати місцеві особливості. Очікується, що в Україні аграрна біомаса складе понад 50 % від загального обсягу споживання твердого біопалива до 2025 року. З цієї

причини система електронної торгівлі повинна бути гнучкою для можливості торгівлі аграрною біомасою.

З часом до переліку біопалива, яким можна торгувати через електронну платформу, можуть долучити рідкі та газоподібні види біопалива. У будь-якому випадку торгівля повинна відповідати класам якості, визначеним внутрішніми документами системи електронної торгівлі, з орієнтацією на європейські стандарти. Роботу платформи здійснюватиме оператор, якому буде відведена роль забезпечення рівних умов для ведення електронної торгівлі, підготовки звітів про діяльність, надання інформації про систему учасникам торгівлі та іншим зацікавленим особам. Також важливо, щоб оператор уникав конфлікту інтересів і не здійснював діяльність, пов'язану з використанням біопалива. Оскільки оператор буде монополістом у здійсненні торгівлі біопаливом, ціни на його послуги будуть визначатися на основі спеціальної методики.

На рис. 2.7 відображена структура системи електронної торгівлі біопаливом в Україні. Методику визначення максимальних цін на послуги оператора повинен затверджувати державний орган, що відповідає за регулювання електронної торгівлі біопаливом.



Рис. 2.7 – Структура системи електронної торгівлі біопаливом в Україні

Ці повноваження можуть бути делеговані Держенергоефективності як органу, що реалізує державну політику у сфері відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, або НКРЕКП як органу, що регулює діяльність

суб'єктів господарювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Вирішення питання про те, яка інституція отримає повноваження регулювати електронну торгівлю біопаливом, вимагає додаткового опрацювання.

Вибір оператора повинен відбуватися на конкурентній основі шляхом проведення тендеру. Оцінка претендентів буде здійснюватися за рядом критеріїв, таких як наявність технічних засобів, засобів зв'язку та програмного забезпечення, а також досвіду у сфері електронної торгівлі біопаливом або іншими ресурсами. Конкретний порядок відбору оператора буде визначено спеціальним актом. Для забезпечення повноти системи електронної торгівлі біопаливом угодами, рекомендується встановити обов'язок використання цієї системи для окремих підприємств.

Для виробників твердого біопалива, зокрема державних та комунальних підприємств, лісгоспів, деревообробних компаній, і сільськогосподарських виробників, обов'язковою буде торгівля через електронну систему. Серед покупців біопалива також визначаються державні та комунальні підприємства, що здійснюють закупівлі згідно із законом «Про публічні закупівлі», суб'єкти господарювання, які отримали «зелений» тариф, а також ті, хто скористався стимулюючим тарифом на теплову енергію з альтернативних джерел енергії.

Однак виняток буде зроблено для тих суб'єктів, які використовують власні ресурси біомаси і не потребують її закупівлі. Введення обов'язкової торгівлі через електронну систему буде поетапним процесом: від 20 % від загального річного обсягу виробництва чи споживання біопалива у 2019 році до 100 % у 2022 році (рис. 2.8).

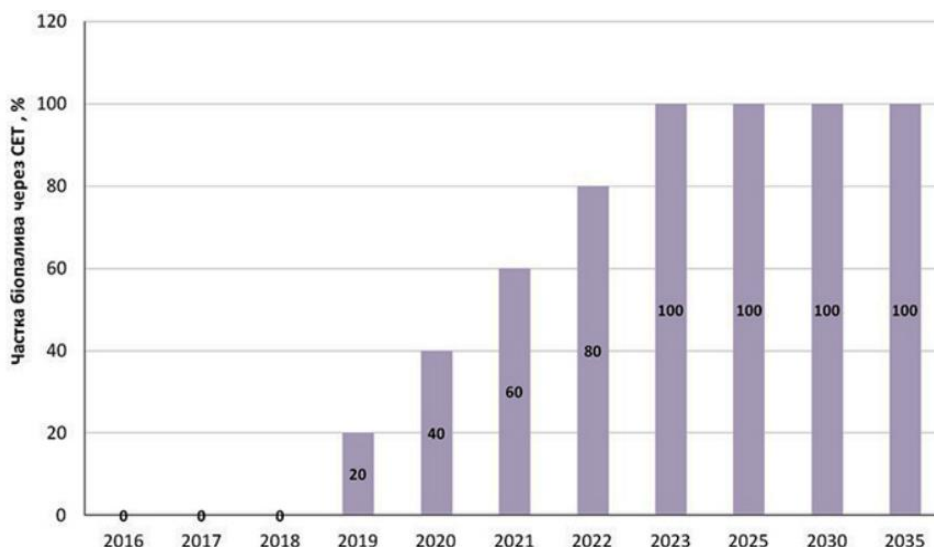


Рис. 2.8 – Загальний річний обсяг виробництва / споживання біопалива

Уповноважений орган, який буде обраний, візьме на себе відповідальність за контроль за дотриманням встановлених обсягів обов'язкової торгівлі через електронну платформу. Підприємства щорічно будуть подавати звіти цьому органу щодо виконання обов'язкових відсотків, а в разі їхнього порушення будуть притягуватися до відповідальності.

Впровадження електронної торгівлі біопаливом вимагає значних зусиль, таких як розробка і ухвалення відповідного законодавства, визначення уповноваженого органу, проведення тендеру та вибір оператора системи. Проте, ці зусилля є важливими для створення в Україні ефективного, прозорого та європейського ринку біопалива [48, 49].

Розділ 3 Загальна методика, об'єкт і методи дослідження

3.1 Розробка програми та вибір об'єкту дослідження

У відповідності з поставленими задачами була розроблена програма проведення дослідження (рис. 3.1), в якій відображено основні напрями роботи, показано взаємозв'язок етапів технології виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів).

Відповідно до методології системного підходу першим етапом було проведення аналітичних досліджень, що дозволило визначити науково-методичні основи проведення дослідження, вибрати об'єкт, предмет і експериментальну базу, методи та загальну методику дослідження, визначити послідовність ключових етапів вирішення поставлених задач.

На другому етапі роботи теоретично обґрунтовано перелік сировини для виробництва твердого біопалива. Характеристика сировини, яку використовували при виробництві твердого біопалива, наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика сировини

Сировина	Характеристика (НТД)
лузга вівсяна	ДСТУ 2629-94 [40]
лузга ячмінна	ДСТУ 2629-94 [40]
лузга гречана	ДСТУ 2629-94 [40]
лушпиння соняшнику	ДСТУ 7123:2009 [51]
відходи очистки соняшнику	ДСТУ 7123:2009 [51]
вугільний пил	ДСТУ 3472:2015 [52]
тирса	ДСТУ 2034-92 [53]

На третьому етапі дослідження розроблено спосіб виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів). Визначено показники якості вихідної сировини і готової продукції.

На четвертому етапі дослідження проведено економічну оцінку ефективності впровадження результатів науково-дослідної роботи при будівництві цеху з виробництва твердого біопалива.

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6						
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива			Літ.	Арк	Аркушів	
Консультант										60	8
Перевірів		Бордун Т.В.						ОНТУ 2023			
Зав.каф.		Макаринська А.В.									
Затверд.											



Рис. 3.1 – Програма проведення дослідження

Відповідно до поставленої мети в роботі здійснено вибір об'єкту та предмету досліджень. Предметом досліджень є – сировина для виробництва твердого біопалива (лушпиння соняшнику, відходи очистки соняшнику, лузга вівсяна, лузга ячмінна, лузга гречана, тирса, вугільний пил) та отримані експериментальним шляхом паливні гранули. Об'єктом досліджень є – технологічний процес гранулювання та брикетування біопалива з рослинної сировини.

3.2 Методи дослідження фізико-хімічних показників вихідної сировини та готової продукції

У процесі дослідження використано комплекс загальноприйнятих, стандартних і оригінальних методів визначення фізико-хімічних показників якості вихідної сировини та готової продукції, які в сукупності забезпечили

виконання поставлених задач. Описані фізико-хімічні методи дослідження у відповідності з напрямом проведення експериментів наведені в табл. 3.2. Для зручності користування всі методи систематизовані у відповідності з напрямками дослідження. При цьому застосовували комплекс лабораторного обладнання, яке систематично проходить перевірку, а також лабораторний посуд і реактиви згідно затверджених методик.

Таблиця 3.2. – Фізико-хімічні методи досліджень

№	Показники	Принцип метода, специфіка	Літературне джерело
1	Масова частка вологи	Висушування наважки до постійної маси при $(130\pm 2)^\circ\text{C}$	[55]
2	Об'ємна маса	З використанням літрової пурки	[55]
3	Кут природного укосу	На обладнанні Р.Л. Зенькова шляхом висипання з лійки	[55]
4.	Середньозважений розмір частинок	Просіювання проби сипучого продукту на наборі сит з отворами різних діаметрів	[55]
5.	Сипкість	Швидкість витікання продукту крізь отвір певного діаметру	[55]
6.	Крихкість / механічна міцність	Визначають шляхом стирання протягом 60 хв з послідовним відсіюванням дрібної фракції. Механічна міцність – зворотній показник крихкості	[55]
7.	Зольність	Спалювання наважки з наступним прожарюванням мінерального залишку при температурі $500\ldots 600^\circ\text{C}$	[55]
8.	Сірка	Спектрофотометричне визначення	[55]
9.	Хлор	Хлор за модифікованим методом В. П. Нілової, руйнується перманганатом калію в кислому розчині в присутності надлишку азотнокислого срібла	[55]

3.3 Теплофізичні методи досліджень сировини

Визначення коефіцієнта температуропровідності

Метод визначення коефіцієнта температуропровідності твердого тіла, в даному випадку – сипкого матеріалу, розміщеного в а-калориметр, складається із охолодження його середовищі з постійною температурою при цьому повинна виконуватись умова : коефіцієнт тепловіддачі $\lambda \rightarrow \infty$, що відповідає критерію

$$Bi = \frac{\lambda \times l\gamma}{2a}, \quad (3.1)$$

Теорія регулярного режиму розглядає процес охолодження тільки в стадії на якій перестає впливати початковий температурний стан тіла. Основним завданням регулярного режиму являється встановлення залежності між темпом охолодження тіла і коефіцієнтом тепловіддачі між ним і зовнішнім середовищем. При цьому можуть бути визначені теплофізичні характеристики тіл, а саме коефіцієнти температуропровідності, теплопровідності, теплоємність, а також коефіцієнт тепловіддачі від тіла до зовнішнього середовища, з настанням регулярного режиму ($Fo > 0,3$) натуральний збитковий логарифм температури влюбій точці тіла змінюється в часі по лінійному законі.

$$\ln \theta = -m \tau + c; \quad (3.2)$$

де: c – константа інтегрування;

m – темп охолодження, характеризуючий швидкість охолодження тіла.

Числове значення темпу охолодження тіла визначається як тангенс кута нахилу на прямолінійній кривій відрізка.

$$m = \frac{\ln \theta_1 - \ln \theta_2}{\tau_1 - \tau_2}; \quad (3.3)$$

де: τ_1 і τ_2 фіксуючі моменти часу в секундах.

Початковий вираз при регулярному режимі охолодження для визначення коефіцієнтів температуропровідності, теплопровідності, та тепловіддачі служить залежність (1 теорема Г.М.Кондратьєва)

$$m = a \times \frac{F}{C} \times \Psi; \quad (3.4)$$

де: a – Середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² × К)

F – загальна поверхність калориметра /тіла/, м²;

$C = C \times M$ – повна теплоємність тіла, Дж/К;

M – маса тіла, кг;

Ψ – коефіцієнт, враховуючий нерівномірність розподілу температур в тілі.

Остання обставина забезпечує рівність температур рідини і α -калориметра на його межах, що може бути реалізовано при охолодженні α -калориметра у воді. При цих умовах теплообміну рівняння (3.3) трансформується у вираз:

$$\alpha = K \times m_{\infty} \quad (3.5)$$

де, K – коефіцієнт форми α - калориметра, m^2 .

Для циліндричного калориметра

$$K = \frac{1}{\left(\frac{2,405}{R_{вн}}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{l_{вн}}\right)^2}, \quad (3.6)$$

$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ - коефіцієнт температуропровідності тіла m^2/c ;

ρ -щільність тіла, kg/m^3 .

Для складених тіл /оболонка – сипкий матеріал/ коефіцієнт температуропровідності визначається з урахуванням поправки на оболонку.

$$\alpha_{роз} = \alpha \left(1 + 2 \frac{\delta}{R_{н}} \times \frac{\lambda}{\lambda_{обол}} \right), \quad (3.7)$$

Де λ – коефіцієнт теплопровідності сипкого матеріалу, $Вт/м \times K$;

$\lambda_{обол}$ коефіцієнт теплопровідності оболонки, $Вт/м \times K$

Описання експериментальної установки

Експериментальна установка (рис. 3.2) складається із: термостата 1, заповненого водою, α – калориметра 2, заповненого сипким матеріалом; диференційної термопари 3, запай якої поміщені в α – калориметр і термостат; нановольтамперметра 4; мішалки 5; електронагрівач 6; електроконтактного термометра 7; ртутного термометра 8.

Методика експерименту

В дослідженнях реалізується процес охолодження сипкого матеріалу в стадії регулярного режиму. Його засипають в α – калориметр і нагрівають в сушильній шафі до температури $60...70^{\circ}C$. Потім розміщують в калориметр один із запайв термопари, в той час як інший її зпай знаходиться в воді термостата, підключають термопару до мілівольтметра та опускають калориметр в термостат.

Відлік залишкової температури проводять кожні 15 секунд. Дані вимірювань заносять в таблицю.

По даних таблиці будують графік $\ln \theta = f(\tau)$, визначають темп охолодження, та коефіцієнт температуропровідності [56].

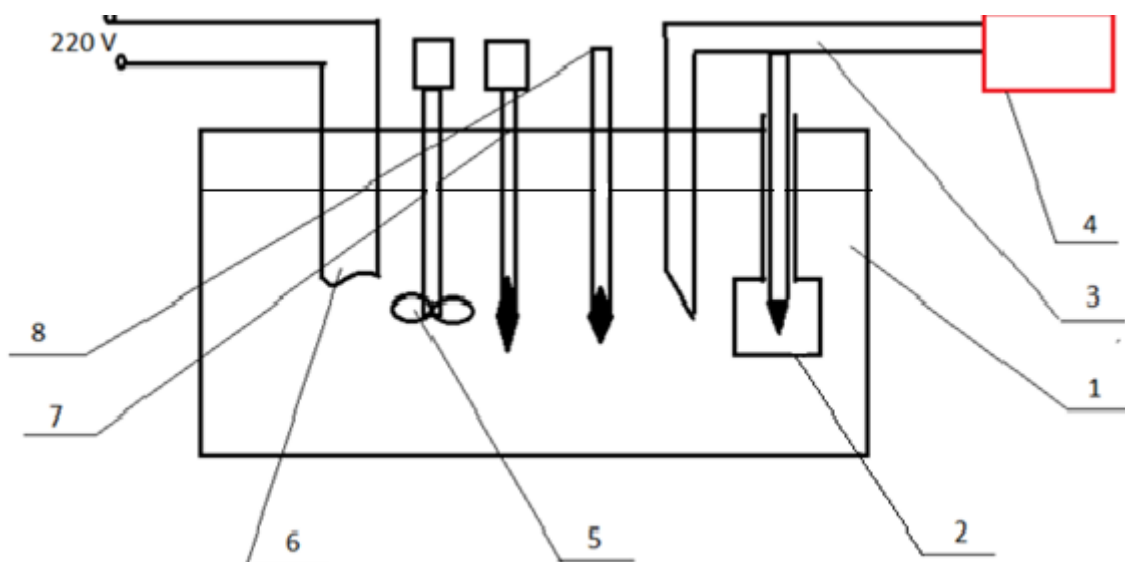


Рис. 3.2 – Експериментальна установка для визначення коефіцієнта температуропровідності

Визначення коефіцієнта тепловіддачі

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхності калориметра до зовнішнього повітря можливо визначити з рівняння (3.5). Коефіцієнт тепловіддачі від сипкого матеріалу визначають за допомогою двоскладного α – калориметра. Двоскладний калориметр складається із оболонки матеріалу з високою теплопровідністю (мідь, латунь, алюміній, і т. д.) та ядра із порівняно низькою теплопровідністю (пісок, мука, цукор, зерно, плівки і т.д.)

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі із двоскладного α – калориметра рекомендується залежність

$$\alpha' = \left(\frac{\Phi}{\psi \times n \times \sqrt{m}} + \Phi' \right) \times m, \quad (3.8)$$

$\Phi = \frac{C_m}{F_{вн}}$ – відношення повної теплоємності сипкого матеріалу (ядра) до внутрішньої поверхні α – калориметра.

Повна теплоємність ядра

$$C_m = C_{м} \times M, \quad (3.9)$$

Де: $C_{м}$ – теплоємність сипкого матеріалу, Дж/(кг × К);

M – маса сипкого матеріалу, кг;

ψ – коефіцієнт нерівномірності розподілу температур в тілі

$\psi = f(t)$ табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Залежність Φ від Ψ

Φ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Ψ	1	0,992	0,97	0,93	0,885	0,81	0,715	0,59	0,445	0,25	0

$\Phi' = \frac{C_{об}}{F_n}$ – відношення повної теплоємності оболонки до зовнішньої поверхні калориметра.

$C_{об} = C_{об} \times M_{об}$.

$C_{об}$ – теплоємність, Дж (кг $\times$ К);

$M_{об}$ – маса оболонки калориметра, кг;

m – темп охолодження.

В дослідах реалізується процес охолодження сипкого матеріалу.

В α – калориметр засипають сипкий матеріал, та нагрівають в сушильний шафі до температури 50 – 60 °С. Після чого в калориметр поміщають один із спаїв термопар, підключають її до вимірювального пристрою (мілівольтметра), закріплюють калориметр в штативі та охолоджують в повітряному середовищі. Відлік залишкової температури проводять кожні 15 секунд.

По даних таблиці строять графік $\ln \theta = f(\tau)$, визначають темп охолодження, та коефіцієнт тепловіддачі [56].

Визначення коефіцієнта теплопровідності

Коефіцієнт теплопровідності сипкого матеріалу визначають за допомогою двохскладного калориметра.

Для визначення коефіцієнта теплопровідності з використанням двохскладного α – калориметра Г.М. Кондратьєв запропонував залежність

$$\lambda = \frac{\alpha \times b}{s} \times \left(1 - \frac{m}{a} \times \frac{C_{об}}{F_{об}}\right), \quad (3.10)$$

де: α – коефіцієнт тепловіддачі;

$B = R_n \times \left(1 + \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{R_{вн} + Z_1}\right)$ параметр враховуючий характер оболонки.

Геометричні параметри α – калориметра приведені в табл. 3.4.

$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ - товщина стінок і кришок α – калориметра;

$R_n, R_{вн}$ – внутрішній і зовнішній радіуси α – калориметра;

Методика експерименту

У дослідах реалізується процес охолодження сипкого матеріалу.

В α – калориметр засипають сировину та нагрівають його в сушильній шафі до температури 50-60 °С. Після чого в калориметр поміщають один із спаїв термопар, підключають її до вимірювального пристрою (мілівольтметра), закріплюють калориметр в штативі та охолоджують в повітряному середовищі. Відлік залишкової температури проводять кожні 15 секунд [56].

Таблиця 3.4 – Геометричні параметри α – калориметра

Параметри калориметра	Розмірність	№ 2	№3	№4
$R_{\text{вн.}}$	М	0,02200	0, 02050	0,01950
$R_{\text{н.}}$	М	0,02535	0,02555	0,02580
$L_{\text{вн.}}$	М	0,05880	0,06750	0,06350
$L_{\text{н.}}$	М	0,08310	0,09250	0,08960
$F_{\text{вн.}}$	м ²	$7,103 \times 10^{-3}$	$6,984 \times 10^{-3}$	$6,276 \times 10^{-3}$
$F_{\text{н.}}$	м ²	$10,65 \times 10^{-3}$	$11,52 \times 10^{-3}$	$11,44 \times 10^{-3}$
$V_{\text{вн.}}$	м ²	$8,936 \times 10^{-5}$	$8,907 \times 10^{-5}$	$7,582 \times 10^{-5}$
$\delta 1$	М	0,01710	0,02060	0,01990
$\delta 2$	М	0,00335	0,00505	0,00630
$\delta 3$	М	0,00590	0,00390	0,00640
K	м ²	$0,675 \times 10^{-4}$	$0,628 \times 10^{-4}$	$0,566 \times 10^{-4}$
$M_{\text{обол.}}$	Кг	0,232	0,303	0,311
$\lambda_{\text{обол.}}$	Вт/(м × К)	204,2	204,2	204,2
$C_{\text{обол.}}$	Дж/(кг × К)	920	920	920

Визначено науково-методичні основи проведення дослідження. Обрано об'єкт, предмет і експериментальну базу. Розроблено програму проведення дослідження.

Підібрано методики дослідження для визначення фізичних властивостей, хімічних та теплофізичних показників якості сировини та готової продукції.

Розділ 4 Теоретичне та експериментальне обґрунтування технології виробництва твердого біопалива

4.1. Дослідження показників якості сировини для виробництва твердого біопалива

При дослідженні сировинної бази для виробництва твердого біопалива (паливних гранул та брикетів) були використані такі види сировини: лушпиння соняшнику, відходи очистки соняшнику, лузга гречана, лузга вівсяна, лузга ячмінна. А також сировина – тирса (соснова) і вугільний пил для покращення якісних і кількісних показників твердого біопалива. Було проведено дослідження сировини з урахуванням наступних показників якості, а саме за фізичними властивостями, хімічними та теплофізичними показниками.

У табл. 4.1 представлено результати дослідження фізичних властивостей сировини, а саме вологості, об'ємної маси, середньозваженого розміру частинок та кута природного укосу, сипкість.

Форма і розмір частинок сировини, що характеризують її крупність, визначають вибір робочих органів та режими роботи обладнання для проведення процесів очищення, сортування і подрібнення. Фізичні властивості сировини змінюються відповідно до її крупності.

Сипкість сировини залежить від різних факторів: щільність (об'ємна маса), гранулометричний склад, форма і стан поверхні частинок. Сипкість впливає швидкість продавлювання сировини у процесі безперервного пресування (гранулювання, брикетування). Чим краще сипкість сировини, тим легше її продавити в отвори матриці, тим більш щільною і міцною буде гранула та брикет після пресування. Основними факторами, що визначають сипкість сировини є тертя і зчеплення частин між собою, що погіршує їх взаємне переміщення, тобто когезійні сили взаємодії між частинками.

Об'ємна маса сировини залежить від того, наскільки щільно частинки розміщуються в ємності, а також від їх розміру, хімічного складу, вмісту вологи і ступеня засміченості. Це впливає на ємність силосів і бункерів, складів підлогового типу для зберігання сировини та готової продукції, на

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6						
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива			Літ.	Арк	Аркушів	
Консультант										68	12
Перевірів		Бордун Т.В.						ОНТУ 2023			
Зав.каф.		Макаринська А.В.									
Затверд.											

продуктивність технологічного та транспортного обладнання.

Кут природного укосу слід враховувати при проектуванні самопливів та випускних воронки бункерів.

За результатами досліджень (табл. 4.1) бачимо, що вологість усіх видів сировини знаходиться у межах близько 5,7...12,5 %. Також результати експериментальних досліджень показують, що лушпиння, лузга і тирса не залежно від їх виду мають великий кут природного укосу, невелику об'ємну масу та низьку сипкість. Тільки вугільний пил має велику об'ємну масу.

Таблиця 4.1 – Фізичні властивості досліджуваної сировини

№ п/п	Дослідні зразки	Вологість, %	Об'ємна маса, кг/м ³	Середньо зважений розмір частинок, мм	Кут природного укосу, град	Сипкість, см/с
1.	Лушпиння соняшнику	9,72	120...250	1,50	70	12
2.	Відходи очистки соняшнику	12,42	150...160	1,45	62	18
3.	Лузга гречана	11,81	140...150	1,35	70	16
4.	Лузга вівсяна	11,43	130...140	1,40	65	15
5.	Лузга ячмінна	10,80	180...190	1,30	70	15
6.	Тирса (соснова)	5,75	210...220	1,45	40	10
7.	Вугільний пил	5,70	1284...1350	0,65	60	24

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що існує прямопропорційна залежність між розміром частинок і кутом природного укосу, а також зворотнопропорційна залежність між розміром частинок сировини і її об'ємною масою.

На наступному етапі досліджень було проведено аналіз основних хімічних показників якості сировини, таких як вміст золи, хлору та сірки (табл. 4.2).

Вміст золи є одним з валивих показників якості, до якого серйозно відносяться всі Європейські країни при закупівлі твердого біопалива. У ході досліджень було визначено, що найбільша зольність у відходів очистки

соняшника, відповідно 9,17 %, найменша зольність у тирси (соснової), яка складає 0,29 %. Зольність інших видів сировини коливається в межах 3,35...4,94 %, що є допустимим при виробництві і експортуванні біопалива. Відповідно, зольність вугільного пилу – 12,8 %.

Таблиця 4.2 – Деякі показники хімічного складу сировини

№ п/п	Дослідні зразки	Вміст золи, %	Вміст хлору, %	Вміст сірки, %
1.	Лушпиння соняшнику	3,35	0,0022	0,1160
2.	Відходи очистки соняшнику	9,17	0,0098	0,1150
3.	Лузга гречана	4,21	0,0035	0,0196
4.	Лузга вівсяна	3,84	0,0078	0,0094
5.	Лузга ячмінна	4,94	0,0078	0,0094
6.	Тирса (соснова)	0,29	0,00050	0,0050
7.	Вугільний пил	12,8	–	0,8600

Вміст хлору та сірки залежить від хімічного складу вихідної сировини, зокрема у період росту рослини, присутності екологічних забруднень в місцях їх вирощування. Загально відомо, що хлор та сірка є речовинами, які можуть спричиняти ракові захворювання, тому їх вміст повинен бути зведений до мінімуму з огляду на їх негативний вплив на організм людини.

На наступному етапі було досліджено теплофізичні показники: температуропровідність (a), тепловіддача (α) та теплопровідність (λ) (табл. 4.3).

Дані коефіцієнти ми можемо використовувати при повірці та конструктивних теплових розрахунках стаціонарних котельних агрегатів, так як для цього необхідно мати достовірні експериментальні дані про термодинамічні та теплофізичні властивості спалюваної сировини.

Таблиця 4.3 – Експериментальні значення коефіцієнтів температуропровідності, тепловіддачі та теплопровідності

	Дослідні зразки	a , м ² /с	α , Вт/м ² К	λ , Вт/м К
1	2	3	4	5
1.	Лушпиння соняшнику	$2,7 \cdot 10^{-7}$	20,20	0,453

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4	5
2.	Відходи очистки соняшнику	$3,20 \cdot 10^{-7}$	10,04	0,049
3.	Лузга гречана	$2,10 \cdot 10^{-7}$	20,80	0,464
4.	Лузга вівсяна	$4,42 \cdot 10^{-7}$	10,95	0,051
5.	Лузга ячмінна	$2,3 \cdot 10^{-7}$	22,30	0,568
6.	Тирса (соснова)	$3,33 \cdot 10^{-7}$	9,86	0,068
7.	Вугільний пил	$7,5 \cdot 10^{-7}$	42,00	0,145

У перевірочному тепловому розрахунку за прийнятою конструкцією і розмірами котельного агрегату для заданих навантажень і виду палива визначають температуру води, пари, повітря і газів на кордонах між окремими поверхнями нагріву, коефіцієнтами корисної дії, витратами палива, витратами і швидкістю повітря і димових газів. Перевірочний розрахунок проводять для оцінки показників економічності і надійності агрегату при роботі на заданому паливі, виявлення необхідних реконструктивних заходів, вибір допоміжного обладнання та отримання вихідних матеріалів для проведення розрахунків: аеродинамічного, гідравлічного, температур металу і міцності труб, інтенсивності золотого зносу труб, корозії тощо.

При конструктивному (проектному) розрахунку визначають розміри топки і поверхонь нагріву окремих елементів агрегату, необхідне для забезпечення номінальної паропродуктивності прийнятих показників економічності і заданих параметрів пари при заданій температурі води і характеристикою палива. Конструктивний розрахунок також дає вихідні дані для вибору допоміжного устаткування і для аеродинамічних, гідравлічних, міцнісних та інших розрахунків надійності.

4.2 Розробка способу виробництва твердого біопалива

На підставі проведеного аналізу відомих технологій виробництва твердого біопалива запропоновано удосконалену технологію виробництва твердого біопалива, структурну схему якої наведено на рис. 4.1. Дану схему можна застосовувати як при виробництві твердого біопалива з моносировини, так і при використанні композицій з декількох видів сировини.

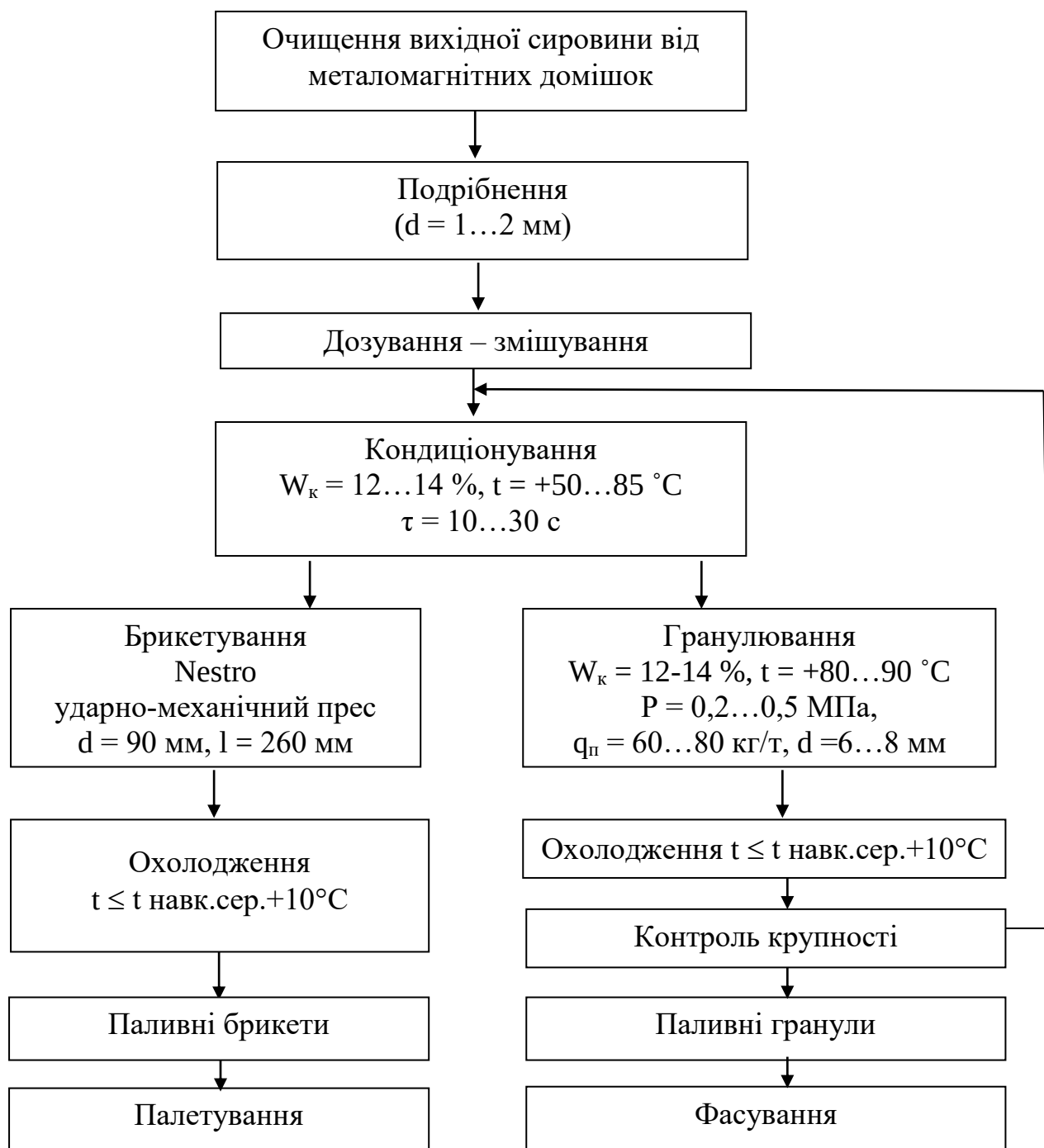


Рис. 4.1 – Принципова схема виробництва твердого біопалива (гранул, брикетів)

Вихідна сировина зі складу проходить очистку від металомагнітних домішок і подається на подрібнення (до розміру частинок 1...2 мм). Перед пресуванням передбачаємо процес кондиціонування, для зволоження до 12...14 % і розігріву сировини (пропарюється до температури +50...85 °C, протягом 10...30 с та гомогенізується). Надходження пари сприяє розм'якшенню сировини, поліпшенню процесу пресування, за рахунок активізації зв'язувальних речовин і одержання необхідної текучості продукту, зменшення зносу основних

робочих органів пресу. Так як процес вироблення пари є енергоємним, рекомендується мінімізувати його об'єм, враховуючи якість сировини, що використовується.

Гранулювання проходить при температури $+80...90\text{ }^{\circ}\text{C}$, тиску пари – $0,2...0,5\text{ МПа}$ і витратах пари $60...80\text{ кг/т}$. При гранулюванні підготовлена маса продавлюється в філь'єри матриці, шляхом затиснення сировини між матрицею і роликами, після чого гранули зрізаються на виході спеціальними ножами. Потрібна довжина пресованих пеллет виходить за рахунок зміни положення ножів. Діаметр вироблених пеллет залежить від величини вихідних отворів в матриці преса-гранулятора і дорівнює 6-8 мм, або 8-10-12 мм.

Вибираючи діаметр гранул необхідно звертати увагу на те, що зменшення діаметра призводить до зниження продуктивності гранулювання, і навпаки. Основними факторами, від яких залежить якість отриманих пеллет, є якісні показники сировини і виконання технологічного процесу виробництва в заданих межах.

Паливні гранули після гранулювання охолоджують до температури, яка не перевищує температуру навколишнього середовища більше, ніж на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. після охолодження гранули подаються на просіювальну машину, де відбувається відділення дрібних частинок, які надходять на повторне гранулювання. Далі готова продукція подається на зберігання. Фасування гранульованого біопалива передбачаємо у поліетиленові мішки по $10...20\text{ кг}$.

В основі процесу брикетування лежить пресування сировини на ударно-механічному пресі (Nestro). При виготовленні брикетів температура може сягати більше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, що вище температури розм'якшення лігніну. Для запобігання злипанню брикетів їх необхідно охолоджувати. Брикети Nestro мають циліндричну форму діаметром 90 мм, довжиною 260 мм.

Вологость вихідної суміші впливає на якість гранул і брикетів. Розрізняють оптимальну і критичну вологості. Найкращі механічні характеристики брикетів досягаються при оптимальній вологості в межах 4-10 %. Важливо враховувати, що для окремих видів сировини верхня межа вологості становить 6-8 %.

Критичною називається вологість, при якій можливе утворення гранул і брикетів, але в них з'являються тріщини – таким чином, готова продукція втрачає товарний вигляд. Критична вологість знаходиться в межах $10...15\text{ }\%$.

Наприклад, при більш високій вологості отриманий брикет буде «розірвано» внутрішнім тиском води, що виникає при стисненні подрібненої маси.

Брикети після пресування охолоджують і направляються на упаковку (на піддонах по 1 т) та зберігання у склад підлогового типу. Паливні гранули і брикети не повинні містити ніяких хімічних зв'язуючих речовин, крім натуральних – лігнін, лігноборд, мучка аспіраційні відноси (при необхідності) тощо.

У лабораторних умовах не було можливості перевірити процес брикетування. Проте, керуючись практичним досвідом ТОВ «Черкасиелеватормаш» BRONTO, пропонуємо виробництво брикетів Nestro на пресі LB-500 за технологічними рекомендаціями виробника.

4.3 Дослідження показників якості паливних гранул отриманих експериментальним шляхом

У відповідності з розробленим способом та на основі одержаних результатів дослідження сировинної бази для виробництва твердого біопалива за основними показниками якості в лабораторних умовах кафедри технології зерна і комбікормів було одержано дослідні зразки твердого біопалива у вигляді паливних гранул.

На першому етапі була підготовка сировини шляхом подрібнення її на лабораторному млинку до крупності 1...2 мм. Підготовлену сировину зволожували до вологості 12 %. Далі підготовлена сировина направлялась на пресування в лабораторний прес при тиску 100-120 кг/см², на протязі 5 хв, після чого готові гранули охолоджувались в ексікаторі.

Одержані гранули досліджували за основними фізичними показниками якості такими як об'ємна маса, крихкість (зворотній показник – механічна міцність) і розміри (діаметр, довжина). У ході досліджень було відмічено, що в зразках гранул із тирси, відходів очистки соняшнику, лушпиння соняшнику, лузги гречаної найвища об'ємна маса та механічна міцність. Для зменшення відсотка крихкості та збільшення об'ємної маси до підготовленої сировини додавали 2 % вугільного пилу, що покращило якість гранул.

Також було запропоновано змішування сировини у відсотковому співвідношенні 50 : 50 %. Визначивши механічну міцність та об'ємну масу усіх зразків було виявлено, що композиції із такою сировиною як тирса, лушпиння

соняшнику, відходи очистки соняшнику, лузга гречана збільшують об'ємну масу та зменшують крихкість, що дає змогу виготовляти більш якісні гранули з точки зору їх міцності, так як стандартами Австрії та Німеччини нормується вміст дрібної фракції не більше 2...3 % (максимум 5 %).

Підвищення об'ємної маси за рахунок змішування низькооб'ємної сировини із відходами очистки соняшнику, лушпинням соняшнику та тирсою дасть змогу зменшити об'єми для зберігання, та збільшити теплоутворюючу здатність паливних гранул. При змішуванні сировини 50 : 50 % показники механічної міцності та об'ємної маси знаходились у межах середнього значення того чи іншого показника, хоча були і випадки коли одна із видів сировини домінувала. На якість виготовлених в лабораторних умовах гранул впливає ряд факторів: неоднорідність змішаних компонентів, спосіб виведення гранул із матриці, нерівномірність нагрівання матриці.

Для виробництва гранул використовувалась матриця із діаметром філь'єрів 1,90 см, а при замірах готових гранул діаметр деяких збільшувався до 1,92 см, що свідчить про те, що сировина має досить пружні властивості (табл. 4.4, табл. 4.5).

Таблиця 4.4 – Фізичні властивості паливних гранул одержаних в лабораторних умовах

№ п/п	Дослідні зразки	Довжина, см	Діаметр, см	Об'ємна маса, г/см ³	Крихкість / механічна міцність, %
1	2	3	4	5	6
Гранули ($W_{п\ сир} = 12\ %$)					
1.	Тирса (соснова)	1,40	1,90	0,68	5,3 / 94,7
2.	Відходи очистки соняшнику	1,54	1,91	0,76	10,7 / 89,3
3.	Лушпиння соняшнику	2,00	1,91	0,62	11,2 / 88,8
4.	Лузга гречана	2,03	1,90	0,58	12,4 / 87,6
35.	Лузга вівсяна	1,84	1,90	0,55	18,3 / 81,7
6.	Лузга ячмінна	1,80	1,90	0,54	17,1 / 82,9
Із додаванням 2 % вугільного пилу ($W_{п\ сир} = 12\ %$)					
7.	Тирса (соснова)	1,50	1,90	0,65	4,7 / 95,3
8.	Відходи очистки соняшнику	1,34	1,90	0,81	10,2 / 89,8
9.	Лушпиння соняшнику	1,27	1,90	0,60	10,8 / 89,2

Продовження табл. 4.4

1	2	3	4	5	6
10.	Лузга гречана	1,85	1,90	0,58	12,0 / 88,0
11.	Лузга вівсяна	1,65	1,90	0,60	17,9 / 82,1
12.	Лузга ячмінна	1,67	1,90	0,62	16,6 / 83,4

Таблиця 4.5 – Фізичні властивості паливних гранул
одержаних в лабораторних умовах

№ п/п	Дослідні зразки	Довжина, см	Діаметр, см	Об'ємна маса, г/см ³	Крих- кість / меха- нічна міцні- сть, %
50/50					
1.	Тирса (соснова) + відходи очистки соняшнику	1,33	1,90	0,71	7,6 / 92,4
2.	Тирса (соснова) + лушпиння соняшнику	1,70	1,90	0,61	7,9 / 92,1
3.	Тирса (соснова)+ лузга вівсяна	1,28	1,90	0,58	11,8 / 88,2
4.	Тирса (соснова)+ лузга гречана	1,42	1,91	0,54	8,43 / 91,57
5.	Відходи очистки соняшнику + лушпиння соняшнику	1,93	1,90	0,73	10,5 / 89,5
6.	Відходи очистки соняшнику + лузга гречана	1,58	1,90	0,62	11,7 / 88,3
7.	Відходи очистки соняшнику + лузга ячмінна	1,56	1,92	0,66	14,1 / 85,9
8.	Лушпиння соняшнику + лузга гречана	1,35	1,90	0,60	11,2 / 88,8
9.	Лушпиння соняшнику + лузга вівсяна	1,46	1,90	0,58	14,5 / 85,5
10.	Лузга гречана + лузга ячмінна	1,34	1,91	0,61	14,9 / 85,1

Також проводились визначення основних хімічних показників якості таких як зольність, вміст хлору та сірки. Причиною вибору саме цих показників якості стало обмеження їх в стандартах якості таких країн як Німеччина, Австрія, та Швеція. У німецьких та австрійських стандартах нормують вміст золи (не більше 0,5 %), у свою чергу даний показник в стандартах на паливні гранули Швеції не

повинен перевищувати 1,5 % (табл. 2.12). Вимоги до агропелет (табл. 2.14), згідно стандартам AGRO+ та AGRO (Франція) становить 5 % і 7 % відповідно (табл. 4.6).

Таблиця 4.6. – Хімічні показники якості паливних гранул одержаних в лабораторних умовах

№ п/п	Дослідні зразки	Вміст золи, %	Вміст хлору, %	Вміст сірки, %
1.	Тирса (соснова) + відходи очистки соняшнику	1,70	0,0023	0,0530
2.	Тирса (соснова) + лушпиння соняшнику	3,94	0,0029	0,0247
3.	Тирса (соснова)+ лузга гречана	2,31	0,0018	0,0139
4.	Тирса (соснова)+ лузга вівсяна	2,11	0,0043	0,0096
5.	Відходи очистки соняшнику + лушпиння соняшнику	7,21	0,0096	0,1037
6.	Відходи очистки соняшнику + лузга гречана	6,71	0,0059	0,0607
7.	Відходи очистки соняшнику + лузга ячмінна	6,47	0,0082	0,0412
8.	Лушпиння соняшнику + лузга гречана	3,75	0,0052	0,0436
9.	Лушпиння соняшнику + лузга вівсяна	3,59	0,0057	0,0327
10.	Лузга гречана + лузга ячмінна	4,04	0,0091	0,0112

Із одержаних зразків вимогам стандартів по вмісту золи відповідає лише зразок з тирси в якому вміст її становить 0,29 %. Порівнявши із даними стандартів вміст сірки, ми прийшли до висновку, що деякі зразки не відповідають вимогам стандартів якості на паливні гранули, так як вміст сірки перевищує допустиму норму 0,04 %. Високий вміст сірки мають такі види сировини як лушпиння соняшника і відходи очистки соняшника, відповідно суміші із даними видами сировини і збільшують відсотковий вміст сірки. За результатами дослідження одержаних зразків на вміст хлору можемо побачити, що відсотковий вміст його не перевищує вимоги стандартів країн Європи (табл. 2.12, табл. 2.14). Контроль і перевірка таких хімічних показників як вміст хлору та сірки обов'язкові, так як дані речовини є канцерогенними, а їх сполуки під час спалювання приводять до швидкої корозії металевих поверхонь і

забруднення навколишнього середовища.

Як відомо, до складу лушпиння соняшнику, лузги ячмінної, гречаної, вівсяної, тирси сосни входить лігнін, який є природним полімером і при тепловій обробці діє як природна зв'язувальна речовина. Але його кількість не велика (близько 14...17 % на с.р.), за виключенням лузги гречки та деревини (близько 30...35 % на с.р.). Лігнін – це аморфний полімер ароматичної природи (поліфенол), складної будови, від світло-жовтого до темно-коричневого кольору (залежить від способу виділення з деревини). Лігнін виявляє пластичні властивості при збільшенні температури та тиску, особливо при підвищеній вологості. Також можна передбачити введення чистого лігніну або лігноборду для зміцнення готової продукції. Лігнін є органічною речовиною, яка, разом із целюлозою, складається з дерев'яних тканин рослин. Він спільно з геміцелюлозою визначає міцність стовбурів і стебел рослин. При геліфікації і фюзенізації лігнін утворює затверділу безструктурну торфову масу. Вміст лігніну у хвойних породах деревини становить 28–34 %, у листяних породах – 17–27 %, у деревній корі – 17–44 %.

Ми провели дослідження композиційних сумішей рослинної біомаси (відходи сільського господарства з низькою температурою плавлення золи) з вугільним пилом (з високою температурою плавлення золи) (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Показники якості паливних гранул одержаних в лабораторних умовах на основі композиційних сумішей

№ п/п	Найменування показників	Дослідна зразки	
		№ 1	№ 2
1	2	3	4
1.	Зовнішній вигляд	Гранули циліндричної форми	
2.	Колір	Сірий	
3.	Запах	Характерний набору компонентів без стороннього запаху (плісняви, затхлості, горілого)	
Фізичні властивості			
4.	Довжина, см	1,75	1,87
5.	Діаметр, см	1,90	1,90
6.	Об’ємна маса, г/см ³	0,67	0,71
7.	Крихкість / механічна міцність, %	7,5 / 92,5	6,8 / 93,2

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4
Хімічні властивості			
8.	Вміст золи, %	4,95	4,84
9.	Вміст хлору, %	0,005	0,01
10.	Вміст сірки, %	0,11	0,11

На основі проведених досліджень нами було запропоновано два варіанти композиційних сумішів для виробництва паливних гранул з різних видів сировини, а саме на основі лузги круп'яних культур, лушпиння соняшнику та відходів очистки соняшнику, з додаванням для покращення показників якості вугільного пилу (2 %) та тирси. Рецепт № 1, %: лушпиння соняшнику – 50, відходи очистки соняшнику – 25, лузга гречана – 10, лузга ячмінна – 5, лузга вівсяна – 8, вугільний пил – 2. Рецепт № 2, %: лушпиння соняшнику – 50, відходи очистки соняшнику – 28, лузга ячмінна – 5, лузга вівсяна – 10, вугільний пил – 2, тирса (соснова) – 10.

Зовнішній вигляд, колір та запах отриманих гранул значно не розрізняються від аналогічних, виготовлених з моносировини. Це гранули циліндричної форми, сірого кольору, з запахом характерним набору компонентів. Фізико-хімічні показники якості готової продукції, такі як розміри, об'ємна маса, крихкість, механічна міцність, вміст золи, хлору, сірки, відповідають вимогам нормативної документації (табл. 2.12, 2.14).

При горінні біопалива, виготовленого із зазначених сумішей, відзначається висока температура плавлення золи та зменшення ймовірності спікання.

Виготовлення та використання паливних гранул сприятиме вирішенню проблем утилізації та переробки різноманітних відходів, забезпечить отримання екологічного біопалива. Необхідно зазначити, що надалі золу можна використовувати як складову калійного добрива. Виробництво сучасного біопалива з додаванням інших видів альтернативної біомаси допоможе зменшити навантаження на лісову галузь, скоротити використання викопного палива, покращити екологічний стан та заощадити кошти під час експлуатації.

Розділ 5 Технологічна частина

5.1 Аналіз схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів)

З метою розширення асортименту зернопереробних, олієпресових та круп'яних заводів проєктом передбачено будівництво цеху з виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів). Таким чином технологічними лініями цеху є:

- лінії підготовки сировини;
- лінії гранулювання;
- лінії брикетування;
- лінія фасування готової продукції [56, 57].

Лінія підготовки сировини

Із складу суха сировина за допомогою скребкового транспортеру марки КСТ-50 №1 (50 т/год) подається на магнітний сепаратор марки МК-10 (10 т/год) та у молоткову дробарку марки НМ S/R-10 AKANA (10 т/год). У молотковій дробарці сировина подрібнюється до фракції 3...4 мм. Далі сировина транспортується повітряним потоком у циклон марки ЦОЛ №1, оснащений шлюзовим затвором марки ШУ №1, де відбувається відділення подрібненої сировини від повітря. Повітря, пройшовши через вентилятор, ділиться на два потоки: 70 % повітря повертається у молоткову дробарку, а 30 % викидається в атмосферу. У разі використання композиції з декількох видів сировини передбачено процес дозування і змішування. Підготовлена сировина за допомогою скребкового транспортеру марки КСТ-20 №3 (20 т/год) подається в оперативний бункер на тензодатчиках № 2 та у змішувач марки СП-4000.

Лінія гранулювання

Сировина після подрібнення або порція сировини після змішування за допомогою скребкового транспортеру марки КСТ-20 №3 (20 т/год) подається у кондиціонер марки RWB 2205-1 (7 т/год), який оснащено системою перемішування сировини і її зволоження. За допомогою живильника марки DM-400 №1 та скребкового транспортеру марки КСТ-20 №5 (20 т/год)

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6		
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива	Літ.	Арк
Консультант							Аркушів
Перевірів		Бордун Т.В.					80
Зав.каф.		Макаринська А.В.				ОНТУ 2023	
Затверд.							

зволожена сировина подається в оперативний бункер №4. Далі за допомогою живильника марки DM-400 №2 на гранулювання у прес-гранулятор марки KHAL 60-1250 (7 т/год). Гарячі гранули за допомогою скребкового транспортеру марки КСТ-10 №6 (10 т/год) подаються в охолоджувальну колонку марки GK 19x19R (7 т/год). Вона забезпечує охолодження гранул до температури, що не перевищує температуру навколишнього середовища більш ніж на 10 °С. Гранули охолоджуються не тільки для зниження їх температури, а й для виділення з них вологи близько 2-3%, що додані при гранулюванні. В охолоджувачі відбувається поверхневе видалення вологи і тепла шляхом системи аспірації з осадженням дрібної фракції (10 %) в транспортер марки КСТ-20 №2 (циклон марки ЦОЛ №3). Охолоджені гранули подаються на просіювальну машину марки SIV 650-1250 (7 т/год), для вилучення дрібної неспресованої фракції. Після просіювальної машини отримують кондиційну продукцію (не менше 90 % – гранули) та некондиційну (не більше 10 % – дрібну фракцію). Некондиційна фракція транспортується системою аспірації і осаджується в транспортер марки КСТ-20 №2 (циклон марки ЦОЛ №2). Гранули за допомогою скребкового транспортеру марки КСТ-10 №7 (10 т/год), норії марки Е-10 №1 (10 т/год) та скребкового транспортеру марки КСТ-10 №8 (10 т/год) надходять в склад готової продукції, а за необхідності подаються на лінію фасування готової продукції.

Лінія брикетування

Сировина за допомогою скребкового транспортеру марки КСТ-10 №4 (10 т/год) подається в оперативний бункер №3 та до установки для брикетування марки LB-500 (0,5 т/год) для одержання брикетів NESTRO. Брикети охолоджуються шляхом просування у решітчастому жолобі та зламуються надходячи під кутом у ємність готової продукції. Далі брикети складуються на піддони вручну (вага готової продукції близько 1000 кг), обмотуються стрейч-плівкою вручну та перевозяться карою на склад готової продукції.

Лінія фасування готової продукції

Паливні гранули за допомогою скребкового транспортеру марки КСТ-10 №8 (10 т/год) подаються в оперативний бункери №5-9 (СГП) та в установку для фасування готової продукції (паливних гранул) у мішки по 10...20 кг у ваговому мішконоповнювачі марки ДВК-20Ф.

5.2 Розрахунок обладнання приймально - відпускних пристроїв

На підприємстві перетбачаємо прийом сировини та відпуск готової продукції за допомогою автотранспорту.

Для розвантаження різних видів сировини, розраховуємо продуктивність обладнання приймального пристрою із автомобільного транспорту, т/добу [57]:

$$G_{\text{пр}} = \frac{Q_z \times a \times A_n \times K_d}{100 \times 100} \quad (5.2.1)$$

де, Q_z – продуктивність заводу, т/добу;

a – опосереднені витрати сировини (табл. 5.2.1), %;

A_n – масова частка сировини, яка надходить залізничним (автомобільним) транспортом, від добової продуктивності підприємства, %;

K_d – коефіцієнт добової нерівномірності надходження сировини залізничним (автомобільним) транспорту (для автотранспорту $K_d = 1,45$).

Таблиця 5.2.1 – Опосереднені витрати сировини у відсотках від добової продуктивності підприємства

Сировина	Опосереднені витрати, %
Лузга ячмінна	15
Лузга вівсяна	15
Лузга гречана	10
Лушпиння соняшникове	60
Відходи очистки соняшнику	30
Тирса	10
Вугільний пил	2
Паливні гранули	95
Паливні брикети	5

$$G_{\text{л.яч.}} = \frac{60 \times 15 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 13,1 \text{ (т/добу)}$$

$$G_{\text{л.вів.}} = \frac{60 \times 15 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 13,1 \text{ (т/добу)}$$

$$G_{\text{л.сон}} = \frac{60 \times 60 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 52,2 \text{ (т/добу)}$$

$$G_{\text{в.оч.кон.}} = \frac{60 \times 30 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 26,1 \text{ (т/добу)}$$

$$G_{\text{л.гр.}} = \frac{60 \times 10 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 8,7 \text{ (т/добу)}$$

$$G_{\text{т.}} = \frac{60 \times 10 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 8,7 \text{ (т/добу)}$$

$$G_{\text{в.пил.}} = \frac{60 \times 2 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 1,74 \text{ (т/добу)}$$

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність транспортного обладнання т/год:

$$q_{em} = \frac{q_n \times \gamma_c \times K_{\gamma}}{0,75} \quad (5.2.2)$$

де, q_{em} – експлуатаційна продуктивність транспортного обладнання для різних видів сировини, т/год;

q_n – паспортна продуктивність транспортного обладнання, т/год;

K_{γ} – коефіцієнт використання транспортного обладнання.

Встановлюємо норію фірми ПАТ «Хорольський механічний завод» марки Н-10 ($q_n = 10$ т/год).

$$q_{\text{л.ячм.}} = \frac{10 \times 0,18 \times 0,85}{0,75} = 2,04 \text{ (т/год)}$$

$$q_{\text{л.вів.}} = \frac{10 \times 0,14 \times 0,85}{0,75} = 1,6 \text{ (т/год)}$$

$$q_{\text{л.кон.}} = \frac{10 \times 0,16 \times 0,85}{0,75} = 1,81 \text{ (т/год)}$$

$$q_{\text{в.оч.кон.}} = \frac{10 \times 0,15 \times 0,85}{0,75} = 1,7 \text{ (т/год)}$$

$$q_{л.сп.} = \frac{10 \times 0,15 \times 0,85}{0,75} = 1,7 \text{ (т/год)}$$

$$q_{т.} = \frac{10 \times 0,15 \times 0,85}{0,75} = 1,7 \text{ (т/год)}$$

$$q_{в.пил} = 10 \times 0,85 = 8,5 \text{ (т/год)}$$

На підприємстві встановлюємо автомобілерозвантажувач марки РГБ.С 60/12, продуктивністю 60 т/год. За допомогою даного автомобілерозвантажувача сировина надходить до завальної ями, а потім за допомогою транспортерів та норій надходить на зберігання в склад.

Відпуск на автотранспорт здійснюється в обсязі 100 % готової продукції в розсипному (паливні гранули) і затареному вигляді (паливні гранули та брикети).

Продуктивність відпускнуго пристрою повинна забезпечити добовий відпуск протягом зміни ($\tau_{зміни} = 12$ год; 1 зміна).

Розраховуємо продуктивність лінії відвантаження, т/год:

$$q = \frac{60}{12} = 5 \text{ (т/год)}$$

Передбачаємо 2 точки відпуску готової продукції на автотранспорт. Затарена продукція запалетована на піддонах перевозиться в склад підлогового зберігання погрузчиком, а потім перевантажується на автотранспорт.

Висновок: Продуктивність відпускнух пристроїв підприємства, забезпечує безперервну роботу цеху по виробництву твердого біопалива.

5.3 Розрахунок ємності складів для зберігання сировини та готової продукції

При виробництві твердого біопалива необхідну складську ємність для сировини і готової продукції розраховують виходячи з опосереднених витрат сировини на виробництво [57]. При визначенні ємності складів для сировини та готової продукції приймають опосереднені значення об'ємних мас, згідно з табл. 5.3.1.

Запаси сировини Z_1 (діб) для виробництва твердого біопалива передбачаємо не менше, ніж на 7 діб, готової продукції 2-5 діб.

Таблиця 5.3.1 – Опосереднені значення об'ємних мас сировини
та готової продукції

Сировина, готова продукція	Опосереднені значення об'ємних мас, γ_c , т/м ³
Лузга ячмінна	0,18
Лузга вівсяна	0,14
Лузга гречана	0,15
Лушпиння соняшникове	0,16
Відходи очистки соняшнику	0,15
Тирса	0,15
Вугільний пил	1,2
Паливні гранули	0,63
Паливні брикети	0,55

Розрахункову маса сировини різних видів, що зберігається в складі підлогового типу визначимо за формулою, т:

$$K_c = \frac{Q \times \alpha \times Z}{100}, \quad (5.3.1)$$

де Q – проектна продуктивність підприємства, т/добу;

α – опосереднені витрати сировини, %;

Z – запас сировини, діб.

Лузга ячмінна	$K_c = \frac{60 \times 15 \times 2}{100} = 18 \text{ (т)}$
Лузга вівсяна	$K_c = \frac{60 \times 15 \times 2}{100} = 18 \text{ (т)}$
Лушпиння соняшникове	$K_c = \frac{60 \times 60 \times 2}{100} = 72 \text{ (т)}$
Віходи очистки соняшнику	$K_c = \frac{60 \times 30 \times 2}{100} = 36 \text{ (т)}$
Лузга гречана	$K_c = \frac{60 \times 10 \times 2}{100} = 12 \text{ (т)}$
Тирса	$K_c = \frac{60 \times 10 \times 2}{100} = 12 \text{ (т)}$

Вугільний пил	$K_c = \frac{60 \times 2 \times 2}{100} = 2,4 \text{ (т)}$
Готова продукція (паливні гранули)	$K_c = \frac{60 \times 95 \times 5}{100} = 285 \text{ (т)}$
Готова продукція (паливні брикети)	$K_c = \frac{60 \times 5 \times 5}{100} = 15 \text{ (т)}$
Готова продукція (паливні гранули в затареному вигляді 20 %)	$K_c = 285 \times 0,2 = 57 \text{ (т)}$

Об'єм силосів для зберігання сировини і готової продукції розрахуємо за формулою, м³:

$$U = \frac{K_c}{\gamma \times \eta} \quad (5.3.2)$$

де K_c – маса сировини, т;

γ – об'ємна маса сировини, т/ м³;

η – коефіцієнт використання об'єму (0,85 для гранульованої та брикетованої готової продукції; 0,80 – для інших видів сировини).

Необхідна кількість силосів:

$$n = \frac{U}{U_1} \quad (5.3.3)$$

де U_1 – об'єм одного силоса, м³.

Об'єм одного силоса, м³:

$$U_1 = \pi \times r^2 \times h, \quad (5.3.4)$$

де r – радіус круга, м;

h – висота силоса, м.

Об'єм одного силоса для сировини та готової продукції розраховуємо за формулою 5.3.4:

– для сировини: $U_1 = 3,14 \times 2,5^2 \times 9 = 176,6 \text{ (м}^3\text{)}$

– та готової продукції $U_1 = 3,14 \times 2^2 \times 9 = 113 \text{ (м}^3\text{)}$

Необхідні об'єми силосів для зберігання сировини і готової продукції розраховуємо за формулою 5.3.2:

Лузга ячмінна	$U = \frac{18}{0,18 \times 0,80} = 125 \text{ (м}^3\text{)}$
---------------	--

Лузга вівсяна	$U = \frac{18}{0,14 \times 0,80} = 160,7 \text{ (м}^3\text{)}$
Лушпиння соняшникове	$U = \frac{72}{0,16 \times 0,80} = 562,5 \text{ (м}^3\text{)}$
Віходи очистки соняшнику	$U = \frac{36}{0,15 \times 0,80} = 300 \text{ (м}^3\text{)}$
Лузга гречана	$U = \frac{12}{0,15 \times 0,80} = 100 \text{ (м}^3\text{)}$
Готова продукція (паливні гранули)	$U = \frac{285}{0,63 \times 0,85} = 532,2 \text{ (м}^3\text{)}$

Кількість силосів розрахуємо за формулою 5.3.3:

Лузга ячмінна	$n = \frac{125}{176,6} = 0,7 \text{ (шт)} \sim 1 \text{ шт}$
Лузга вівсяна	$n = \frac{160,7}{176,6} = 0,91 \text{ (шт)} \sim 1 \text{ шт}$
Лушпиння соняшникове	$n = \frac{562,5}{176,6} = 3,2 \text{ (шт)} \sim 3 \text{ шт}$
Віходи очистки соняшнику	$n = \frac{300}{176,6} = 1,7 \text{ (шт)} \sim 2 \text{ шт}$
Лузга гречана	$n = \frac{100}{176,6} = 0,6 \text{ (шт)} \sim 1 \text{ шт}$
Готова продукція (паливні гранули)	$n = \frac{532,2}{113} = 4,7 \text{ (шт)} \sim 5 \text{ шт}$

Загальна розрахункова кількість силосів для зберігання сировини – 8 шт, для готової продукції – 5 шт. Приймаємо для сировини – 8 шт, для готової продукції – 5 шт.

Площа складу для підлогового зберігання сировини насипом, м²:

$$F_p = \frac{K_c}{\gamma_c \times h \times \eta} \quad (5.3.5)$$

де K_c – розрахункова маса кожного виду сировини, т,
 γ_c – опосереднене значення об'ємної маси сировини (табл. 5.3.1),
 h – висота насипу сировини (5 м),
 η – коефіцієнт використання площі складу (0,6).

Підставляючи числові дані одержуємо:

$$\text{Тирса} \quad F_{\text{п.кук.}} = \frac{12}{0,15 \times 5 \times 0,6} = 26,7 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площа складу для підлогового зберігання сировини і готової продукції в тарі, м²:

$$F_p = \frac{K_c}{K_m} \quad (5.3.6)$$

де K_c – маса затареної готової продукції, яку необхідно зберігати в складі, т,

K_m – маса готової продукції, яка розміщується на 1 м² корисної площі складу, т/м² (приймають 0,8 для зберігається на піддонах).

Вугільний пил	$F_{\text{в.пил}} = \frac{2,4}{0,8} = 3 \text{ (м}^2\text{)}$
Готова продукція (паливні гранули в затареному вигляді)	$F_{\text{ГПгр}} = \frac{57}{0,8} = 71,3 \text{ (м}^2\text{)}$
Готова продукція (паливні брикети)	$F_{\text{ГПбр}} = \frac{15}{0,8} = 18,8 \text{ (м}^2\text{)}$

Загальна площа складу підлогового зберігання сировини насипом:

$$F_{\text{заг.нас.}} = F_{\text{т.}}$$

$$F_{\text{заг.нас.}} = 26,7 \text{ м}^2$$

На підприємстві передбачено склад підлогового зберігання шириною – 15 м, довжиною – 10 м.

Загальну нормативну площу складу розраховуємо за формулою:

$$F_{\phi} = L \times B, \text{ м} \quad (5.3.7)$$

$$F_{\phi} = 10 \times 15 = 150 \text{ (м}^2\text{)}$$

Загальна фактична корисна площа складу підлогового типу (без врахування площі складу без допоміжних, побутових приміщень):

$$\Sigma F_{\text{заг.ф.кор.}} = \Sigma F_{\text{заг.ф.}} - 0,20 \times \Sigma F_{\text{заг.ф.}} \quad (5.3.8)$$

$$\Sigma F_{\text{заг.ф.кор.}} = 150 - 0,20 \times 150 = 120 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$F_{\text{т.}} = 120 \text{ м}^2$$

На підприємстві передбачено склад підлогового зберігання для сировини та готової продукції в затареному вигляді шириною 15 м і довжиною – 10 м.

$$F_{\text{ф}} = 10 \times 15 = 150 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$\Sigma F_{\text{заг.ф.кор.}} = 150 - 0,20 \times 150 = 120 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$F_{\text{в.пил}} = 5 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{ГПГр.}} = 90 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{ГПбр.}} = 25 \text{ м}^2$$

Фактична ємкість для сировини, яка розміщується в складі сировини підлогового зберігання насипом, т:

$$K_{\text{сф}} = F_{\text{ф}} \times \gamma_{\text{с}} \times h \times \eta, \quad (5.3.9)$$

де $F_{\text{ф}}$ – фактична площа для сировини, яка зберігається насипом.

Підставляючи числові значення, одержуємо:

$$\text{Тирса} \quad K_{\text{сф}} = 120 \times 0,15 \times 5 \times 0,6 = 54 \text{ (т)}$$

Фактичну місткість для кожного виду сировини і готової продукції, яка зберігається в силосах визначаємо наступним чином, т:

$$K_{\text{сф}} = n_{\text{ф}} \times V_1 \times \gamma \times \eta, \quad (5.3.10)$$

де γ – об'ємна маса сировини, т/м³.

Підставляючи числові значення, одержуємо:

$$\text{Лузга ячмінна} \quad K_{\text{сф}} = 1 \times 176,6 \times 0,18 \times 0,80 = 25,4 \text{ (т)}$$

$$\text{Лузга вівсяна} \quad K_{\text{сф}} = 1 \times 176,6 \times 0,14 \times 0,80 = 19,8 \text{ (т)}$$

$$\text{Лушпиння соняшникове} \quad K_{\text{сф}} = 3 \times 176,6 \times 0,16 \times 0,80 = 67,8 \text{ (т)}$$

$$\text{Віходи очистки соняшнику} \quad K_{\text{сф}} = 2 \times 176,6 \times 0,15 \times 0,80 = 42,4 \text{ (т)}$$

$$\text{Лузга гречана} \quad K_{\text{сф}} = 1 \times 176,6 \times 0,15 \times 0,80 = 21,2 \text{ (т)}$$

$$\text{Готова продукція (паливні гранули)} \quad K_{\text{сф}} = 5 \times 113 \times 0,63 \times 0,85 = 302,6 \text{ (т)}$$

Фактична ємкість для сировини та готової продукції, яка розміщується в складі підлогового зберігання в тарі, т:

$$K_{\text{сф}} = F_{\text{ф}} \times K_{\text{м}}, \quad (5.3.11)$$

де $F_{\text{ф}}$ – фактична площа для сировини, яка зберігається в тарі.

Підставляючи числові значення, одержуємо:

Вугільний пил	$K_{сф} = 5 \times 0,8 = 4 \text{ (т)}$
Готова продукція (паливні гранули)	$K_{сф} = 90 \times 0,8 = 72 \text{ (т)}$
Готова продукція (паливні брикети)	$K_{сф} = 25 \times 0,8 = 20 \text{ (т)}$

Фактичний час витрат запасів, діб, визначаємо за формулами:

$$\text{для сировини та готової продукції} \quad Z_{\phi} = \frac{100 \times K_{сф}}{Q \times a} \quad (5.3.12)$$

де Q – продуктивність заводу, т/добу.

a – усереднені витрати сировини.

Розрахуємо фактичний час запасів сировини різних видів і готової продукції, діб:

Лузга ячмінна	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 25,4}{60 \times 15} = 2,8 \text{ (добы)}$
Лузга вівсяна	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 19,8}{60 \times 15} = 2,2 \text{ (діб)}$
Лушпиння соняшникове	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 67,8}{60 \times 60} = 1,9 \text{ (діб)}$
Віходи очистки соняшнику	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 42,4}{60 \times 30} = 2,4 \text{ (діб)}$
Лузга гречана	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 21,2}{60 \times 10} = 3,5 \text{ (діб)}$
Тирса	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 54}{60 \times 10} = 9 \text{ (діб)}$
Вугільний пил	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 4}{60 \times 2} = 3,3 \text{ (діб)}$
Готова продукція (паливні гранули)	$Z_{\phi} = \frac{100 \times 302,6}{60 \times 95} = 5,3 \text{ (діб)}$

Готова продукція
(паливні гранули в
затареному вигляді)

$$Z_{\phi} = \frac{100 \times 72}{60 \times 20} = 6 \text{ (діб)}$$

Готова продукція
(паливні брикети)

$$Z_{\phi} = \frac{100 \times 20}{60 \times 5} = 6,7 \text{ (діб)}$$

Дані розрахунків по визначенню необхідної ємності складів підлогового зберігання вносимо в табл. 5.2., 5.3.

Таблиця 5.2 – Зведена таблиця розрахунку ємності складу силосного і підлогового зберігання для сировини

Сировина	Опосереднені витрати сировини, %	Норма часу для визначення запасу сировини, діб	Об'єм на маса, т/м³	Коеф. Використання площі	Розрахункова ємність, т	Фактична ємність, т	Фактичний запас сировини, діб
Склад силосного типу							
Лузга ячмінна	15	2	0,18	0,85	18	25,4	8
Лузга вівсяна	15	2	0,14	0,80	18	19,8	2,2
Лушпиння соняшникове	60	2	0,16	0,80	72	67,8	1,9
Віходи очистки соняшнику	30	2	0,15	0,80	36	42,4	2,4
Лузга гречана	10	2	0,15	0,80	12	21,2	3,5
Вугільний пил	2	2	1,2	0,80	2,4	4	3,3
Склад підлогового типу							
Тирса	10	2	0,15	0,80	12	54	9

Таблиця 5.3 – Зведена таблиця розрахунку ємності складу силосного і підлогового зберігання для готової продукції

Сировина	Опосереднені витрати сировини, %	Норма часу для визначення запасу сировини, діб	Об'єм на маса, т/м³	Коеф. використання площі	Розрахункова ємність, т	Фактична ємність, т	Фактичний запас сировини, діб
Склад силосного типу							
Паливні гранули	95	2-5	0,63	0,85	285	302,6	5,3
Склад підлогового типу							
Паливні гранули	20	2-5	0,63	0,85	57	72	6,0
Паливні брикети	5	2-5	0,55	0,85	15	20	6,7

Висновок: фактична ємність складів силосного та підлогового типу для зберігання сировини та готової продукції забезпечує задану продуктивність відповідно заданим нормам часу.

5.4 Розрахунок технологічного обладнання

Розрахунок технологічного обладнання ведемо по технологічних лініях згідно із принциповою схемою. Для розрахунку продуктивності технологічних ліній приймаємо максимальні витрати сировини [57].

Продуктивність кожної технологічної лінії розраховуємо за формулою:

$$q_{\text{л}} = \frac{Q_3 \times b}{100 \times \tau}, \quad (5.4.1)$$

де Q_3 – продуктивність заводу, т/доб;

b – розрахункова маса перероблюваної сировини;

τ – час роботи лінії, год.

Необхідну кількість обладнання по окремих технологічних операціях розраховують за формулою:

$$n = \frac{q_{\text{л}}}{q_{\text{п}} \times K_{\text{в}}}, \quad (4.5.2)$$

де $q_{\text{п}}$ – паспортна продуктивність машини (установки), т/год;

$q_{\text{м}}$ – маса сировини, що поступає в машину, т/год;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання технологічного устаткування (для сучасного високотехнологічного обладнання $K_{\text{в}}=1$).

Коефіцієнт завантаження технологічного обладнання, %:

$$K_3 = \frac{q_{\text{м}}}{n \times q_{\text{п}} \times K_{\text{в}}}, \quad (5.4.3)$$

Змішувач періодичної дії підбирають за розрахунковою масою порції, кг:

$$E_{\text{р}} = \frac{1000 \times q_{\text{л}}}{n \times K_{\text{в}}}, \quad (5.4.4)$$

де $q_{\text{л}}$ – продуктивність лінії, т/год,

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання технологічного обладнання,

n – кількість циклів змішування:

$$n = \frac{60}{\tau}, \quad (5.4.5)$$

де τ – тривалість циклу.

Коефіцієнт завантаження змішувача, %:

$$K_z = \frac{E_p}{E_{zm}} \times 100, \% \quad (5.4.6)$$

де E_{zm} – місткість змішувача, кг.

Лінія підготовки сировини

Розрахуємо продуктивність лінії за формулою 5.4.1.:

$$q_l = \frac{60 \times 100}{100 \times 12} = 5 \text{ (т/год)}$$

Для відокремлення металомагнітних домішок встановлюємо магнітний сепаратор марки МК-10 фірми ПАТ «Хорольський механічний завод» (Україна) із паспортною продуктивністю 10 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{5}{10 \times 1} = 0,50; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_z = \frac{5}{1 \times 10 \times 1} \times 100 = 50 \text{ (\%)}$$

Для подрібнення встановлюємо молоткову дробарку марки НМ S/R-10 AKANA фірми «Amandus Kahl» (Німеччина) із паспортною продуктивністю 10 т/год. На лінії передбачаємо подрібнення з пневматичним вивантаженням у комплексі з циклонами і вентиляторами.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{5}{10 \times 0,7} = 0,71; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_z = \frac{5}{1 \times 10 \times 0,7} \times 100 = 71 \text{ (\%)}$$

Розрахункову масу порції розраховуємо за формулою 5.4.4.:

$$E_p = \frac{1000 \times 5}{10 \times 0,9} = 555,6 \text{ (кг)}$$

Кількість циклів розраховуємо за формулою 5.4.5.:

$$n = \frac{60}{6} = 10$$

Приймаємо змішувач марки СП-4000 фірми ТОВ «ТЕХНЕКС» (об'єм 4 м³, 4000 × 0,16 = 640 кг).

Коефіцієнт завантаження змішувача розраховуємо за формулою 5.4.6.:

$$K_b = \frac{555,6}{640} \times 100 = 87 \text{ (\%)}$$

Встановлене на лінії обладнання забезпечує задану продуктивність.

Лінія гранулювання

Розрахуємо продуктивність лінії за формулою 5.4.1.:

$$q_{\text{л}} = \frac{60 \times 95}{100 \times 12} = 4,75 \text{ (т/год)}$$

Так як на повторне гранулювання направляється близько 10 % дрібної фракції (5 % з охолоджувальної колонки і 5 % з просіювальної машини), то:

$$q_{\text{л}} = 4,75 + (4,75 \times 0,10) = 5,23 \text{ (т/год)}$$

Для додаткового зволоження сировини та покращення процесу пресування встановлюємо кондиціонер марки RWB 2205-1 фірми «Amandus Kahl» (Німеччина) із паспортною продуктивністю 7 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{5,23}{7 \times 0,8} = 0,93; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_3 = \frac{5,23}{1 \times 7 \times 0,8} \times 100 = 93 \text{ (\%)}$$

Для гранулювання встановлюємо прес-гранулятор з плоскою матрицею марки РМ 60-1250 фірми «Amandus Kahl» (Німеччина) із паспортною продуктивністю 7 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{5,23}{7 \times 0,8} = 0,93; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_3 = \frac{5,23}{1 \times 7 \times 0,8} \times 100 = 93 \text{ (\%)}$$

Для охолодження гарячих гранул встановлюємо охолоджувальну колонку марки GK 19×19R фірми «Amandus Kahl» (Німеччина) із паспортною продуктивністю 7 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{5,23}{7 \times 1} = 0,75; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_3 = \frac{5,23}{1 \times 7 \times 1} \times 100 = 75 \text{ (\%)}$$

Для контролю якості готової продукції встановлюємо просіювальну машину марки SIV 650×1250 фірми «Amandus Kahl» (Німеччина) із паспортною продуктивністю 7 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{5,23}{7 \times 1} = 0,75; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_3 = \frac{5,23}{1 \times 7 \times 1} \times 100 = 75 \text{ (\%)}$$

Встановлене на лінії обладнання забезпечує задану продуктивність.

Лінія брикетування

Розрахуємо продуктивність лінії за формулою 5.4.1.:

$$q_{\text{л}} = \frac{60 \times 5}{100 \times 12} = 0,25 \text{ (т/год)}$$

Для пресування сировини встановлюємо установку для брикетування марки LB-500 (брикети NESTRO) фірми ТОВ «Черкасиелеватормаш», Bronto (Україна) із паспортною продуктивністю 0,5 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{0,25}{0,5 \times 0,8} = 0,63; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_3 = \frac{0,25}{0,5 \times 0,8 \times 1} \times 100 = 63 \text{ (\%)}$$

Встановлене на лінії обладнання забезпечує задану продуктивність.

Лінія фасування готової продукції

Розрахуємо продуктивність лінії за формулою 5.4.1.:

$$q_{\text{л}} = \frac{60 \times 20}{100 \times 12} = 1 \text{ (т/год)}$$

Передбачаємо, що готова продукція на підприємстві буде відвантажуватися у затареному вигляді (20 %). Фасування готової продукції у мішки по 10-20 кг.

Для зважування готової продукції встановлюємо дозатор для фасування у мішки марки ДВК-20Ф фірми ТОВ «СВЕДА» (Україна) із паспортною продуктивністю 2 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 5.4.2.:

$$n = \frac{1}{2 \times 0,9} = 0,56; n = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 5.4.3.:

$$K_3 = \frac{1}{1 \times 2 \times 0,9} \times 100 = 56 \text{ (\%)}$$

Встановлене на лінії обладнання забезпечує задану продуктивність.

Дані розрахунку технологічного обладнання по технологічним лініям наведено в табл. 5.4.1.

Таблиця 5.4.1 – Дані розрахунку технологічного обладнання

Назва обладнання, машини, номер	Марка обладнання, машини	Кіль- кість n_{ϕ} , шт	Продуктивність		Кое- фіці- єнт вико- рис- тання K_v , %	Кое- фіці- єнт заван- та- ження K_z , %
			пас- портна q_n , т/год	експлуа- таційна q_e , т/год		
1	2	3	4	5	6	7
Лінія підготовки сировини						
Магнітний сепаратор	ПАТ «Хорольський механічний завод», Україна МК-10	1	10	10	1	50
Молоткова дробарка	«Amandus Kahl», Німеччина НМ S/R-10 AKANA	1	10	7	0,7	71
Змішувач	ТОВ «ТЕХНЕКС» СП-4000	1	640	576	0,9	87
Лінія гранулювання						
Кондиціонер	«Amandus Kahl», Німеччина RBW 2205-1	1	7	5,6	0,8	93
Прес- гранулятор	«Amandus Kahl», Німеччина КАНЛ 60-1250	1	7	5,6	0,8	93
Охолоджува- льна колонка	«Amandus Kahl», Німеччина GK 19x19R	1	7	7	1	75
Просіювальна машина	«Amandus Kahl», Німеччина SIV 650x1250	1	7	7	1	75

1	2	3	4	5	6	7
Лінія брикетування						
Установка для брикетування (NESTRO)	ТОВ «Черкасиелеватормаш», Bronto, Україна LB-500	1	0,5	0,4	0,8	63
Лінія фасування готової продукції						
Дозатор для фасування готової продукції у мішки	ТОВ «СВЕДА», Україна ДВК-20Ф	1	2	1,8	0,9	56

Висновок: Встановлене на лініях технологічне обладнання забезпечує задану продуктивність цеху з виробництва твердого біопалива.

5.5 Розрахунок ємності оперативних бункерів

Для безперервної роботи цеху треба передбачити оперативні бункери над молотковою дробаркою, пресом-гранулятором, брикетувальним пресом та фасувальною машиною. Запас сировини в бункерах повинен забезпечити безперервну роботу обладнання на протязі 1 години [57].

Масу сировини, що розміщується в оперативних бункерах розраховуємо за формулою, т:

$$E_m = q \times \tau \quad (5.5.1)$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою, м³:

$$V = \frac{E_m}{\gamma \times \eta} \quad (5.5.2)$$

де γ – об'ємна маса сировини, т/м³;

η – коефіцієнт використання об'єму;

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою, м³:

$$V_1 = a \times b \times h, \text{ м}^3 \quad (5.5.3)$$

Тоді кількість бункерів розраховуємо за формулою, шт:

$$n = \frac{V}{V_1} \quad (5.5.4)$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою, м³:

$$V_{\phi} = n \times V_1 \quad (5.5.5)$$

Фактична місткість бункеру розраховуємо за формулою, м³:

$$E_{\phi} = V_{\phi} \times \gamma \times \eta \quad (5.5.6)$$

де: γ – об’ємна маса сировини, т/м³;

η – коефіцієнт використання об’єму (0,80...0,85).

Фактичний запас сировини в бункерах розраховуємо за формулою, год:

$$\tau_{\phi} = \frac{E_M}{q} \quad (5.5.7)$$

Лінія підготовки сировини

Встановлюємо оперативний бункер № 1 над молотковою дробаркою НМ S/R-10 АНАНА.

Масу сировини розраховуємо за формулою 5.5.1.:

$$E_M = 10 \times 1 = 10 \text{ (т)}$$

Об’єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.2.:

$$V = \frac{10}{0,16 \times 0,80} = 73,5 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об’єм одного бункера розраховуємо за формулою 5.5.3.:

$$V_1 = 1,5 \times 1,5 \times 2,5 = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 5.5.4.:

$$n = \frac{73,5}{5,6} = 13, n_{\phi} = 1 \text{ (шт)}$$

Фактичний об’єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 5,6 = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 5.5.6.:

$$E_{\phi} = 5,6 \times 0,16 \times 0,80 = 0,8 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 5.5.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{0,8}{5} = 0,2 \text{ (год)}$$

Встановлюємо оперативний бункер на тензодатчиках № 2 над змішувачем СП-4000 (0,64 т)

Об’єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.2.:

$$V = \frac{0,64}{0,16 \times 0,80} = 5 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 5.5.3.:

$$V_1 = 1,5 \times 1,5 \times 2,5 = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 5.5.4.:

$$n = \frac{5}{5,6} = 0,89, n_{\phi} = 1 \text{ (шт)}$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 5,6 = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 5.5.6.:

$$E_{\phi} = 5,6 \times 0,16 \times 0,80 = 0,8 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 5.5.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{0,8}{5} = 0,2 \text{ (год)}$$

Лінія гранулювання

Встановлюємо оперативний бункер № 4 над пресом-гранулятором марки КАНЛ 60-1250. Масу сировини розраховуємо за формулою 5.5.1.:

$$E_m = 7 \times 1 = 7 \text{ (т)}$$

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 5.5.3.:

$$V_1 = 1,5 \times 1,5 \times 1,5 = 3,4 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.2.:

$$V = \frac{7}{0,35 \times 0,80} = 25 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 5.5.4.:

$$n = \frac{25}{3,4} = 7,4, n_{\phi} = 1$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 3,4 = 3,4 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 5.5.6.:

$$E_{\phi} = 3,4 \times 0,35 \times 0,80 = 1 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 5.5.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{1}{5,23} = 0,2 \text{ (год)}$$

Лінія брикетування

Встановлюємо оперативний бункер № 3 над брикетувальним пресом LB-500.

Масу сировини розрахуємо за формулою 5.5.1.:

$$E_m = 0,5 \times 1 = 0,5 \text{ (т)}$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.2.:

$$V = \frac{0,5}{0,35 \times 0,80} = 3,7 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 5.5.3.:

$$V_1 = 1,5 \times 1,5 \times 2,5 = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 5.5.4.:

$$n = \frac{3,7}{5,6} = 0,7, n_{\phi} = 1 \text{ (шт)}$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 5,6 = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 5.5.6.:

$$E_{\phi} = 5,6 \times 0,35 \times 0,80 = 1,6 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 5.5.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{1,6}{0,25} = 6,4 \text{ (год)}$$

Лінія фасування готової продукції

Розрахуємо оперативний бункер № 5а над дозатором для фасування готової продукції у мішки марки ДВК-20Ф.

Масу сировини розрахуємо за формулою 5.5.1.:

$$E_m = 2 \times 1 = 2 \text{ (т)}$$

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 5.5.3.:

$$V_1 = 1,5 \times 1,5 \times 2,5 = 5,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.2.:

$$V = \frac{2}{0,63 \times 0,85} = 3,7 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 5.5.4.:

$$n = \frac{3,7}{5,6} = 0,7, n_{\phi} = 1$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 5.5.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 3,7 = 3,7 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 5.5.6.:

$$E_{\phi} = 3,7 \times 0,63 \times 0,85 = 2 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 5.5.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{2}{1} = 2 \text{ (год)}$$

У табл. 5.5.1 наведено дані розрахунку ємності оперативних бункерів, які розміщено на лініях екструдуювання сої та брикетування твердого біопалива.

Таблиця 5.5.1 – Дані розрахунку ємності оперативних бункерів

Бункери	Об'єм а маса сировини, гот. продук., γ , т/м ³	Коефіцієнт використа ння об'єму бункерів, K_b	Розрахун кова ємність бункерів, E_p , т	Фактична ємність бункерів, E_{ϕ} , т	Запаси сировини, гот. продук., τ_p , год	Фактичні запаси сировини, гот. продук., τ_{ϕ} , год
1	2	3	4	5	6	7
Лінія підготовки сировини						
Оперативний бункер № 1 над молот-ковою дро-баркою HM S/R-10 AHANA	0,16	0,80	10	0,8	1	0,2
Оперативний бункер № 2 над змішу-вачем СП-4000	0,16	0,80	0,64	0,8	1	0,2
Лінія гранулювання						
Оперативний бункер № 4 над пресом- гранулятором KANL 60-1250	0,35	0,80	7	1,0	1	0,2
Лінія брикетування						
Оперативний бункер № 3 над установкою для брикетування LB-500	0,35	0,80	0,5	0,8	1,6	6,4

1	2	3	4	5	6	7
Лінія фасування готової продукції						
Оперативний бункер № 5а над дозатором для фасування ДВК-20Ф	0,63	0,85	2	2	1	2

Висновок: фактична ємність оперативних бункерів забезпечує задані запаси сировини та готової продукції протягом необхідного проміжку часу та забезпечує безперебійну роботу підприємства.

5.6 Розрахунок транспортного обладнання

Вибір транспортного обладнання (норій, скребкових транспортерів) на технологічних лініях повинен забезпечити умови для максимального завантаження технологічних машин, які обслуговує дане транспортне обладнання. Транспортне обладнання треба вибирати з врахуванням виду сировини і його об'ємної маси [57].

Експлуатаційну продуктивність транспортних механізмів (транспортерів, конвеєрів, норій), т/год, розраховуємо за формулою:

$$q_e = \frac{q_n \times \gamma \times K}{0,75} \quad (5.6.1)$$

де q_e – експлуатаційна продуктивність транспортуючої машини (норій, ланцюгових транспортерів, гвинтових конвеєрів) на даному виді сировини, т/год;

q_n – технічна (паспортна) продуктивність транспортуючої машини (для $\gamma = 0,75 \text{ т/м}^3$), т/год;

γ – об'ємна маса сировини, що транспортується, т/м³;

K – коефіцієнт використання транспортуючої машини ($K=0,85$ для транспортуючих машин $q_e < 50 \text{ т/год}$).

Коефіцієнт завантаження транспортного обладнання, %:

$$K_z = \frac{q_n}{q_e} \times 100 \quad (5.6.2)$$

Кінцева кількість транспортуючих машин уточнюється при розміщенні обладнання на поверхах і проектуванні комунікації.

Лінія підготовки сировини

Встановлюємо скребковий транспортер № 1 фірми ТОВ «ТЕХНЕКС» марки КТС-50 із паспортною продуктивністю 50 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.6.1.:

$$q_e = 50 \times \frac{0,16 \times 0,85}{0,75} = 9,1 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.6.2.:

$$K_z = \frac{5}{9,1} \times 100 = 55 \text{ (\%)}$$

Встановлюємо скребкові транспортери № 2, 3, 5 фірми ТОВ «ТЕХНЕКС» марки КТС-20 із паспортною продуктивністю 20 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.6.1.:

$$q_e = 20 \times \frac{0,35 \times 0,85}{0,75} = 7,9 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.6.2.:

$$K_z = \frac{5}{7,9} \times 100 = 63 \text{ (\%)}$$

Так як продуктивність лінії 5 т/год, то транспортне обладнання повністю забезпечує умови максимального завантаження технологічного обладнання.

Лінія гранулювання

Встановлюємо скребкові транспортери № 6, 7 фірми ТОВ «ТЕХНЕКС» марки КТС-10 із паспортною продуктивністю 10 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.6.1.:

$$q_e = 10 \times \frac{0,63 \times 0,85}{0,75} = 7,14 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортерів визначаємо за формулою 2.6.2.:

$$K_z = \frac{5,23}{7,14} \times 100 = 73 \text{ (\%)}$$

Встановлюємо норію №1 фірми ТОВ «ТЕХНЕКС» марки Е-10 із паспортною продуктивністю 10 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.6.1.:

$$q_e = 10 \times \frac{0,63 \times 0,85}{0,75} = 7,14 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортерів визначаємо за формулою 2.6.2.:

$$K_3 = \frac{5,23}{7,14} \times 100 = 73 (\%)$$

Так як продуктивність лінії 5,23 т/год, то транспортне обладнання повністю забезпечує умови максимального завантаження технологічного обладнання.

Лінія брикетування

Встановлюємо скребковий транспортер № 4 фірми ТОВ «ТЕХНЕКС» марки КТС-10 із паспортною продуктивністю 10 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.6.1.:

$$q_e = 10 \times \frac{0,35 \times 0,85}{0,75} = 4 (\text{т/год})$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.6.2.:

$$K_3 = \frac{0,25}{4} \times 100 = 6 (\%)$$

Так як продуктивність лінії 0,25 т/год, то транспортне обладнання повністю забезпечує умови максимального завантаження технологічного обладнання.

Висновок: Встановлене на технологічних лініях транспортне обладнання забезпечує задану продуктивність.

5.7 Оформлення відомості руху продуктів за схемою технологічного процесу виробництва твердого біопалива

Призначення внутрішньоцехової комунікації – ув'язати в єдину виробничу лінію все обладнання, яке визначене розрахунками і розміщене на поверхах будівлі виробничих корпусів, здійснити направлення проміжних продуктів, що передбачено за схемою технологічного процесу виробництва готової продукції.

Для цього використовують механічний транспорт, який дозволяє перемішувати продукти в різних напрямках згідно зі схемою технологічного процесу виробництва готової продукції. Раціональне розташування обладнання на поверхах виробничих корпусів, складських приміщень, мінімальна кількість транспортних механізмів суттєво впливають на проєктування автоматизації

технологічних процесів і зменшення питомих витрат енергії на виробництво продукції.

У процесі розробки комунікації враховуються вимоги техніки безпеки обслуговування і експлуатації обладнання, уточнюють розташування технологічного обладнання в залежності від особливостей конструктивних елементів будівлі виробничого корпусу та конструкції обладнання. Ув'язку технологічного обладнання здійснюють за допомогою транспортного обладнання (норій, транспортерів, конвеєрів та ін.) і самопливних труб.

Проект комунікації складається з двох частин: графічної (креслення напрямів руху продуктів на розрізах будівлі); описової – оформлення відомості руху продуктів.

У графічну частину проекту комунікації входять поздовжній і поперечний розрізи будівлі виробничого корпусу, на яких показані поверхове розташування технологічного, транспортного обладнання і самопливних труб. Самопливні труби (самопливи) умовно зображають у вигляді суцільної лінії (напряму руху продукту по осі самопливу). Нумерацію самопливних труб проставляють у порядку послідовності руху продуктів за схемою технологічного процесу виробництва готової продукції.

Номери самопливів проставляють арабськими цифрами на поздовжньому і поперечному розрізах будівлі виробничого корпусу біля умовного зображення самопливних труб при подачі продуктів в приймальний отвір обладнання. У випадку проектування самопливних труб крізь декількох поверхів будівлі номер самопливу проставляють на поверсі, на якому кут нахилу проекції самопливної труби мінімальний до горизонтальної площині при подачі сировини, продуктів в приймальний отвір технологічного, транспортного обладнання.

Паралельно з розміщенням обладнання на поверхах, розробкою креслень комунікації, складаємо відомість руху продуктів, яка наведена в табл. 5.7.1 з якої видно, що обладнання встановлено вірно – фактичні кути нахилу самопливів більше допустимих.

Висновок: обладнання на лініях виробництва твердого біопалива на поверхах виробничого корпусу розміщено вірно про це свідчить відомість руху продуктів, яка наведена в табл. 5.7.1, фактичні кути нахилу самопливів більше гранично допустимих та забезпечують безперервну роботу технологічного і транспортного обладнання на лініях [57].

Таблиця 5.7.1 – Внутрішньоцехова комунікація

Назва, марка технологічного обладнання, бункерів	Кількість технологічного обладнання, од.	Назва продуктів, які		Назва, марка технологічного обладнання, на яке подається продукт	Транспортне обладнання				Кут нахилу самопливу, град				Діаметр самопливу, мм	Поверх перевірки кута нахилу самопливу
		надходять до технологічного обладнання	виходять з технологічного обладнання		номер самопливу	марка, номер норії	марка, номер циклона	марка, номер транспортера, конвеєра	в повздовжньому розрізі	в поперечному розрізі	фактичний	гранично допустимий		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Лінія підготовки сировини														
Склад сировини	1	лузга, лушпиння	очищена лузга, лушпиння від ММД	Магнітний сепаратор МК-10	1	–	–	КСТ-50 №1	90	90	90	50	140	1
					2	–	–		90	90	90	50	140	пл
Магнітний сепаратор МК-10	1	очищена лузга, лушпиння від ММД	очищена лузга, лушпиння від ММД	Оперативний бункер №1	3	–	–	–	–	–	–	–	–	пл
Оперативний бункер №1	1	очищена лузга від ММД	подрібне-на лузга	Молоткова дробарка НМ S/R-10 AKANA	4	–	–	–	90	90	90	50	140	1

КРМ.ТЗІК.1.958-03.1.6

Продовження табл. 5.7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Лінія гранулювання														
Молоткова дробарка HM S/R-10 AKANA	1	подрібнена лузга, лушпиння	подрібнена лузга, лушпиння	Оперативний бункер №2	4a	—	ЦОЛ №1	—	—	—	—	—	—	1
					5	—	—	КСТ-20 №2	90 90	90 90	90 90	50 50	140 140	пл
Оперативний бункер №2	1	подрібнена лузга, лушпиння	однорідна апорція	Змішувач СП-4000	6	—	—	—	90	90	90	50	140	1
Змішувач СП-4000	1	однорідна порція	зволоженна лузга, лушпиння	Кондиціонер RWB 2205-1	7	—	—	КСТ-20 №3	90	90	90	50	140	1
					8	—	—		90	90	90	50	140	1
Кондиціонер RWB 2205-1	1	зволоженна лузга, лушпиння	зволоженна лузга, лушпиння	Оперативний бункер №4	9	—	—	КСТ-20 №5	90	90	90	70	140	1
					10	—	—		90	90	90	70	140	пл
Оперативний бункер №4	1	очищена від ММД лузга, лушпиння	паливні гранули	Прес-гранулятор KANL PM 60-1250	11 11a	—	—	DM-400 №2	90 90	90 90	90 90	50	140	1
Прес-гранулятор KANL PM 60-1250	1	паливні гранули	охолоджені паливні гранули	Охолоджувальна колонка GK 19x19R	12	—	—	КСТ-10 №6	90	90	90	70	140	1
					13	—	—		90	90	90	70	140	пл
Охолоджувальна колонка GK 19x19R	1	охолоджені паливні гранули	паливні гранули, дрібна фракція	Просіювальна машина SIV 650-1250	14	—	—		90	90	90	50	140	1

Продовження табл. 5.7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Просіювальна машина SIV 650-1250	1	паливні гранули, дрібна фракція	зволоже-на дере-вина	Оперативний бункер №5 (СГП)	15 17	—	—	КСТ-10 №8	90	90	90	50	140	1 пл
				Оперативний бункер №2	16 16а	—	ЦОЛ №2	КСТ-10 №7	90	90	90	50	140	1
Лінія брикетування														
Кондиціонер RWB 2205-1	1	зволоже-на лузга, лушпиння	зволоже-на лузга, лушпин-ня	Оперативний бункер №3	18	—	—	КСТ-10 №4	90	90	90	70	140	1
					19	—	—		90	90	90	70	140	пл
Оперативний бункер №3	1	зволоже-на лузга, лушпиння	брикети NESTRO	Установка для брикетування LB-500	20	—	—	—	90	90	90	70	140	1
Установка для брикетування LB-500	1	брикети NESTRO	брикети NESTRO	В склад готової продукції	21	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Лінія фасування готової продукції														
Оперативний бункер №5, 5а (СГП)	1	Паливні гранули	гранули запако-вані в мішки по 20 кг	Дозатор для фасування у мішки ДВК-20 Ф	22	—	—	—	90	90	90	47	180	1
Дозатор для фасування у мішки	2	гранули запако-вані в мішки по 20 кг	гранули запако-вані в мішки по 20 кг	У склад готової продукції	23	—	—	—	—	—	—	—	—	1

5.8 Технохімічний та технологічний контроль виробництва

Для забезпечення постійного контролю якості сировини і готової продукції (твердого біопалива) на підприємстві повинна бути обладнана виробничо-технологічна лабораторія (ВТЛ). База приладів ВТЛ повинна забезпечувати проведення технічного і хімічного контролю якості сировини, готової продукції і визначення ефективності окремих технологічних процесів [57].

У ході попереднього визначення якості сировини, яка надходить на підприємство, працівники ВТЛ проводять органолептичну оцінку. У процесі виробництва твердого біопалива виробничий персонал і працівники ВТЛ контролюють ефективність технологічних процесів за схемою, наведеною в табл. 2.8.1.

Таблиця 2.8.1 – Типова схема технохімічного контролю виробництва твердого біопалива

Об'єкт контролю	Назва обладнання	Контрольні показники і параметри	Періодичність контролю	Хто здійснює контроль
1	2	3	4	5
Виробництво твердого біопалива	Магнітні сепаратори	Технічний стан установок і якість очищення магнітів	1 раз на зміну	-//-
		Здача металомагнітних домішок у ВТЛ	В кінці зміни	-//-
		Вантажопідйомність магнітів	1 раз на рік	Головний технолог
	Дробарка	Технічний стан	Кожні 2 години	ВП
		Крупність	-//-	ВТЛ
	Кондиціонер	Визначення відповідності тиску і температури пари нормативним параметрам	Кожні 2 години роботи	-//-
	Прес-гранулятор	Визначення відповідності тиску і температури пари нормативним параметрам	Кожні 2 години роботи	-//-
	Охолоджувач гранул	Температура гранул на виході з охолоджувача	-//-	-//-
		Розмір гранул	В кожній середньозмінній пробі	ВТЛ
		Прохід через сито з отворами Ø2,0 мм	-//-	-//-

Продовження табл. 2.8.1

1	2	3	4	5
		Крихкість гранул	-//-	-//-
		Вміст вологи в гранулах	-//-	-//-
	Брикетувальний прес	Визначення відповідності тиску і температури пари нормативним параметрам	Кожні 2 години роботи	-//-

Виготовлену продукцію також контролюють за основними показниками якості такими як, розміри (довжина і діаметр), вміст вологи, об'ємна маса, крихкість (вміст пилу), механічна міцність, питома щільність, насипна щільність, теплотворна здатність (теплота згорання), вміст золи, вміст хімічних елементів (хлор, азот, сірка та ін.), показник плавлення золи.

Кожна партія готової продукції має супроводжуватися фінансовими документами і документами про якість [27, 30].

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6	Арк.
						111
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Розділ 6 Охорона праці

Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Аналізуючи технологічну схему виробництва твердого біопалива (паливних гранул та паливних брикетів) бачимо, що у процесі роботи можуть виникнути наступні потенційно небезпечні й шкідливі виробничі фактори [58]:

- рухливі частини технологічного обладнання (конвеєри, транспортери, норії, молоткова дробарка, прес-гранулятор, брикетувальний прес);
- конструкції, які руйнуються (це вікна та двері на поверхах);
- рухомі матеріали (вихідна сировина, готова продукція, що переміщується по самопливах і конвеєрах та транспортерах);
- підвищена запиленість повітря робочої зони на всіх поверхах виробничої будівлі (ГДК пилу становить 2-6 мг/м³);
- підвищена температура поверхні обладнання (молоткова дробарка, кондиціонер, прес-гранулятор, охолоджувальна колонка, брикетувальний прес);
- підвищений рівень вібрації на робочому місці (молоткова дробарка, брикетувальний прес); нормативне значення віброшвидкості – 92 дБ при частоті вібрації технологічного обладнання 60-63 Гц;
- підвищена чи понижена вологість повітря (кондиціонер, прес-гранулятор, охолоджувальна колонка); по нормі відносна вологість не вище 75 %;
- підвищена температура повітря робочої зони (кондиціонер, прес-гранулятор, брикетувальний прес, охолоджувальна колонка); норма 15-21 °С;
- підвищений рівень шуму на робочому місці (молоткова дробарка, прес-гранулятор, брикетувальний прес, транспортне обладнання); нормативне значення на постійному робочому місці 80 дБА;
- підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якої може пройти через тіло людини (все технологічне і транспортне обладнання підключене до мережі з напругою 380 В);
- підвищена або понижена рухливість повітря – зони обслуговування технологічного обладнання в теплий чи холодний періоди року в залежності від погодних умов, влітку – протяги; швидкість руху повітря не більше 0,4 м/с;
- підвищений рівень статичної електрики (самопливні труби, бункера,

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6							
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива			Літ.	Арк	Аркуші		
Консультант										112	4	
Перевірю		Бордун Т.В.						ОНТУ 2023				
Зав.каф.		Макаринська А.В.										
Затверд.												

транспортне обладнання, аспіраційні установки, молоткова дробарка);

- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхні інструментів, обладнання (обладнання з рухомими деталями, різне допоміжне обладнання);

- нестача природного освітлення (особливо у холодний період); так як в виробничому приміщенні виконуються роботи четвертого розряду зорової роботи, тому коефіцієнт природного освітлення повинен бути не менше 1,5 %;

- нестача штучного освітлення робочої зони через велику кількість технологічного і транспортного обладнання; нормативна освітленість основних виробничих приміщень – становить 100 лк згідно ДБН В.2.5-28-2006;

- розташування обладнання на висоті відносно підлоги (конвеєри, головки норій);

- психофізіологічні (монотонність праці, фізичне, динамічне та емоційне перевантаження, перенапруга аналізаторів слуху, нюху);

- біологічні фактори – бактерії, віруси, гриби, патогенні мікроорганізми, а також гризуни (пацюки).

Забезпечення нормованих умов шуму та вібрації

Основними організаційними заходами для зниження шкідливого впливу на організм людини шуму та вібрації є:

- дотримання правил експлуатації обладнання та проведення своєчасних профілактичних ремонтів (своєчасне змащення віброуючих частин обладнання, збалансованість швидкообертаючих частин машин, попередження зносу і своєчасна заміна зношених зубчастих передач і т. п., вдосконалення технології ремонту і обслуговування машин, а також своєчасне якісне проведення технічних оглядів, попереджувальних і загальних ремонтів);

- дистанційне керування обладнанням;

- використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) від шуму та вібрації (від шуму – навушники, від вібрації – віброізолюючі рукавиці, взуття на гумовій підошві);

- проведення санітарно-профілактичних заходів (раціональний режим праці, медогляд 1 раз на рік та ін.).

До основних технічних заходів відносять: використання глушників шуму (вихлопні труби вентиляторів); встановлення устаткування, яке шумить, на шумоізолюючих фундаментах, віброізолюючих від підлоги і інших конструкцій будівель (молоткова дробарка, вентилятор, прес-гранулятор, брикетувальний прес) [58].

Забезпечення нормованих показників мікроклімату та чистоти повітря

Для забезпечення нормативних показників мікроклімату та чистоти повітря в робочій зоні проектом передбачені наступні заходи [58]:

- раціональне розміщення обладнання (з урахуванням зручності обслуговування та ремонту);
- максимальна механізація (автоматизація) виробничих процесів;
- раціональна теплова ізоляція обладнання (кондиціонер, прес-гранулятор, трубопроводи пари та гарячої води);
- герметизація обладнання (прес-гранулятор, бункери);
- аспірація обладнання (компоновка аспіраційних мереж);
- раціональна природна вентиляція (шляхом провітрювання);
- графік прибирання пилу (2 рази за зміну);
- раціональний режим праці і відпочинку (робочий графік змінний – одна зміна тривалістю 12 год з перервою на обід та відпочинок);
- ЗІЗ (одяг відповідно сезону, респіратори, рукавиці, в особливих випадках використовуються протигази при роботі в бункерах і силосах при наявності наряду-допуску).

Проектом передбачено забезпечення нормованих показників освітлення

Освітленість виробничих приміщень і майданчиків необхідно забезпечувати відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006. Для забезпечення нормованої освітленості виробничих приміщень та робочих місць, проектом передбачено природне, штучне та комбіноване освітлення.

Природне освітлення. Проектом передбачено двостороннє бокове освітлення. Виробниче обладнання не затуляє світлові прорізи. Так як в виробничому приміщенні виконуються роботи четвертого розряду зорової роботи, тому коефіцієнт природного освітлення повинен бути не менше 1,5 %.

Скляну поверхню світлових отворів (вікон) періодично очищають від забруднення в терміни, встановлені адміністрацією підприємства (графік встановлюється адміністрацією) Розбиті у вікнах скла негайно видаляються і замінюються новими. Для зручності і безпеки протирання і заміни скла передбачені віконні блоки з внутрішнім відкриттям стулок.

Штучне освітлення. Проектом передбачено робоче, аварійне, евакуаційне. На поверхнях виробничого приміщення проводиться зорова робота восьмого розряду. Це забезпечується лампами розжарення з освітленням 100 Лк, а також вибухозапобіжними світильниками марки НОБ-300, ПУ-100, УП-200.

Напруга живлення ручних переносних світильників є: у приміщеннях з підвищеною небезпекою – безперервно 42 В; у приміщеннях особливо небезпечних, за межами приміщень і при роботі в котлах, цистернах тощо – безперервно 12 В. Аварійне освітлення для продовження роботи забезпечує на робочих поверхнях, що вимагають обслуговування при аварійному режимі, освітленість не менше 5 % від норми робочого освітлення при системі спільного освітлення – 2 Лк усередині будівлі і складу та 1 Лк для території підприємства.

Евакуаційне освітлення забезпечує освітленість в приміщеннях не менше 0,5 Лк на підлозі по лінії основних проходів. Евакуаційне освітлення живиться від джерела, що не залежить від електричної мережі робочого освітлення [58].

Вибухобезпека виробничого обладнання і приміщень

Вибухорозрядники призначаються для запобігання зростання тиску вибуху в об'ємі устаткування вище допустимого рівня з метою його захисту від руйнування і запобігання можливості поширення продуктів горіння у виробничі приміщення. Точкові фільтри призначені для видалення пилу із конвеєрів, елеваторів, бункерів та іншого технологічного обладнання.

У приміщеннях виробничого корпусу передбачені легкоскидні конструкції, площі яких забезпечують скидання надлишкового тиску при виникненні вибуху без руйнування конструкції будівлі. У зовнішніх огорожувальних конструкціях приміщень категорії за вибухо-пожежонебезпекою «Б» передбачено встановлення віконних блоків з одинарним склом у якості легкоскидних конструкцій [58].

Заходи із пожежовибухонебезпеки

Цех з виробництва твердого біопалива відноситься до пожежовибухонебезпечних виробництв категорії «Б». Проектом передбачено захист від блискавки на даху будівлі виробничого корпусу з заземленням; установку 10 порошкових вогнегасників із зарядом вогнегасної речовини 6 кг. Передбачаються внутрішня і зовнішня системи пожежегасіння. Внутрішні пожежні крани ручного пуску, встановлені в доступних місцях на майданчиках виробничого корпусу. Для забору води з протипожежної мережі встановлені пожежні гідранти. Кожен пожежний кран укомплектований пожежним рукавом і розміщений у навісній шафці. Передбачено блокування технологічного і транспортного устаткування з аспіраційними установками, а також автоблокування приводів груп устаткування, що виключає можливість завалів продукту при пусках і зупинках (молоткової дробарки, преса-гранулятора, брикетувального пресу) [58].

Розділ 7 Оцінка економічної ефективності будівництва цеху з виробництва твердого біопалива (паливних гранул та брикетів)

7.1 Розрахунок необхідної суми інвестицій

З метою розширення асортименту зернопереробних, олієпресових та круп'яних заводів необхідні грошові кошти для вкладення як в основні фонди, так і в оборотні кошти – інвестиції. Таким чином, загальна сума інвестицій (I) складається з:

- первісної вартості впроваджуваного обладнання (ПВ_{об});
- первісної вартості будівельних робіт (ПВ_{буд});
- додаткових оборотних коштів, які знадобляться цукровому заводу у разі збільшення обсягу виробництва продукції (ΔОК) [59].

$$I = \text{ПВ}_{\text{об}} + \text{ПВ}_{\text{буд}} + \Delta\text{ОК} \quad (7.1)$$

Інвестиції в основні фонди є первісною вартістю запропонованого до впровадження обладнання та будівельних робіт. До складу первісної вартості впроваджуваного обладнання (ПВ_{об}) входять вартість його придбання (В_{пр}), транспортні витрати на доставку (Т_р), заготівельно-складські витрати (З_с) та витрати на монтаж обладнання (М_н):

$$\text{ПВ}_{\text{об}} = 1,2 \times (\text{В}_{\text{пр}} + \text{Т}_{\text{р}} + \text{З}_{\text{с}} + \text{М}_{\text{н}}) \quad (7.2)$$

де Т_р = 8 % від вартості придбання обладнання;

З_с = 2 % від вартості придбання обладнання;

1,2 – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати у розмірі 20 % від врахованої частини первісної вартості впроваджуваного обладнання.

Вартість придбання та монтажу кожної одиниці впроваджуваного обладнання визначають за допомогою відповідних прейскурантів, довідників та прайс-листів. За відсутністю даних про вартість монтажу обладнання її можна прийняти у розмірі 10-20 % від вартості придбання обладнання.

Загальну суму вартості придбання та монтажу впроваджуваного обладнання необхідно розрахувати за допомогою табл. 7.1.

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6						
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива			Літ.	Арк	Аркушів	
Консультант		Басюркіна Н.Й								116	9
Перевірів		Бордун Т.В.						ОНТУ 2023			
Зав.каф.		Макаринська А.В.									
Затверд.											

Таблиця 7.1 – Кошторисно-фінансовий розрахунок вартості придбання та монтажу впровадженого обладнання

Обладнання	Кількість одиниць	Вартість одиниці, тис. грн. з ПДВ		
		обладнання	всього	монтаж
Магнітний сепаратор МК-10	1	70,5	70,5	14,1
Молоткова дробарка НМ S/R-10 AKANA	1	317,1	317,1	63,42
Змішувач СП-4000	1	375,7	375,7	75,14
Кондиціонер RBW 2205-1	1	461,7	461,7	92,34
Прес-гранулятор KANL 60-1250	1	885,8	885,8	177,16
Охолоджувальна колонка GK 19x19R	1	296,2	296,2	59,24
Просіювальна машина SIV 650x1250	1	244,4	244,4	48,88
Установка для брикетування LB-500	1	641,8	641,8	128,36
Дозатор для фасування готової продукції у мішки	1	226,3	226,3	45,26
Транспортери	8	137,0	1096,0	219,2
Норії	1	182,0	182,0	36,4
Всього			4797,5	959,5

$$T_p = 4797,5 \times 0,08 = 383,8 \text{ (тис. грн)}$$

$$Z_c = 4797,5 \times 0,02 = 95,95 \text{ (тис. грн)}$$

$$ПВ_{об} = 1,2 \times (4797,5 + 959,5 + 383,8 + 95,95) = 7484,1 \text{ (тис. грн)}$$

Розрахунок інвестицій у будівництво проводимо на основі методу питомих капітальних вкладень. Питомі капітальні вкладення на будівництво 1 кв.м. виробничої будівлі заводу складають 10500 грн. Додатково необхідно врахувати капітальні витрати на проведення комунікацій (20 % від інвестицій на будівництво). Враховуючи загальну площу виробничої будівлі 450 кв. м. інвестиції на будівництво становлять:

$$ПВ_{буд} = 450 \text{ кв. м.} \times 10500 \text{ грн/кв.м.} \times 1,2 / 1000 = 5562 \text{ (тис. грн)}$$

Комбікормовому заводу знадобляться оборотні кошти. Обсяг оборотних коштів визначають за формулою:

$$OK = OB \times \frac{T_{об}}{360}, \quad (7.3)$$

де ОК – оборотні кошти підприємства;

ОВ – обсяг виробництва продукції за рік;

Т об – тривалість 1 обороту оборотних коштів.

$$OK = 19200 \times 90/360 = 4800 \text{ (тис. грн)}$$

$$I = 7484,1 + 5562 + 4800 = 17846,1 \text{ (тис. грн)}$$

7.2 Розрахунок виробничої програми

Розрахунок виробничої програми підприємства представимо у вигляді табл. 7.2, 7.3.

Таблиця 7.2 – Розрахунок планового обсягу виробництва підприємства

	Показники	Значення
1	Виробнича потужність підприємства, т/добу	60
2	Плановий фонд робочого часу підприємства, діб	320
3	Коефіцієнт використання виробничої потужності	1
4	Плановий обсяг виробництва на рік, тис. т	19,2

Виробнича програма розраховується шляхом розподілу загального обсягу виробництва між основними видами продукції на основі попиту.

Таблиця 7.3 – Виробнича програма підприємства

Вид продукції	Частка, %	Обсяг виробництва, т
Паливні гранули	95	18240
Паливні брикети	5	960
Всього	100	19200

7.3 Розрахунок собівартості продукції

Матеріальні витрати. Витрати на сировину та матеріали

Для кожного виду продукції нами розраховано калькуляцію витрат на сировину (табл. 7.4 – 7.7).

Таблиця 7.4 – Витрати на сировину на 1 т паливних гранул (пелет) рецепт №1

Назва інгредієнту	У рецепті, %	Ціна 1 т інгредієнту, грн	Вартість інгредієнту
			в 1 т, грн
1	2	3	4
Лушпиння соняшникове	50	400	200
Відходи очистки соняшнику	25	500	125
Лузга гречана	10	1000	100

Продовження табл. 7.4

1	2	3	4
Лузга ячмінна	5	200	10
Лузга вівсяна	8	300	24
Вугільний пил	2	1200	24
Всього	100		483,0

Таблиця 7.5 – Витрати на сировину на 1 т паливних гранул (пелет) рецепт №2

Назва інгредієнту	У рецепті, %	Ціна 1 т інгредієнту, грн	Вартість інгредієнту
			в 1 т, грн
Лушпиння соняшникове	50	400	200
Відходи очистки соняшнику	28	500	140
Лузга ячмінна	5	200	10
Лузга вівсяна	10	300	30
Вугільний пил	2	1200	24
Тирса	10	1100	110
Всього	100		514,0

Таблиця 7.6 – Витрати на сировину на 1 т паливних брикетів рецепт №3

Назва інгредієнту	У рецепті, %	Ціна 1 т інгредієнту, грн	Вартість інгредієнту
			в 1 т, грн
Лушпиння соняшникове	60	400	240
Відходи очистки соняшнику	30	500	150
Лузга ячмінна	5	200	10
Лузга вівсяна	5	300	15
Всього	100		415,0

Таблиця 7.7 – Витрати на сировину на 1 т паливних брикетів рецепт №4

Назва інгредієнту	У рецепті, %	Ціна 1 т інгредієнту, грн	Вартість інгредієнту
			в 1 т, грн
1	2	3	4
Лушпиння соняшникове	40	400	160
Відходи очистки соняшнику	20	500	100
Лузга гречана	10	1000	100
Лузга ячмінна	15	200	30
Лузга вівсяна	15	300	45
Всього	100		435,0

Загальні витрати на сировину представлені у табл. 7.8.

Таблиця 7.8 – Розрахунок загальних витрат на сировину

Вид продукції	Обсяг виробництва, т	Витрати на сировину на 1 т	Загальні витрати на сировину
Паливні гранули			
Рецепт №1	9120	483,0	4404,96
Рецепт №2	9120	514,0	4687,68
Паливні брикети			
Рецепт №3	480	415,0	199,2
Рецепт №4	480	435,0	208,8
Всього			9500,64

Додаткові витрати на паливо й енергію

Витрати на енергію у зв'язку із зміною обладнання в результаті будувannya заводу можна розрахувати за формулою:

$$E = N \times P_{\text{річ}} \times \Gamma_{\text{доб}} \times K_c \times \frac{m}{1000} \quad (7.4)$$

де N – сумарна потужність електродвигунів обладнання;

$P_{\text{річ}}$ – річний період роботи заводу в днях;

$\Gamma_{\text{доб}}$ – середня тривалість роботи заводу за добу;

K_c – коефіцієнт використання потужності електродвигунів;

m – тариф за 1 кВт×год електроенергії (за звітними даними заводу).

$$E = 258 \times 320 \times 12 \times 1 \times 3,05/1000 \times 1 = 3021,7 \text{ (тис. грн)}$$

Загальні матеріальні витрати:

$$MB = B_{\text{сир}} + B_{\text{пе}}$$

$$MB = 9500,64 + 3021,7 = 12522,34 \text{ (тис. грн)}$$

Витрати на оплату праці

По проєкту для роботи підприємства необхідно 1 виробнича зміна (табл. 7.9).

Таблиця 7.9 – Розрахунок витрат на оплату праці на 1 зміну

Склад виробничої зміни	Кількість	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн	Фонд робочого часу, год/рік	Фонд оплати праці, грн/рік
1	2	3	4	5	6
Начальник зміни	1	6	65,0	1800	117000
Оператор	1	5	58,5	1800	105300
Апаратник обладнання	1	4	50,2	1800	90360

Продовження табл. 7.9

1	2	3	4	5	6
Водій електрокара	1	4	50,2	1800	90360
Технолог	1	5	60,4	1800	108720
Всього основна заробітна плата	5				511740
Додаткова заробітна плата (20 %)					102348
Всього основна і додаткова заробітна плата,					614088

Витрати на оплату праці на одну зміну – 614088 грн

Кількість змін – 1

Загальні витрати на оплату праці виробничого персоналу – 614088 грн

Чисельність виробничого персоналу: $8 \times 1 = 8$ осіб.

Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи необхідно визначити, використовуючи встановлені ставки відрахувань (22 %):

$$B_{C3} = 614,088 \times 0,22 = 135,1 \text{ (тис. грн)}$$

Витрати з амортизації основних фондів, нематеріальних активів та інших позаоборотних активів

Амортизаційні відрахування будівель, споруд ($\Delta A_{\text{буд}}$) та обладнання ($\Delta A_{\text{обл}}$) можна розрахувати за формулою:

$$\Delta A_{\text{буд(обл)}} = (PB_{\text{буд(обл)}} - BB_{\text{буд(обл)}}) * H_a / 100, \quad (7.5)$$

де $PB_{\text{буд}}$ та $PB_{\text{обл}}$ – первісна вартість встановлених будівель, споруд та впроваджуваного обладнання;

$BB_{\text{буд}}$ та $BB_{\text{обл}}$ – балансова (залишкова) вартість демонтованих будівель, споруд та обладнання тощо;

H_a – норма річних амортизаційних відрахувань для основних фондів групи 1, до складу якої входять будівлі та споруди ($H_a = 5 \%$); для технологічного обладнання ($H_a = 20 \%$).

$$A_{\text{обл.}} = 7484,1 / 1,2 \times 0,2 = 1247,35 \text{ (тис. грн)}$$

$$A_{\text{буд.}} = 5562 / 1,2 \times 0,05 = 231,75 \text{ (тис. грн)}$$

$$A_{\text{заг.}} = 1247,35 + 231,75 = 1479,1 \text{ (тис. грн)}$$

Відрахування на ремонт будівель, споруд ($PM_{\text{буд}}$) та обладнання ($PM_{\text{обл}}$) необхідно визначити у розмірі 30 % від амортизаційних відрахувань будівель, споруд та обладнання відповідно:

$$\Delta PM_{\text{буд(обл)}} = 0,3 \times \Delta A_{\text{буд(обл)}},$$

$$PM_{обл.} = 1247,35 \times 0,3 = 374,21 \text{ (тис. грн)}$$

$$PM_{бюд} = 231,75 \times 0,3 = 69,53 \text{ (тис. грн)}$$

$$PM_{заг} = 374,21 + 69,53 = 443,74 \text{ (тис. грн)}$$

Загальні витрати за статтею «Амортизація» складають:

$$1479,1 + 443,74 = 1922,84 \text{ (тис. грн)}$$

Додаткові інші витрати

Інші витрати можна прийняти на рівні 1 % від матеріальних витрат підприємства

$$В_{інші} = 12522 \times 0,01 = 125,22 \text{ (тис. грн)}$$

Усі статті собівартості продукції цеху показано в табл. 7.10.

Таблиця 7.10 – Розрахунок виробничих витрат підприємства

Елементи економічних витрат	Сума витрат, тис. грн	
	Всього, тис. грн	на 1 т, грн
1. Матеріальні витрати	12522,34	652,21
в тому числі: сировина та матеріали	9500,64	494,83
паливо та енергія	3021,7	157,38
2. Витрати на оплату праці	614,088	31,98
3. Відрахування на соціальні заходи	135,1	7,04
4. Амортизація основних фондів	1922,84	100,15
5. Інші витрати	125,22	6,52
Всього витрат (собівартість виробленої продукції)	27841,93	1450,1

Загальна величина виробничих витрат (окрім витрат на сировину) складає 18341,29 тис. грн. Розрахуємо повну собівартість окремих видів продукції (табл. 7.11).

Таблиця 7.11 – Розрахунок собівартості окремих видів продукції

Вид продукції	Обсяг виробництва, т	Витрати на сировину на 1 т, грн	Загальні витрати на сировину, тис. грн	Інші витрати всього на виробництво, тис. грн	Інші витрати на виробництво 1 т, грн	Собівартість 1 т, грн
Паливні гранули						
Рецепт №1	9120	483,0	4404,96	8712,11	960	1443
Рецепт №2	9120	514,0	4687,68	8714,11	960	1474
Паливні брикети						
Рецепт №3	480	415,0	199,2	458,53	960	1375
Рецепт №4	480	435,0	208,8	458,53	960	1395
Всього	19200		9500,64	18341,29		

7.4 Розрахунок річного обсягу реалізованої продукції та прибутку від реалізації продукції

Розрахунок річного обсягу виробництва та суми прибутку проведемо в табл. 7.12. Рівень рентабельності по кожному виду продукції приймаємо в межах 30 %, щоб забезпечити конкурентоспроможну ціну на даний вид продукції та такий розмір прибутку, який дозволить підприємству окупити інвестовані кошти.

Таблиця 7.12 – Розрахунок річного обсягу реалізованої продукції та прибутку від реалізації продукції

Вид продукції	Обсяг виробництва, т	Собівартість 1 т, грн	Рентабельність, %	Ціна 1 т, грн	Собівартість виробництва продукції, тис грн	Обсяг виробництва, тис.грн	Прибуток, тис. грн
Паливні гранули							
Рецепт №1	9120	1443	35	1948,1	13160,2	17766,7	4606,5
Рецепт №2	9120	1474	35	1989,9	13442,9	18147,9	4705,0
Паливні брикети							
Рецепт №3	480	1375	35	1856,3	660	891,0	231
Рецепт №4	480	1395	35	1884,6	670,1	904,6	234,5
Всього	19200				27933,2	37710,2	9777,0

Таким чином, річний обсяг виробленої та реалізованої продукції становитиме 37710,2 тис. грн, а прибуток – 9777,0 тис. грн на рік.

7.5 Оцінка економічної ефективності інвестицій

Вихідними даними для оцінки економічної ефективності інвестицій у будівництво є показники, що містяться в табл. 7.13. Прибуток від реалізації продукції розраховують як різницю між виручкою від реалізації продукції та повною її собівартістю.

Таблиця 7.13 – Вихідні дані для оцінки економічної ефективності інвестицій

Показники	Значення
1. Річний обсяг реалізованої продукції, тис. грн	37710,2
2. Повна собівартість річного обсягу реалізованої продукції, тис. грн	27933,2
3. Прибуток від реалізації продукції, тис. грн	9777,0
4. Чистий прибуток підприємства, тис. грн	8017,14
5. Амортизація основних фондів, нематеріальних активів та інших позаоборотних активів, тис. грн	1922,84
6. Сума інвестицій у будівництво, тис. грн	17846,1

Оцінку економічної ефективності інвестицій в будівництво цеху здійснюють за допомогою показника строку окупності інвестицій (T).

Чистий прибуток розрахуємо за формулою:

$$\text{ЧП} = \text{П} \times 0,82 \quad (7.7)$$

Враховуємо 18 % податок на прибуток.

$$\text{ЧП} = 9777 \times 0,82 = 8017,14 \text{ (тис. грн)}$$

Термін окупності розрахуємо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = I : \text{ЧП} \quad (7.8)$$

$$T_{\text{ок}} = 17846,1 : 8017,14 = 2,23 \text{ (року)}$$

Висновок: результати розрахунків свідчать, що на будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на зернопереробних, олієпресових та круп'яних заводах необхідні інвестиції у розмірі 17846,1 тис. грн, які будуть окуплені на протязі 2,23 роки.

Висновки

При виконанні кваліфікаційної роботи на тему «Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива» було зроблено наступні висновки:

- розвиток біоенергетики є ключовою складовою енергетичної безпеки для різних країн Європи та світу, і зокрема України. Цей напрям дозволяє зменшити залежність від природних викопних видів палива, скоротити імпорт енергоносіїв і забезпечити стабільне енергопостачання;

- виготовлення та використання твердого біопалива сприяє вирішенню проблем утилізації та переробки різноманітних відходів, забезпечує отримання екологічного біопалива. Зола можна використовувати як складову калійного добрива;

- виробництво сучасного біопалива з додаванням інших видів альтернативної біомаси дасть змогу зменшити навантаження на лісову галузь, скоротити використання викопного палива, покращити екологічний стан та заощадити кошти під час експлуатації;

- розроблено спосіб виробництва твердого біопалива з використанням побічних відходів агросировини, відходів деревообробки та вугільного пилу шляхом формування композиційних сумішей;

- визначено фізико-хімічні та теплофізичні показники якості сировини для виробництва твердого біопалива; переважно усі види сировини мають великий кут природного укосу, невелику об'ємну масу та низьку сипкість; за вмістом золи, хлору та сірки відповідають вимогам стандартів;

- визначено фізико-хімічні та теплофізичні показники якості паливних гранул отриманих експериментальним шляхом; проведено дослідження композиційних сумішей рослинної біомаси (відходів сільського господарства з низькою температурою плавлення золи) з вугільним пилом (з високою температурою плавлення золи);

- визначено економічну ефективність будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на зернопереробних, олієпресових та круп'яних заводах. Необхідні інвестиції у розмірі 17846,1 тис. грн, які будуть окуплені на протязі 2,23 роки.

Список література

1. Особливості формування вартості біопалива. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/5_2022/87.pdf (дата звернення: 17.09.2023).
2. Biofuels Market Size, Share & Growth Analysis Report, 2030. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biofuels-market> (дата звернення: 17.09.2023).
3. Global Biofuels Market to 2030: Favorable Regulatory Policies and Tax Incentives Drives Growth. URL: <https://finance.yahoo.com/news/global-biofuels-market-2030-favorable-104300490.html> (дата звернення: 18.09.2023).
4. Leading countries based on biofuel production worldwide in 2022. URL: <https://www.statista.com/statistics/274168/biofuel-production-in-leading-countries-in-oil-equivalent/> (дата звернення: 17.09.2023).
5. Biofuels Market to Reach \$390.62 Billion, Globally, by 2030 at 9% CAGR - Exclusive Report by Coherent Market Insights. URL: <https://finance.yahoo.com/news/biofuels-market-reach-390-62-092500865.html> (дата звернення: 21.09.2023).
6. Світові тенденції на ринку пелет. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/11037/> (дата звернення: 25.09.2023).
7. Ринок біопалива в Європі 2023. URL: <https://tehnomashstroy.com.ua/ua/a482949-rinok-biopaliva-yevropi.html> (дата звернення: 25.09.2023).
8. Список найбільших гравців пелетного ринку світу. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/3968/> (дата звернення: 28.09.2023).
9. Що стримує розвиток ринку твердого біопалива в Україні. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/12/5/694580/> (дата звернення: 28.09.2023).
10. Екологічні та економічні аспекти виробництва біопалива. URL: http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/168_0.pdf (дата звернення: 3.10.2023).
11. Вивчення використання лісової біомаси в північних областях України. URL: https://www.ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Study_of_Use_Forest_Biomass_in_Northern_Oblasts_of_Ukraine_PPV_2018_UA.pdf (дата звернення: 3.10.2020).

12. SAF Україна: Аналіз публічних закупівель паливних гранул і брикетів. URL: <https://uabio.org/materials/14601/> (дата звернення: 3.10.2023).
13. ТОП-6 виробників пелет в Україні. URL: <https://agro-business.com.ua/agrobusiness/item/16443-top6-vyrobnykiv-pelet-v-ukraini.html> (дата звернення: 5.10.2023).
14. «Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси (визначення точок зростання)» підготовлено на замовлення проекту Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні». Розробник: ТОВ «Науково-технічний центр «Біомаса». Георгій Гелетука, Володимир Крамар, Олексій Епик, Тарас Антошук, Василь Тітков. Київ, 2016 р.
15. Пелетний ринок – Асоціація деревообробних підприємств України. URL: <https://awe.org.ua/general/peletnyj-rynok/> (дата звернення: 23.09.2020).
16. Як війна вплинула на українських виробників. Приклад деревообробної галузі. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/12/695865/> (дата звернення: 17.09.2023).
17. Бум на біопаливо. В Україні продовжують рости ціни на пелети та дрова, а за котлами люди місяцями стоять в чергах. URL: <https://delo.ua/energetics/bum-na-biopalive-v-ukrayini-prodovzuyut-rosti-cini-na-peleti-ta-drova-a-za-kotlami-lyudi-misyacyami-stoyat-v-cergax-405259/> (дата звернення: 29.09.2023).
18. Функціонування деревообробної галузі в умовах воєнного стану. URL: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/funktsionuvannya-derevoobrobnoi-galuzi-v-umovah-voennogo-stanu/> (дата звернення: 29.09.2023).
19. EU-28: Biofuels Annual. URL: <https://www.fas.usda.gov/data/eu-28-biofuels-annual> (дата звернення: 15.10.2023).
20. IEA Bioenergy Conference. 2018. URL: <https://www.ieabio-energy.com/publications/iea-bioenergy-conference-2018> (дата звернення: 15.10.2023).
21. Розвиток під пресом енергетичних реалій: аналіз ринку пелет в Україні. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/razvitie-pod-pressom-energeticheskikh-realij-analiz-rynka-pellet-v-ukraine> (дата звернення: 22.10.2023).

22. Інвестиційний огляд InVenture: ринок пелет в Україні. URL: <https://inventure.com.ua/analytics/investments/investicionnyj-obzor-rynok-pellet-v-ukraine> (дата звернення: 22.10.2023).
23. Шлях до енергонезалежності. URL: <http://oilreview.kiev.ua/2015/08/22/pelletnyj-put-v-energonezavisimost> (дата звернення: 25.10.2023).
24. Перспективи пеллетного производства в Украине. URL: <http://greenenergy.com.ua/novosti/perspektivy-pelletnogo-proizvodstva-v-ukraine-mnenie-e-ksperta> (дата звернення: 25.10.2023).
25. Trade map, Trade statistics for international business development, The International Trade Centre. Available at: <https://www.trademap.org/Index.aspx> (accessed: 29.10.2023).
26. Кройнюченко О.Ф., Гановська Є.А. Сучасний стан і перспективи розвитку українського та європейського ринку пелет. Приазовський економічний вісник. № 1 (18). 2020. С. 38-43.
27. Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: Монографія. /За ред. В.В. Клименка – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. – 162 с.
28. Законодавство України. Закон України “Про альтернативні види палива” № 1391-XIV від 14.01.2000 року. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/> (дата звернення: 15.10.2023).
29. Гелетуха Г.Г. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні [Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Матвеев Ю.Б. та ін.] // Пром. теплотехніка. 2006. № 2. С. 85–93.
30. Гелетуха Г. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник/За ред. Г. Гелетуха. К.: «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.
31. Агробіомаса як найбільша складова енергетичного потенціалу біомаси в Україні, Тетяна Железна старший консультант ГО «Агентство з відновлюваної енергетики». URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2021/03/ZHelyezna_EU4USociety_AgroBM_26-02-2021.pdf (дата звернення: 18.10.2023).

32. Бордун Т.В. Класифікація і характеристика альтернативних відновлюваних видів біологічного палива. Наукові праці ОНАХТ. 2013. Т.1. № 44. С. 71-76.

33. Гелетука Г., Крамар В., Епик О., Антошук Т., Тітков В. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси. Проект UNDP, GEF, 2016. URL: http://uabio.org/img/files/docs/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf (дата звернення: 19.10.2023).

34. Коломийченко М.В. Дорожня карта з розвитку ринку твердого біопалива України. Програма розвитку ООН. Проект UNDP, GEF, 2016. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf (дата звернення: 19.10.2023).

35. Мікульонюк І.О. Стан та перспективи одержання пресованого твердого біопалива. Енерготехнології та ресурсозбереження. 2022. №4. С. 15-34. <https://www.etars-journal.org/index.php/journal/article/download/328/267> (дата звернення: 27.10.2023).

36. Види брикетів та їх паливні характеристики. URL: <https://saf.org.ua/news/842/> (дата звернення: 28.10.2023).

37. Техніко-технологічні особливості використання соломи при прямому спалюванні Голуб Г.А., Дубровін В.О., Кухарець С.М., Шубенко В.О., Драгнев С.В., Поліщук В.М. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/3960/1/PerspAlEn_2014_155-157.pdf (дата звернення: 22.10.2023).

38. Дахновська О.В. Шляхи використання соняшникового лушпиння. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. №11 т. 2 (66). 2012. С. 156-160.

39. Зубко В.М. Аналіз технологій та технічних засобів для використання відходів виробництва соняшнику в якості біопалива // В.М. Зубко, С.П. Соколік. Інженерія природокористування, 2017. №1(7). С. 6-10. <https://www.academia.edu/37646525/> (дата звернення: 21.10.2023).

40. ДСТУ 2629-94. Крупи, побічні продукти і відходи. Терміни та визначення. 45 с. Державний стандарт України. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_2629-94.pdf (дата звернення: 14.10.2023).

41. Марків М.М. Вплив технології виробництва твердого біопалива на побудову управлінського обліку деревообробних підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. Випуск 15. Ч4. 2015. С.145-149.
42. Bharat P. Singh Biofuel Crop Sustainability, First Edition. 2013 John Wiley & Sons, Inc. Published. John Wiley & Sons, Inc. 2013. 459 p.
43. Rosemary K. Newman, C. Walter Newman. Barley for Food and Health: Science, Technology, and Products. John Wiley & Sons, Inc. 2008. 245 p.
44. Тверде біопаливо: технологічні вимоги, властивості компонентів та технологія виробництва. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8366-tverde-biopalivo-tekhnologichni-vymohy-vlastyosti-komponentiv-ta-tekhnologiia-vyrobnytstva.html> (дата звернення: 14.10.2023).
45. ДСТУ Лушпиння соняшникове пресоване гранульоване. Технічні умови. URL: <http://shop.uas.org.ua/ua/katalog-normativnih-dokumentiv> (дата звернення: 15.09.2023).
46. Державна законодавча база НАОП. URL: <https://dnaop.com/> (дата звернення: 15.09.2023).
47. Європейські стандарти на якість пелет. URL: <https://bio.ukr.bio.ua/articles/9243/> (дата звернення: 11.10.2023).
48. Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС. Посібник / Коломійчинко М., Апальков С., Ігнатенко Т. Київ: ОКА, 2017. 235 с.
49. Хаустова В.Є., Гришова І.Ю., Костенко Д.М., Бутенко Т.В. Державна політика у сфері впровадження біоенергетичних технологій в контексті її нормативно-правового забезпечення. Економіка АПК, 2021. №11. С. 70-82.
50. Електронна торгівля біопаливом: можливості для України. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2018/04/24/636278/> (дата звернення: 24.10.2023).
51. ДСТУ 7123:2009 Лушпиння соняшнику. Технічні умови. Держспоживстандарт України, 2011, 15 с. URL: <http://shop.uas.org.ua/ua/lushpinnja-sonjashniku-tehnichni-umovi.html> (дата звернення: 18.09.2023).
52. ДСТУ 3472:2015 «Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація» Держспоживстандарт України, 2015, 8 с. URL: <http://shop.uas.org.ua/ua/katalog->

[normativnih-dokumentiv/73-hirnytstvo-ta-korysni-kopalyny/vugillja-bure-kam-jane-ta-antracit-klasifikacija-1685.html](http://shop.uas.org.ua/ua/katalog-normativnih-dokumentiv/73-hirnytstvo-ta-korysni-kopalyny/vugillja-bure-kam-jane-ta-antracit-klasifikacija-1685.html) (дата звернення: 19.10.2023).

53. ДСТУ 2034-92 Відходи деревинні. Загальні технічні умови. Держспоживстандарт України, 1992, 19 с. URL: <http://shop.uas.org.ua/ua/katalog-normativnih-dokumentiv/13-zakhyst-dovkillya-ta-zdorovya-bezpeka/13-030-vidkhody/vidhodi-derevinni-zagal-ni-tehnicni-umovi.html> (дата звернення: 19.10.2023).

54. Контроль якості та безпека продукції в галузі (комбікормова галузь): Підручник/ [під. заг. ред. проф. Б.В. Єгоров] Б.В. Єгоров, А.О. Кочетова, Т.О. Величко, Н.В. Хоренжий, В.В. Суло, В.А. Ісламов, Т.М. Турпунова. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 446 с.

55. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Технологія біопалива» для студентів напряму підготовки 181 «Харчові технології» денної і заочної форм навчання / Укладачі: Т.В. Бордун, О.Є. Воецька, І.С. Чернега, О.Г. Цюндик / За ред. В.П. Федоряки. Одеса: ОНАХТ, 2019. 53 с.

56. Єгоров Б.В. Технологія виробництва комбікормів. Одеса: Друкарський дім, 2011. 448 с.

57. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу «Проектування підприємств галузі з КП» та кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти спеціальності 181 «Харчові технології» («Технології зберігання і переробки зерна»), СВО «Бакалавр» денної і заочної форм навчання у 3-х частинах / Б.В. Єгоров, А.В. Макаринська, Т.В. Бордун, О.Г. Цюндик, В.Ю. Луніна; за ред. А.В. Макаринської; Каф. технології зерна і комбікормів. – Одеса: ОНТУ, 2022 р. – 155 с.

58. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів: Афіша, 2004. 240 с.

59. Методичні вказівки до виконання і оформлення дипломної роботи – економічної частини міжкафедрального комплексного дипломного проекту студентів напряму підготовки 076 «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність» за освітньою програмою «Економіка підприємства» денної та заочної форми навчання / Укл. Н.Й. Басюркіна, Т.В. Свистун. Одеса: ОНАХТ, 2016. 38 с



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

Здобувач: Кондрашов Г.О.

Керівник: к.т.н., доц. Бордун Т.В.



Одеса, кафедра ТЗіК

18 грудня ОНТУ

					КРМ.ТЗіК.1.958-03.1.6				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Кондрашов Г.О.			Науково-практичні основи виробництва твердого біопалива	Літ.	Арк	Аркуші	
Консультант									
Перевірів		Бордун Т.В.					132	14	
Зав.каф.		Макаринська А.В.				ОНТУ 2023			
Затверд.									



Однією з важливих особливостей розвитку сучасного світового співтовариства є:

- ❖ підвищена увага світу до проблем раціональності та ефективного використання енергоресурсів,
- ❖ впровадження технологій енергозбереження,
- ❖ пошук відновлювальних джерел енергії.



ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

- ❖ гідро енергію,
- ❖ сонячну енергію,
- ❖ вітрову енергію,
- ❖ геотермальну енергію,
- ❖ гідравлічну енергії,
- ❖ енергію морських течій, хвиль, припливів,
- ❖ енергію температурного градієнта морської води,
- ❖ різниці температури між повітряною масою та океаном,
- ❖ енергію тепла Землі,
- ❖ **біомасу рослинного, тваринного і побутового походження.**

«ХОРОША» БІОЕНЕРГЕТИКА

- урізноманітнює джерела енергії
- зменшує викиди парникових газів
- покращує економіку, сприяє розвитку торгівлі



«КРАЩА» БІОЕНЕРГЕТИКА

- збільшує кількість сталої енергії
- протидіє зміні клімату

Джерело: IFA Bioenergy, IEA RETD «Better Use of Biomass for Energy»



Основні види рослинної біомаси



Відходи та побічні продукти агробіомаси



Відходи та побічні продукти переробки с/г сировини в товарні продукти



Відходи та побічні продукти переробки деревини



с/г культури та енергетична деревина, що вирощують спеціально на біомасу

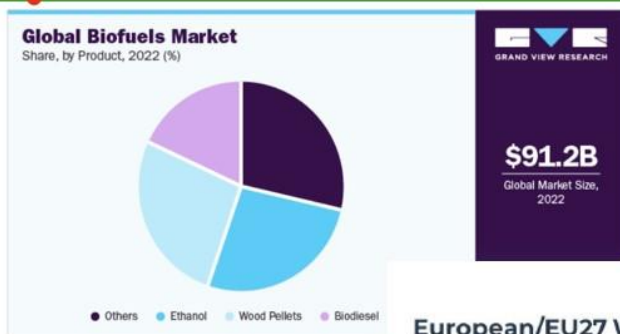
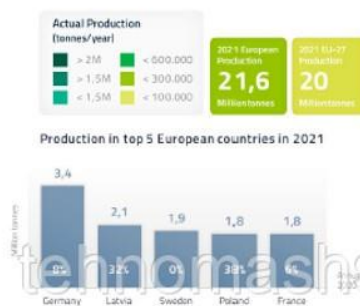


Рис. 1 – Обсяг світового ринку біопалива у 2022 році

Рис. 2 – Виробництво твердого біопалива у Європі, 2021-2022 рр.

European/EU27 Wood Pellet Production

(in 2021, tonnes, %) Source: EPC Survey 2022



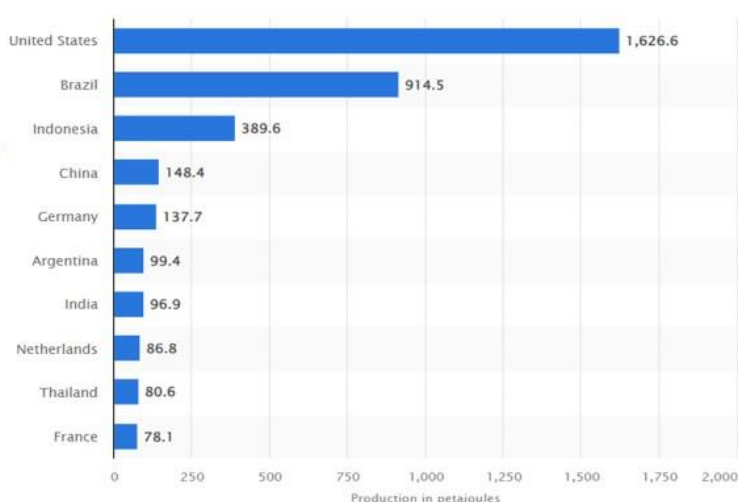


Рис. 3 – Країни-лідери з виробництвом біопалива у світі, 2022 р.

Рис. 4 – Динаміка світового споживання твердого біопалива в 2010-2022 рр. і прогноз на 2024-2025 рр., млн. т

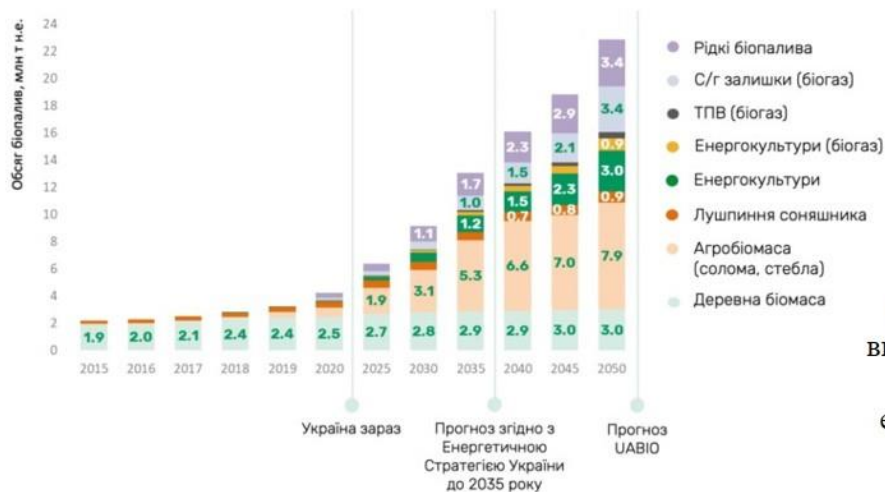
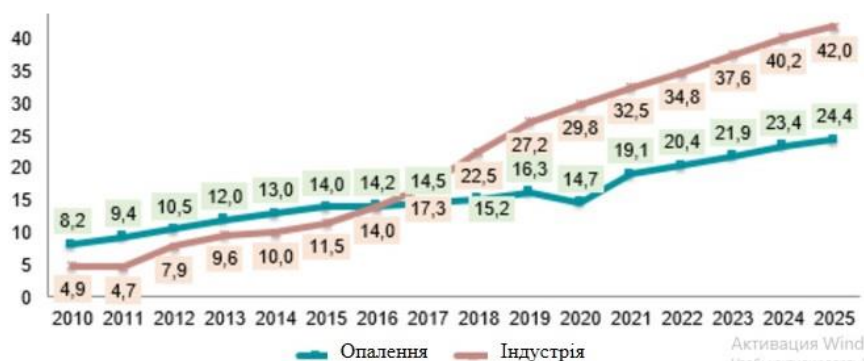


Рис. 5 – Потенціал використання твердого біопалива для енергетичних потреб

Таблиця 1 – Структура ринку твердого біопалива України за видами продукції 2012–2018 рр., тис. т

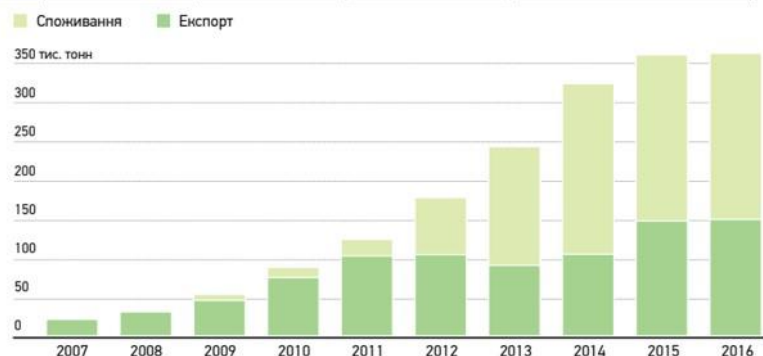
Види пелети	Роки						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Пелета з деревних відходів	74,8	332,8	338,1	359,1	376,9	381,6	386,3
Пелета із соломи	12,4	10,8	27,6	33,2	34,9	35,3	35,7
Пелета з лушпиння соняшника	492,9	326,7	289,8	242,7	254,7	257,9	261,1
Пелета з торфу	43,6	55,5	34,5	29,9	31,4	31,8	32,1
Всього	624,0	726,0	690,0	665,0	698	706,7	715,4



Таблиця 2 – Динаміка виробництва пелет країнами – членами ЄС за 2014–2018 рр. роки

Країна	Виробництво, тис. т					Темпи приросту, 2016–2018 роки, %
	2014 рік	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	
Австрія	940	893	962	948	1 000	5,49
Німеччина	1 875,99	2 246,08	2 207,52	2 078,03	1 998,19	-3,84
Іспанія	240	250	350	350	350	0
Італія	750	690	400	450	450	0
Латвія	722	1 048	1 093	1 280	1 599,84	24,99
Польща	600	600	600	700	750	7,14
Португалія	650	690	812	1 034	1 034	0
Франція	550	682	890	1 050	1 000	-4,76
Швеція	876	1 663	1 512	1 577	1 660	5,26

Рис. 6 – Динаміка виробництва, споживання та експорту твердого біопалива в Україні, 2007-2016 рр.



Таблиця 3 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні, 2019 р.

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Економічний потенціал, доступний для енергетики	
		% теор. потенціалу	млн. т у.п.
Солома зернових культур	37,5	30	3,84
Солома ріпаку	5,9	40	0,81
Побічні продукти виробництва кукурудзи (стебла, стрижні)	46,6	40	3,57
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, кошики)	29,0	40	1,66
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшника, лузга круп. культур)	2,6	100	1,08
Деревна біомаса	7,4	95	1,73
Енергетичні культури: верба, тополя, міскантус	11,5	100	4,88

Таблиця 4 – Прогноз енергетичного потенціалу біомаси в Україні до 2050 р.

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Економічний потенціал, доступний для енергетики	
		% теор. потенціалу	млн. т у.п.
Солома зернових культур	49,2	30	5,04
Солома ріпаку	4,9	40	0,68
Побічні продукти виробництва кукурудзи (стебла, стрижні)	58,1	40	4,45
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, кошики)	26,9	40	1,54
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшника, лузга круп. культур)	2,4	100	1,00
Деревна біомаса	12,3	95	2,88
Енергетичні культури: верба, тополя, міскантус	34,5	100	14,65

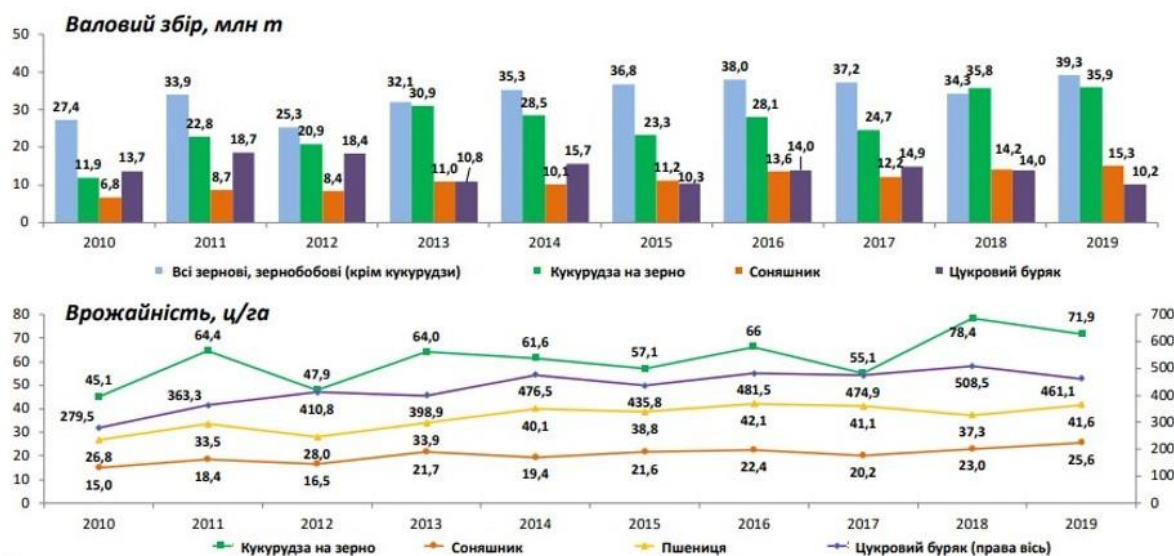


Рис. 7 – Динаміка виробництва основних с/г культур в Україні, 2010-2019 рр.

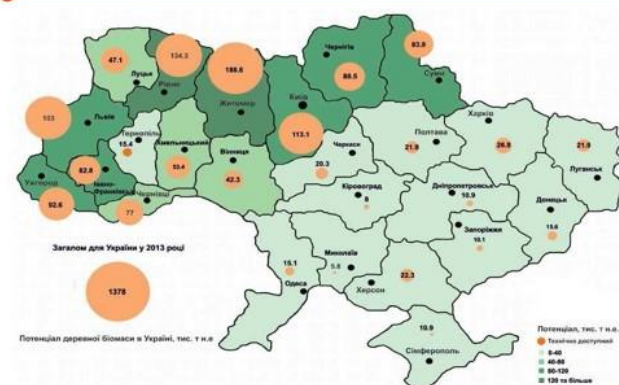
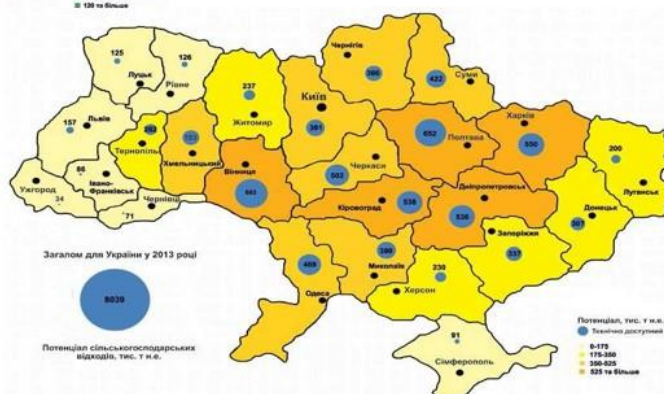


Рис. 8 – Потенціал деревної біомаси в Україні

Рис. 9 – Потенціал агробіомаси в Україні





Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності використання побічних продуктів переробки сільськогосподарської сировини шляхом удосконалення технології виробництва твердого біопалива у вигляді паливних гранул і паливних брикетів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- ✓ провести аналіз світового ринку біопалива та українського ринку твердого біопалива;
- ✓ вивчити енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні;
- ✓ навести класифікацію і характеристику твердого біопалива та вимоги до його якості;
- ✓ навести характеристику сировини для виробництва твердого біопалива;
- ✓ розробити спосіб виробництва твердого біопалива;
- ✓ визначити фізико-хімічні та теплофізичні показники якості сировини для виробництва твердого біопалива;
- ✓ визначити фізико-хімічні та теплофізичні показники якості паливних гранул отриманих експериментальним шляхом;
- ✓ визначити економічну ефективність запроваджених нововведень.



Рис. 10 – Програма проведення дослідження



Таблиця 5 – Фізичні властивості досліджуваної сировини

№ п/п	Дослідні зразки	Вологість, %	Об'ємна маса, кг/м ³	Середньо- зважений розмір частинок, мм	Кут приро- дного укоу, град	Сипкість, см/с
1.	Лушпиння соняшника	9,72	120...250	1,50	70	12
2.	Відходи очистки соняшнику	12,42	150...160	1,45	62	18
3.	Лузга гречана	11,81	140...150	1,35	70	16
4.	Лузга вівсяна	11,43	130...140	1,40	65	15
5.	Лузга ячмінна	10,80	180...190	1,30	70	15
6.	Тирса (соснова)	5,75	210...220	1,45	40	10
7.	Вугільний пил	5,70	1284...1350	0,65	60	24



Таблиця 6 – Деякі показники хімічного складу сировини

№ п/п	Дослідні зразки	Вміст золи, %	Вміст хлору, %	Вміст сірки, %
1.	Лушпиння соняшнику	3,35	0,0022	0,1160
2.	Відходи очистки соняшнику	9,17	0,0098	0,1150
3.	Лузга гречана	4,21	0,0035	0,0196
4.	Лузга вівсяна	3,84	0,0078	0,0094
5.	Лузга ячмінна	4,94	0,0078	0,0094
6.	Тирса (соснова)	0,29	0,0005	0,0050
7.	Вугільний пил	12,8	–	0,8600

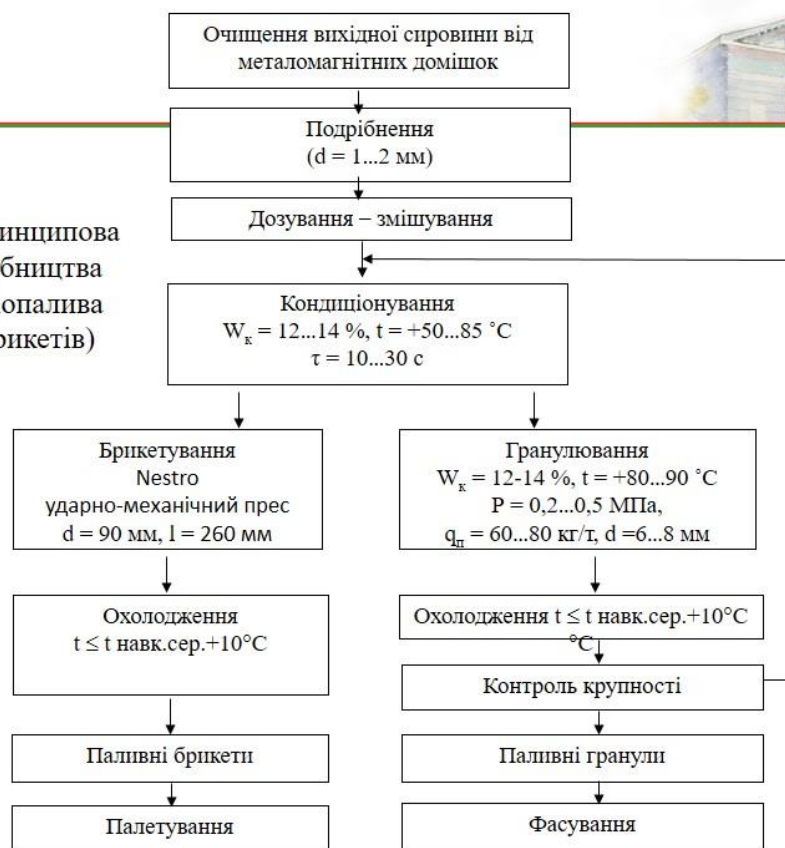


Таблиця 7 – Експериментальні значення коефіцієнтів температуропровідності, тепловіддачі та теплопровідності

№ п/п	Дослідні зразки	$a, \text{м}^2/\text{с}$	$\alpha, \text{Вт}/\text{м}^2 \text{ К}$	$\lambda, \text{Вт}/\text{м К}$
1.	Лушпиння соняшника	$2,7 \cdot 10^{-7}$	20,20	0,453
2.	Відходи очистки соняшнику	$3,20 \cdot 10^{-7}$	10,04	0,049
3.	Лузга гречана	$2,10 \cdot 10^{-7}$	20,80	0,464
4.	Лузга вівсяна	$4,42 \cdot 10^{-7}$	10,95	0,051
5.	Лузга ячмінна	$2,3 \cdot 10^{-7}$	22,30	0,568
6.	Тирса (соснова)	$3,33 \cdot 10^{-7}$	9,86	0,068
7.	Вугільний пил	$7,5 \cdot 10^{-7}$	42,00	0,145



Рис. 11 – Принципова схема виробництва твердого біопалива (гранул, брикетів)





Таблиця 8 – Фізичні властивості паливних гранул одержаних у лабораторних умовах

№ п/п	Дослідні зразки	Довжина, см	Діаметр, см	Об'ємна маса, г/см ³	Крихкість, %
Гранули ($W_{\text{п.сир}} = 12\%$)					
1.	Тирса (соснова)	1,40	1,90	0,68	5,3
2.	Відходи очистки соняшнику	1,54	1,91	0,76	10,7
3.	Лушпиння соняшнику	2,00	1,91	0,62	11,2
4.	Лузга гречана	2,03	1,90	0,58	12,4
5.	Лузга вівсяна	1,84	1,90	0,55	18,3
6.	Лузга ячмінна	1,80	1,90	0,54	17,1
Із додаванням 2 % вугільного пилу ($W_{\text{п.сир}} = 12\%$)					
7.	Тирса (соснова)	1,50	1,90	0,65	4,7
8.	Відходи очистки соняшнику	1,34	1,90	0,81	10,2
9.	Лушпиння соняшнику	1,27	1,90	0,60	10,8
10.	Лузга гречана	1,85	1,90	0,58	12,0
11.	Лузга вівсяна	1,65	1,90	0,60	17,9
12.	Лузга гречана	1,67	1,90	0,62	16,6



Таблиця 9 – Фізичні властивості паливних гранул одержаних у лабораторних умовах

№ п/п	Дослідні зразки	Довжина, см	Діаметр, см	Об'ємна маса, г/см ³	Крихкість, %
50/50					
1.	Тирса (соснова) + відходи очистки соняшника	1,33	1,90	0,71	7,61
2.	Тирса (соснова) + лушпиння соняшника	1,70	1,90	0,61	7,95
3.	Тирса (соснова) + лузга вівсяна	1,28	1,90	0,58	11,78
4.	Тирса (соснова) + лузга гречана	1,42	1,91	0,54	8,43
5.	Відходи очистки соняшника + лушпиння соняшника	1,93	1,90	0,73	10,5
6.	Відходи очистки соняшника + лузга гречана	1,58	1,90	0,62	11,7
7.	Відходи очистки соняшника + лузга ячмінна	1,56	1,92	0,66	14,1
8.	Лушпиння соняшника + лузга гречана	1,35	1,90	0,60	11,2
9.	Лушпиння соняшника + лузга вівсяна	1,46	1,90	0,58	14,5
10.	Лузга гречана + лузга ячмінна	1,34	1,91	0,61	14,9



Таблиця 10 – Хімічні показники якості паливних гранул одержаних у лабораторних умовах

№ п/п	Дослідні зразки	Вміст золи, %	Вміст хлору, %	Вміст сірки, %
1.	Тирса (соснова) + відходи очистки соняшника	1,70	0,0023	0,0530
2.	Тирса (соснова) + лушпиння соняшника	3,94	0,0029	0,0247
3.	Тирса (соснова)+ лузга гречана	2,31	0,0018	0,0139
4.	Тирса (соснова)+ лузга вівсяна	2,11	0,0043	0,0096
5.	Відходи очистки соняшника + лушпиння соняшника	7,21	0,0096	0,1037
6.	Відходи очистки соняшника + лузга гречана	6,71	0,0059	0,0607
7.	Відходи очистки соняшника + лузга ячмінна	6,47	0,0082	0,0412
8.	Лушпиння соняшника + лузга гречана	3,75	0,0052	0,0436
9.	Лушпиння соняшника + лузга вівсяна	3,59	0,0057	0,0327
10.	Лузга гречана + лузга ячмінна	4,04	0,0091	0,0112



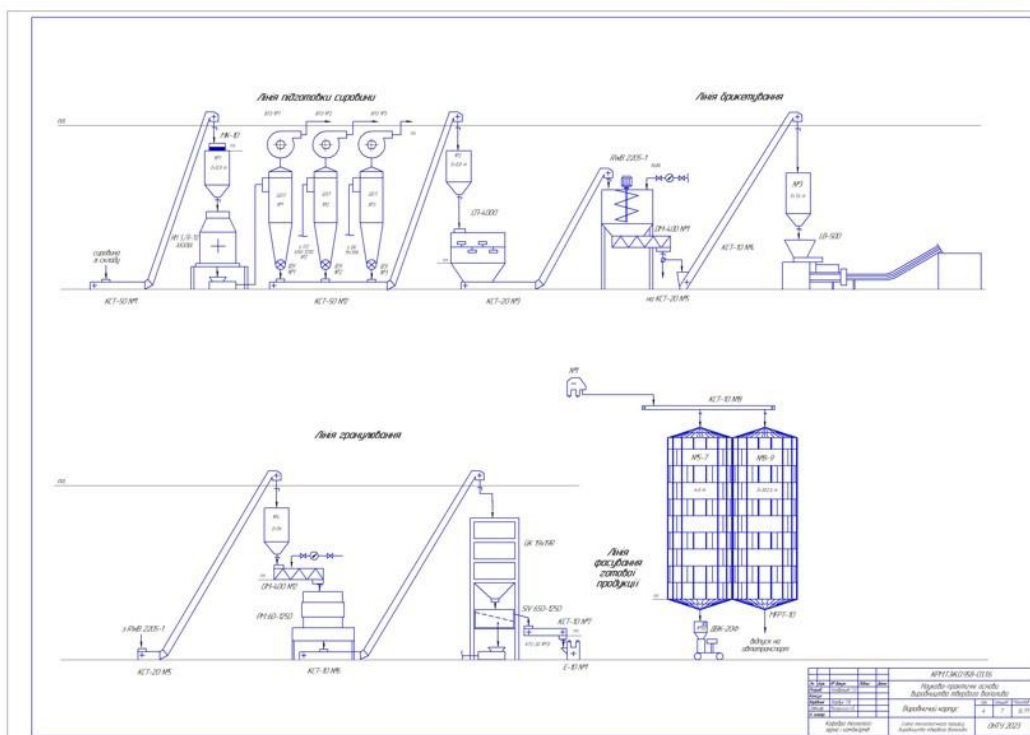
Таблиця 11 – Рецепти композиційних сумішів

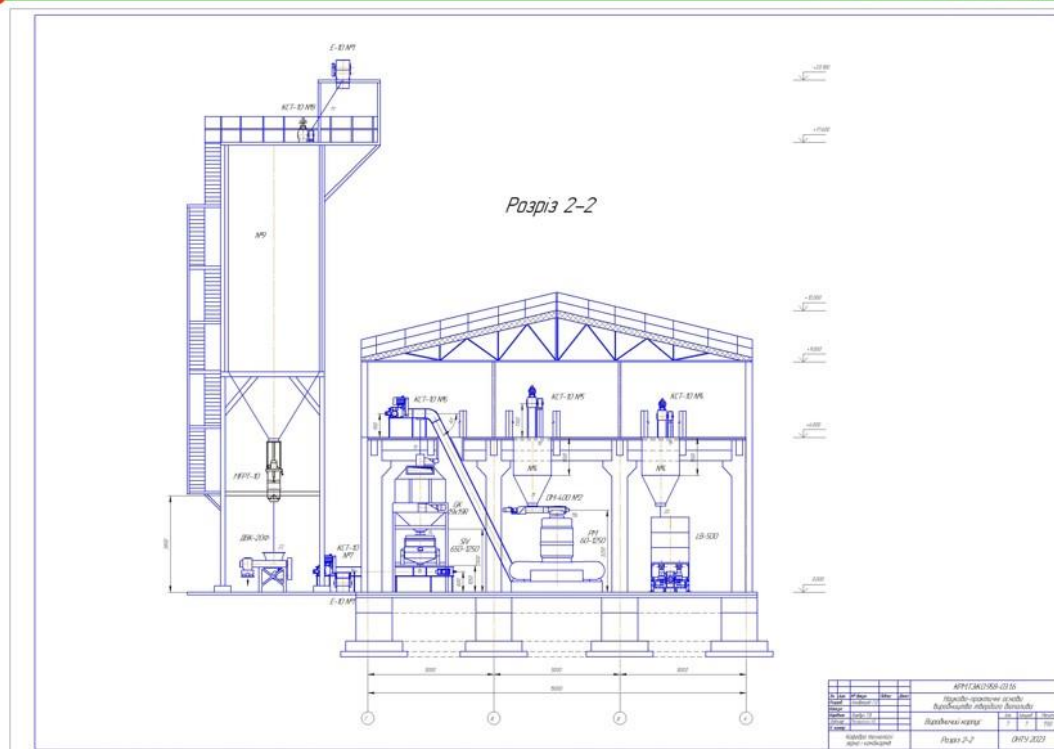
Компоненти	Дослідні зразки	
	№ 1	№ 2
Лушпиння соняшника, %	50	50
Відходи очистки соняшника, %	25	28
Лузга гречана, %	10	–
Лузга ячмінна, %	5	5
Лузга вівсяна, %	8	10
Тирса (соснова), %	–	10
Вугільний пил, %	2	–
Всього	100	100



Таблиця 12 – Показники якості паливних гранул одержаних в лабораторних умовах на основі композиційних сумішей

№ п/п	Найменування показників	Дослідна зразки	
		№ 1	№ 2
1.	Зовнішній вигляд	Гранули циліндричної форми	
2.	Колір	Сірий	
3.	Запах	Характерний набору компонентів без стороннього запаху (плісняви, затхлості, горілого)	
Фізичні властивості			
4.	Довжина, см	1,75	1,87
5.	Діаметр, см	1,90	1,90
6.	Об'ємна маса, г/см ³	0,67	0,71
7.	Крихкість, %	7,50	6,80
Хімічні властивості			
8.	Вміст золи, %	4,95	4,84
9.	Вміст хлору, %	0,005	0,01
10.	Вміст сірки, %	0,11	0,11





Висновки

- ❖ розвиток біоенергетики є ключовою складовою енергетичної безпеки для різних країн Європи та світу, і зокрема України. Цей напрям дозволяє зменшити залежність від природних викопних видів палива, скоротити імпорт енергоносіїв і забезпечити стабільне енергопостачання;
- ❖ виготовлення та використання твердого біопалива сприяє вирішенню проблем утилізації та переробки різноманітних відходів, забезпечує отримання екологічного біопалива. Зола можна використовувати як складову калійного добрива;
- ❖ виробництво сучасного біопалива з додаванням інших видів альтернативної біомаси дасть змогу зменшити навантаження на лісову галузь, скоротити використання викопного палива, покращити екологічний стан та заощадити кошти під час експлуатації;
- ❖ розроблено спосіб виробництва твердого біопалива з використанням побічних відходів агросировини, відходів деревообробки та вугільного пилу шляхом формування композиційних сумішей;
- ❖ визначено фізико-хімічні та теплофізичні показники якості сировини для виробництва твердого біопалива; переважно усі види сировини мають великий кут природного укосу, невелику об'ємну масу та низьку сипкість; за вмістом золи, хлору та сірки відповідають вимогам стандартів;
- ❖ визначено фізико-хімічні та теплофізичні показники якості паливних гранул отриманих експериментальним шляхом; проведено дослідження композиційних сумішей рослинної біомаси (відходів сільського господарства з низькою температурою плавлення золи) з вугільним пилом (з високою температурою плавлення золи);
- ❖ визначено економічну ефективність будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на зернопереробних, олійноекстракційних та круп'яних заводах. Необхідні інвестиції у розмірі 17846,1 тис. грн, які будуть окуплені на протязі 2,23 роки.