

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему

**«БУДІВНИЦТВО ЦЕХУ З ВИРОБНИЦТВА
ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА НА ТОВ «ЗОЛОЧІВ ІНВЕСТ»**

Здобувача	Прутіян С.С.
4 курсу, групи	ЗТЗ – 42 а
Керівник	доц. Бордун Т.В.
Консультанти:	проф. Басюркіна Н.Й., доц. Гончарук Г.А., доц. Штепа Є.П.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 08.06.2026 р., протокол № 9.

Завідувачка кафедри ТЗіК _____ Макаринська А.В.

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	ННІ зернового, переробного і хлібопекарського бізнесу ім. К.А. Богомаза
Кафедра	Технології зерна і комбікормів
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	181 «Харчові технології»
Освітня програма	«Технології зберігання і переробки зерна»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Макаринська

Алла Василівна

« 01 » грудня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Прутіян Світлани Сергіївни

1.Тема роботи Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»

Затверджена наказом університету від 01.12.2025 р. наказ № 679-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 08 червня 2026 р.

3. Вихідні дані роботи
матеріали переддипломної практики

4.Перелік питань, які потрібно розробити
техніко-економічне обґрунтування будівництва цеху з виробництва твердого біопалива, науково-технологічна частина (наведено ресурсний потенціал рослинних відходів для генерації енергії в Україні, оцінку енергетичного потенціалу та перспектив використання соломи зернових культур як твердого біопалива; характеристика сировини і готової продукції, аналіз і обґрунтування схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива з технічними пропозиціями, розрахунок обладнання приймально-відпускних пристроїв, ємності складів для зберігання сировини, готової продукції, розрахунок технологічного, транспортного обладнання, ємності оперативних бункерів, проектування внутрішньоцехової комунікації, технохімічний та технологічний контроль виробництва), розрахунок вентиляційного обладнання, електропостачання та енергозбереження, охорона праці, техніко-економічні показники

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

Схема технологічного процесу (б/м) – 1 аркуш

Плани поверхів (М 1:50) – 2 аркуші

Розрізи (поздовжній, поперечний, М 1:50) – 4 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.		
Розрахунок вентиляційного обладнання	Гончарук Г.А., доц., к.т.н.		
Електропостачання та енергозбереження	Штепа Є.П. доц., к.т.н.		
Охорона праці	Бордун Т.В. доц., д.т.н.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 р.

Керівник _____ Бордун Т.В.
Завдання прийняв до виконання _____ Прутіян С.С.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Техніко-економічне обґрунтування	23.03.2026 – 25.03.2026	
2.	Науково-технологічна частина	26.03.2026– 31.03.2026	
3.	Вибір розташування обладнання, комунікація	01.04.2026 – 21.04.2026	
4.	Технохімічний та технологічний контроль виробництва	01.05.2026 – 04.05.2026	
5.	Вентиляційні установки	05.05.2026 – 14.05.2026	
6.	Електрозабезпечення та енергозбереження	15.05.2026 – 21.05.2026	
7.	Графічне виконання проекту	22.04.2026 – 01.06.2026	
8.	Техніко-економічні показники	22.05.2026 – 01.06.2026	
9.	Затвердження проекту	08.06.2026 – 22.06.2026	
10.	Захист проекту	23.06.2026 – 24.06.2026	

Здобувач – дипломник _____ Прутіян С.С.
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 Прутіян С.С. _____

Анотація

Тема: «Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест». Мета проєкту полягає у техніко-економічному та технологічному обґрунтуванні будівництва сучасного цеху з виробництва твердого гранульованого біопалива (пелет) із соломи на ТОВ «Золочів Інвест» задля диверсифікації діяльності підприємства, впровадження принципів циклічної економіки та можливості заміщення частини природного газу альтернативним паливом.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи включає вступ, шість розділів, список використаних літературних джерел та висновки. У першому розділі проведено техніко-економічне обґрунтування проєкту будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест».

У другому розділі наведено ресурсний потенціал рослинних відходів для генерації енергії в Україні, оцінку енергетичного потенціалу та перспектив використання соломи зернових культур як твердого біопалива, характеристику сировини і готової продукції. У розділі також наведено аналіз і обґрунтування схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива з технічними пропозиціями, розрахунок обладнання приймально-відпускних пристроїв, ємності складів для зберігання сировини і готової продукції, розрахунок технологічного, транспортного обладнання, ємності оперативних бункерів, проєктування внутрішньоцехової комунікації, технохімічний та технологічний контроль виробництва твердого біопалива.

У третьому розділі проведено розрахунок вентиляційного обладнання у цеху з виробництва твердого біопалива. У четвертому розділі розглянуто аспекти електропостачання та енергозабезпечення. У п'ятому розділі наведено заходи з охорони праці. У шостому розділі проведено розрахунок економічної ефективності будівництва цеху з виробництва твердого біопалива.

Кваліфікаційну роботу оформлено у 2 частинах: 1) пояснювальна записка, яка викладена на 142 аркушах друкованого тексту, містить 44 таблиці, 9 рисунків, список літератури включає 73 найменування; 2) графічна, представлена на 7 аркушах формату А1: схема технологічного процесу виробництва твердого біопалива – 1 аркуш (б/м), плани поверхів – 2 аркуші (М 1:50), розрізи (поздовжній і поперечний) – 4 аркуші (М 1:50).

В И Т Я Г

з протоколу засідання кафедри технології зерна і комбікормів
протокол № 9 від 08 червня 2026 року

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

СЛУХАЛИ: звіт доц. Бордун Т.В. про перевірку на академічну доброчесність кваліфікаційної роботи здобувача СВО «Бакалавр» Прутіян Світлани Сергіївни, тема: «Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест». На перевірку надавались наступні розділи: техніко-економічне обґрунтування роботи, наукова частина; 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 сервісу для запобігання плагіату Turnitin. За результатами перевірки унікальність тексту кваліфікаційної роботи становить 87 %.

УХВАЛИЛИ: звіт доц. Бордун Т.В. про перевірку на академічну доброчесність кваліфікаційної роботи здобувача СВО «Бакалавр» Прутіян Світлани Сергіївни, тема: «Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест» затвердити та рекомендувати до захисту на засіданні екзаменаційної комісії № 22.

Зав. кафедри ТЗіК,
д.т.н., доц

Алла МАКАРИНСЬКА

Секретар кафедри ТЗіК,
к.т.н., доц.

Тетяна ТУРПУРОВА

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1 Техніко-економічне обґрунтування будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест».....	10
1.1 Аналіз тенденцій розвитку галузі біопалива в Україні.....	10
1.1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку біопаливного комплексу України.....	13
1.1.2 Основні види біопалива та їх потенціал в Україні.....	15
1.1.3 Географічний розподіл виробничих потужностей.....	16
1.2 Сучасний стан та перспективи розвитку ринку паливних гранул і брикетів в Україні.....	19
1.3 Характеристика ТОВ «Золочів Інвест».....	24
1.4 Мета і робоча гіпотеза проєктування, результати, які очікуються.....	26
Розділ 2 Науково-технологічна частина.....	28
2.1 Ресурсний потенціал рослинних відходів для генерації енергії в Україні.....	28
2.2 Оцінка енергетичного потенціалу та перспектив використання соломи зернових культур як твердого біопалива.....	37
2.2.1 Ресурсний потенціал та методологія оцінювання сировинної бази.....	40
2.2.2 Елементний склад сировини та його вплив на енергетичну конверсію.....	41
2.2.3 Екологічна оцінка та логістичне забезпечення використання соломи.....	43
2.3 Характеристика сировини та готової продукції.....	44
2.4 Аналіз і обґрунтування схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива з технічними пропозиціями.....	66
2.5 Розрахунок обладнання приймально-відпускних пристроїв.....	68
2.6 Розрахунок ємності складів для зберігання сировини і готової продукції.....	71

					КРБ.ТЗіК.1.679-03.5.3		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»		
Розроб.		Прутіян С.С.					
Керівник		Бордун Т.В.					
Консульт.							
Зав.каф.		Макаринська А.В.					
Н.контр.					Літ. Арк. Аркуші 5 142 ОНТУ 2026		

2.7 Розрахунок технологічного обладнання.....	76
2.8 Розрахунок ємності оперативних бункерів.....	81
2.9 Розрахунок транспортного обладнання.....	85
2.10 Оформлення відомості руху продуктів за схемою технологічного процесу виробництва твердого біопалива.....	88
2.11 Технохімічний та технологічний контроль виробництва.....	94
Розділ 3 Розрахунок вентиляційного обладнання.....	96
3.1 Мета і задачі вентиляційних установок.....	96
3.2 Особливості проектування аспіраційних установок цеху з виробництва твердого біопалива.....	97
3.3 Основні принципи компонування аспіраційних установок.....	99
3.4 Розрахунок локального фільтра та фільтра-циклона.....	101
3.5 Принцип роботи та режим очистки високоефективних локальних фільтрів ZEO-FG і ZEO-FV.....	102
3.6 Розрахунок аспіраційного обладнання для аспірації просіювальної машини CRYLOC-47-31.....	103
3.7 Аспірація норії EL 2-12.....	105
3.8 Розрахунок конвеєра SC 1-13-2527.....	106
Розділ 4 Електропостачання та енергозбереження.....	109
4.1 Мета та задачі проектування.....	109
4.2 Визначення розрахункової активної потужності підприємств...	109
4.3 Розрахунок повної потужності трансформаторної підстанції з урахуванням компенсації реактивної потужності.....	110
4.4 Перевірка потужності трансформаторів з урахуванням їх перевантажувальної здатності.....	112
4.5 Техніко-економічне порівняння роботи силових трансформаторів.....	114
4.6 Вибір перерізу жил та марки кабелю.....	115
4.7 Річні витрати електроенергії та їх вартість.....	116
Розділ 5 Охорона праці.....	119
Розділ 6 Оцінка економічної ефективності будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест».....	124
6.1 Розрахунок необхідної суми інвестицій.....	124
6.2 Розрахунок виробничої програми.....	127

6.3 Розрахунок собівартості продукції.....	127
6.4 Розрахунок річного обсягу реалізованої продукції та прибутку від реалізації продукції.....	131
6.5 Оцінка економічної ефективності інвестицій.....	132
Висновки та технічні пропозиції.....	134
Список літератури.....	135

Вступ

Біомаса є одним із найважливіших відновлюваних джерел енергії та відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки багатьох країн світу. Для України розвиток біоенергетики має стратегічне значення, оскільки дозволяє зменшити залежність від імпортованих викопних енергоносіїв, підвищити рівень енергетичної незалежності та сприяти виконанню міжнародних кліматичних зобов'язань. Значний аграрний потенціал України, великі площі сільськогосподарських земель та наявність значних обсягів органічних відходів створюють сприятливі умови для розвитку біоенергетичного сектору.

Під біомасою розуміють біологічно відновлювану органічну речовину рослинного або тваринного походження, яка може використовуватись для виробництва теплової та електричної енергії, а також різних видів біопалива. До основних джерел біомаси в Україні належать відходи сільського господарства, деревна біомаса, органічні відходи тваринництва, енергетичні культури та біогаз. Комплексна оцінка потенціалу біомаси включає визначення теоретичного, технічного, економічного та екологічного потенціалу. Теоретичний потенціал відображає загальний обсяг біомаси, що утворюється у країні, тоді як технічний враховує можливість її збору, транспортування та переробки. Економічний потенціал визначає доцільність використання біомаси з урахуванням ринкових умов, а екологічний – вплив на навколишнє середовище та стан ґрунтів. Саме комплексний підхід до оцінки ресурсів дозволяє визначити реальні можливості розвитку біоенергетики.

Найбільшу частку потенціалу біомаси в Україні становлять відходи сільського господарства. Серед них найбільш перспективними є солома зернових культур, стебла кукурудзи, відходи соняшнику та інші рослинні рештки. Україна щороку виробляє значні обсяги сільськогосподарської продукції, що супроводжується утворенням великої кількості органічних відходів. Значна частина цих ресурсів залишається невикористаною або спалюється на полях, що створює додаткове екологічне навантаження. Раціональне використання агробіомаси дозволяє одночасно вирішувати енергетичні та екологічні проблеми.

Розвиток біоенергетики має значний екологічний ефект. Використання біомаси сприяє скороченню викидів парникових газів, зменшенню використання

викопного палива та покращенню екологічної ситуації. Важливим аспектом є також зниження рівня забруднення повітря внаслідок скорочення неконтрольованого спалювання рослинних залишків на полях. Крім того, біоенергетика сприяє розвитку циркулярної економіки, оскільки відходи одного виробництва стають ресурсом для іншого.

Попри значний потенціал, розвиток біоенергетики в Україні стримується низкою проблем. Основними бар'єрами є недостатня державна підтримка, нестабільність законодавства, недостатній рівень інвестицій, складнощі логістики та висока вартість обладнання. Значною проблемою залишається також відсутність розвиненої інфраструктури ринку біомаси. Для ефективного функціонування біоенергетичного сектору необхідне створення системи заготівлі, транспортування та зберігання біомаси.

Стратегічні шляхи впровадження потенціалу біомаси в енергетиці України повинні базуватися на комплексному підході. Одним із ключових напрямів є вдосконалення державної політики у сфері відновлюваної енергетики. Необхідним є створення стабільних механізмів підтримки біоенергетичних проєктів, стимулювання інвестицій та розвиток нормативно-правової бази. Важливе значення має також інтеграція біоенергетики до регіональних програм енергетичної безпеки. Перспективним напрямом є розвиток локальних енергетичних систем на основі біомаси. Використання місцевих ресурсів дозволяє зменшити транспортні витрати, створити нові робочі місця у сільській місцевості та підвищити енергетичну автономність територіальних громад. Особливу роль у цьому процесі можуть відігравати агропромислові підприємства, які мають доступ до значних обсягів органічної сировини.

Таким чином, біомаса є стратегічно важливим ресурсом для розвитку енергетичного сектору України та одним із ключових напрямів переходу до сталої та низьковуглецевої економіки. Комплексна оцінка її потенціалу свідчить про значні можливості заміщення викопних видів палива, насамперед природного газу та вугілля, що особливо актуально в умовах енергетичної нестабільності та необхідності зміцнення енергетичної незалежності держави. Використання біомаси сприяє не лише диверсифікації джерел енергії, але й ефективному використанню сільськогосподарських та органічних відходів, зменшенню екологічного навантаження та скороченню викидів парникових газів.

Розділ 1 Техніко-економічне обґрунтування будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»

1.1 Аналіз тенденцій розвитку галузі біопалива в Україні

Стан паливно-енергетичного комплексу та динаміка його технологічного розвитку чинять детермінуючий вплив на макроекономічні показники та темпи економічного зростання будь-якої суверенної держави. Сукупний попит на енергетичні ресурси формується під дією трьох фундаментальних чинників, серед яких виділяють загальний рівень економічного розвитку суспільства, науково-технічний базис виробничих процесів, а також демографічні тенденції (приріст населення). Домінуючими складовими світового енергетичного балансу тривалий час залишаються традиційні викопні ресурси, зокрема нафта, природний газ та вугілля. Задля диверсифікації джерел постачання та мінімізації імпортозалежності уряди більшості країн світу фокусують державну політику на інтенсифікації освоєння відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та збільшенні питомої ваги біоенергетичних видів палива. Такий вектор розвитку дозволяє не лише скоротити споживання вичерпних некомерційних паливних ресурсів, а й суттєво нівелювати гостроту глобальних кліматичних коливань та знизити рівень антропогенного забруднення біосфери токсичними сполуками [1].

Аналітичні матеріали Міжнародного енергетичного агентства за 2024 рік, відображені на рис. 1.1, свідчать, що у середньостроковій перспективі глобальний енергетичний сектор планує наростити генерацію на основі ВДЕ в обсягах, які перевищують сумарну потужність, введену в експлуатацію з моменту появи першої комерційної електростанції альтернативного типу понад століття тому [1, 2]. Базовий прогноз зазначеного звіту вказує на те, що впродовж періоду 2023–2028 років у дію буде введено близько 3 700 ГВт нових потужностей відновлюваної енергетики. Така стрімка динаміка зумовлена активною державною підтримкою та стимулюючими регуляторними актами у понад 130 країнах світу. Очікується, що вже у 2028 році частка альтернативних джерел забезпечить понад 42 % світової генерації електричної енергії [1, 3].

Сучасна Україна за своїми геоекономічними характеристиками належить

					КРБ.ТЗіК.1.679-03.5.3				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Пругтян С.С.			Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»	Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник		Бордун Т.В.							
Консульт.		Басюркіна Н.Й.				ОНТУ 2026			
Зав.каф.		Макаринська А.В.							
Н.контр.									

до категорії енергодефіцитних держав, оскільки забезпечує внутрішні потреби у паливно-енергетичних ресурсах за рахунок власних природних запасів лише приблизно на 50 % [1, 4]. За таких умов інтеграція в національний енергетичний баланс біологічних видів палива, які є відновлюваними акумуляторами сонячної енергії, виступає одним із найбільш пріоритетних і невідкладних завдань для зміцнення енергетичної безпеки держави [5, 6].

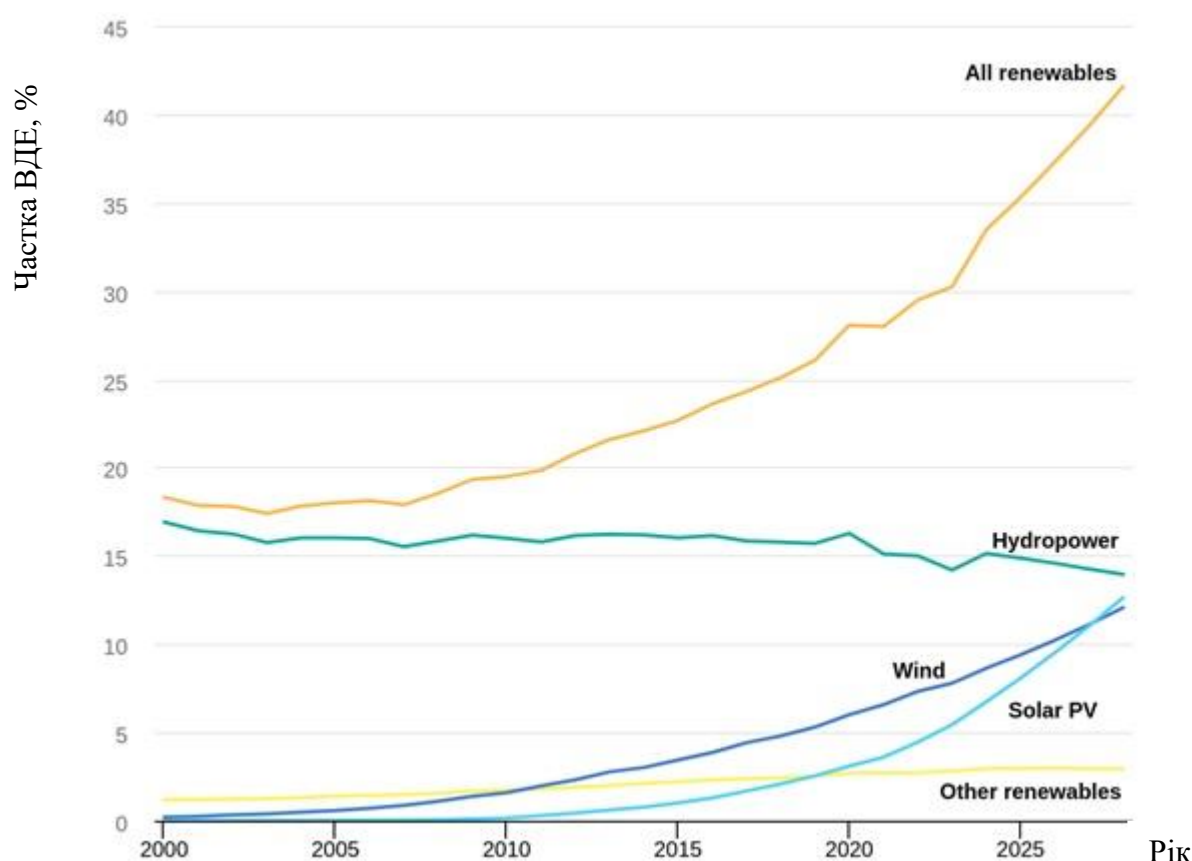


Рис. 1.1 – Структура світового виробництва електроенергії на основі відновлюваних джерел за видами технологій

Вітчизняний аграрно-промисловий комплекс володіє масштабним ресурсним потенціалом для розбудови національного біоенергетичного сегмента та заміщення імпортованого природного газу різними видами рослинної біомаси й твердого екологічного палива. Згідно з попередніми аналітичними розрахунками, теоретичний ліміт щорічної генерації біометану в Україні оцінюється в межах 10 млрд м³, де базовою сировиною виступають побічні продукти та відходи сільськогосподарського виробництва. У стратегічній перспективі до 2050 року держава спроможна забезпечити реальні обсяги

промислового отримання біогазу та біометану на рівні 6 млрд м³ на рік, що не лише покриє внутрішній попит, а й сформує значний експортний потенціал для європейського ринку. У більш наближеному часовому вимірі, до 2030 року, Україна має всі необхідні передумови для диверсифікації паливного балансу та імпортозаміщення до 4 млрд м³ природного газу щорічно шляхом активного впровадження місцевих видів біопалива. Сучасний стан ринку нафтопродуктів детермінує необхідність ініціювання масштабних національних програм, спрямованих на поступову заміну традиційних моторних палив нафтового походження рідкими та газоподібними альтернативами, зокрема біодизелем, біоетанолом, біометаном і синтетичними паливними сумішами [5].

Прогностичні моделі Біоенергетичної асоціації України (UABIO), графічно відображені на рис. 1.2, вказують на те, що за умови сприятливого інвестиційного клімату та послідовної державної підтримки сукупні обсяги споживання різних видів біопалива в країні до 2050 року можуть досягти еквівалента 23 млн т н.е. на рік [7].

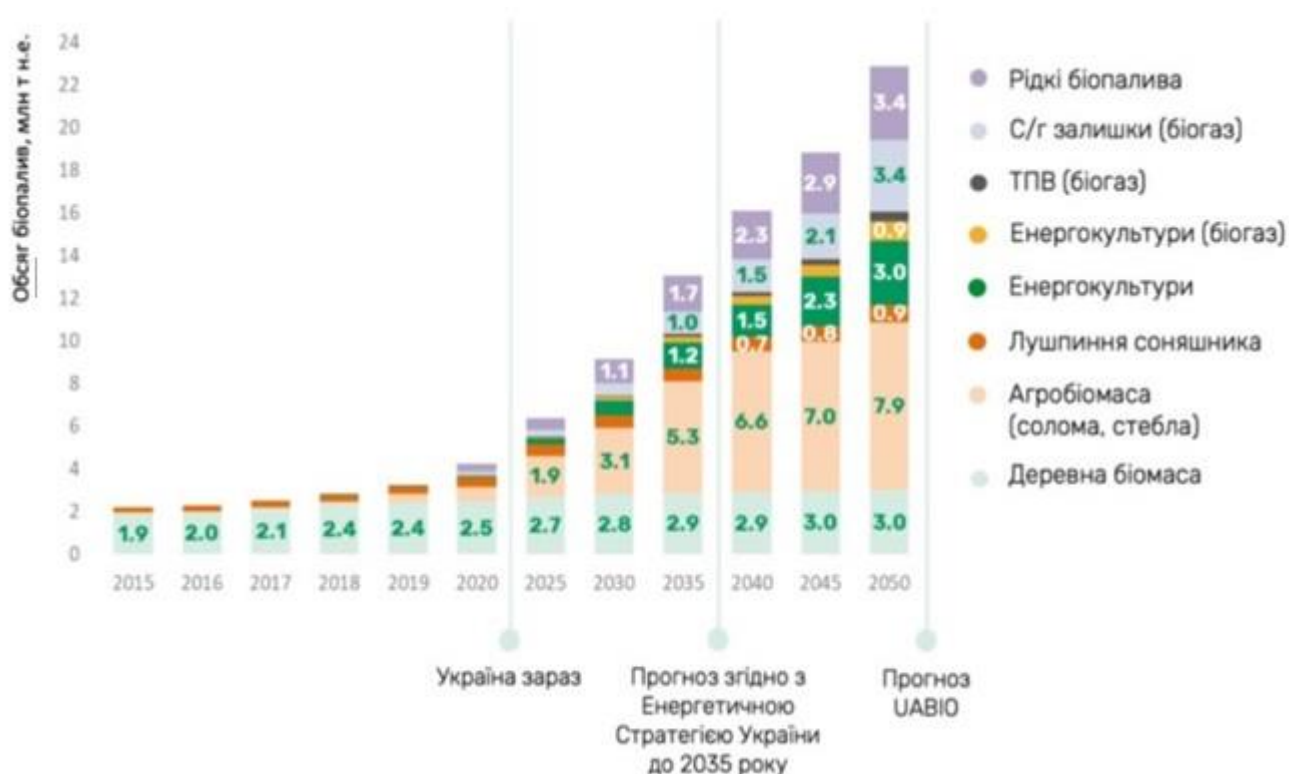


Рис.1.2 – Перспективна структура та цільові орієнтири споживання біопалива в Україні на період до 2050 року

Приблизно 50 % зазначеного обсягу біопаливних ресурсів планується спрямувати на генерацію теплової енергії, що дозволить безпосередньо витіснити з енергобалансу природний газ в еквіваленті 13,7 млрд м³/рік. Решта альтернативного палива акумулюватиметься для заміщення викопного вугілля та атомної генерації в електроенергетичному секторі, а також для диверсифікації паливного забезпечення транспортної галузі шляхом заміни нафтопродуктів.

Упродовж часового інтервалу з 2020 по 2050 роки в Україні прогнозується стабілізація обсягів заготівлі деревної біомаси на сталому рівні, водночас стрімко зростатиме питома вага залучення в енергетичний обіг соломи зернових культур, стеблової маси, лушпиння соняшника та інших побічних продуктів рослинництва. Окрім цього, динамічно збільшуватиметься частка цільових енергетичних насаджень, рідких моторних біопалив та органічної фракції твердих побутових відходів. Такий вектор розвитку базується на аналітичних розрахунках, які засвідчують, що доступний потенціал деревної сировини та лушпиння соняшника в межах держави вже станом на 2020 рік було мобілізовано на понад 90 %.

З огляду на це, одним із стратегічних пріоритетів для паливно-енергетичного комплексу України визначено розширення масштабів вирощування та подальшої конверсії спеціалізованих фітоенергетичних культур і накопичення фітомаси для виробництва різноманітних видів біопалива. Практична реалізація цього підходу сприятиме декарбонізації економіки через обмеження використання вичерпних викопних ресурсів, частково нівелює ризики зовнішньої енергетичної залежності, а також мінімізує екологічні деструкції, пов'язані з емісією парникових газів та токсичних сполук у навколишнє природне середовище [1, 5, 8].

1.1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку біопаливного комплексу України

За сучасними геоекономічними критеріями Україна позиціонується як держава з вираженим дефіцитом первинних паливно-енергетичних ресурсів, оскільки внутрішній видобуток забезпечує лише близько 53 % від загальної національної потреби. Інтенсифікація вилучення традиційних вуглеводнів у межах країни суттєво стримується вичерпністю розвіданих родовищ, а також гострою потребою у залученні багатомільярдних капіталовкладень для розвідки

та освоєння нових глибокозалягаючих пластів. За таких умов стратегічного значення набувають відновлювані джерела енергії, які завдяки здатності до природної регенерації у короткому часовому вимірі формують надійний базис для диверсифікації паливного балансу та гарантування стійкого постачання електричної і теплової енергії [1, 9].

Упродовж останніх років вітчизняний паливно-енергетичний комплекс демонструє стійку динаміку нарощування обсягів генерації біопаливних ресурсів, що є прямим наслідком посилення інтересу до диверсифікації джерел енергопостачання. За аналітичними матеріалами Європейської економічної комісії ООН, сумарне виробництво екологічних видів палива в країні за підсумками 2023 року збільшилося на 15 %, досягши показника у 1,5 млн т н.е. Зазначені макроекономічні індикатори переконливо засвідчують високу ємність українського біопаливного сегмента та його вагоме значення для оптимізації національного енергетичного міксу [1, 10, 11].

У структурі вітчизняного виробництва альтернативних паливних ресурсів домінуюче положення продовжує утримувати біодизель, базовою сировинною базою для якого виступають соняшникова та ріпакова олії. Зокрема, у 2023 році промислове отримання біодизельного палива подолато рубіж у 900 тис. т, акумулювавши близько 60 % від сукупної структури ринку рідких біопалив. Вагомий внесок у загальну сировинну структуру забезпечує також біоетанольна галузь, орієнтована на переробку цукрових буряків та фуражного зерна. Поряд із цим, у поточному періоді фіксується інтенсифікація інвестиційних проєктів у сфері біогазової генерації, яка відіграє все більш помітну роль у процесах комбінованого виробництва електричної та теплової енергії.

Подальше масштабування біопаливного сектору України стимулюється не лише внутрішніми потребами аграрного та транспортного секторів, а й високою кон'юктурою зовнішніх ринків. Держави Європейського Союзу виступають ключовими DESTINATIONAMI для експорту української біоенергетичної сировини, що зумовлено жорсткими європейськими екологічними регламентами щодо декарбонізації економіки, мінімізації парникового ефекту та переходу до моделей сталого розвитку. У ширшому контексті, практичне залучення відновлюваних джерел енергії на основі фітомаси та аграрних відходів покликане не лише гарантувати енергетичну суверенність держави та мінімізувати імпортозалежність, а й суттєво оздоровити екологічну ситуацію. Це

дозволяє сповільнити темпи антропогенної деструкції біосфери, нівелювати наслідки кліматичних коливань та оптимізувати питомі енергетичні втрати в межах національної економіки [9, 10, 12].

1.1.2 Основні види біопалива та їх потенціал в Україні

Розвиток біоенергетичного сектору є стратегічним кроком для зменшення енергозалежності України та виконання екологічних зобов'язань щодо досягнення 14% відновлюваної енергії в транспорті до 2030 року. Виробництво моторного біопалива базується на процесах ферментації, піролізу та переестерифікації, що дозволяє переробляти різноманітну агросировину й органічні відходи на рідкі (біоетанол, біодизель) або газоподібні (біогаз) енергоносії. Попри тривалу історію затвердження державних програм, їхня реалізація досі потребує ефективних механізмів впровадження [13].

Сьогодні глобальний і вітчизняний ринки орієнтовані переважно на перше покоління біопалива. У світовій практиці понад 60 % біоетанолу одержують із кукурудзи, а близько 77 % біодизеля – з рослинних олій (ріпакової, соєвої, пальмової). Україна має колосальний аграрний потенціал для лідерства у цій сфері: експерти оцінюють річні ресурси першого покоління у 860 тис. т.н.е. для біоетанолу та 580 тис. т.н.е. для біодизеля. Крім того, країна володіє величезними запасами целюлозовмісних відходів (як-от пшенична солома та стебла кукурудзи), що відкриває шлях до масштабного виробництва біопалива наступних поколінь. Для комплексного оцінювання технологічних особливостей, сировинної бази та перспектив використання різних видів рослинного біопалива в Україні, їхні ключові характеристики зведено у табл. 1.1 [1, 4, 5, 14].

Таблиця 1.1 – Аналіз та прогнозування ресурсного потенціалу біоенергетичного сектору України

Вид біопалива	Обсяги виробництва, 2021 р.	Потенціал розвитку до 2035 р.	Інвестиційні можливості 2035 р. / 2050 р., млн євро
Біогаз / біометан	125 тис. т н.е. 150 млн м ³	1719 тис. т н.е. 2012 млн м ³	4,0 – 5,4 / 33 – 44
Біоетанол	81,1 тис. т 51,1 тис. т н.е.	555 тис. т 350 тис. т н.е.	0,87 / 3,9
Біодизель	—	322 тис. т 300 тис. т н.е.	0,62 / 2,3
Тверда біомаса	16,2 млн т 4,2 млн т н.е.	37,1 млн т 10,1 млн т н.е.	10,3 / 16,4

Широка номенклатура видів біопаливних ресурсів, представлених на вітчизняному ринку, відображає високу диверсифікацію сировинної бази та спектра технологічних рішень, що залучаються до їхньої промислової генерації. Зазначена особливість дозволяє державі реалізовувати комплексний та системний підхід у сфері освоєння відновлюваних джерел енергії, суттєво знижуючи рівень залежності від традиційних викопних енергоносіїв. При цьому Україна володіє вагомими стратегічними перевагами порівняно з багатьма іншими державами-виробниками альтернативного палива, що зумовлено наявністю колосальних обсягів відновлюваної целюлозовмісної сировини. Основним джерелом такої біомаси виступають побічні продукти рослинництва, зокрема пшенична солома, стебла кукурудзи, ріпакова костра та інша лігноцелюлозна фракція.

Для кількісної оцінки доцільно навести порівняння: зафіксований валовий збір зернових культур в Україні на рівні 65 млн т свідчить про значні масштаби супутньої генерації побічних залишків, оскільки в середньому на 1 т основного зерна пшениці припадає близько 0,5 т соломи. Таким чином, сформований паритетний обсяг доступної соломи у кількості близько 32 млн т відкриває суттєві перспективи для біоенергетичної конверсії. Зважаючи на те, що за сучасних технологічних умов для отримання 1 т кондиційного рідкого чи твердого біопалива другого покоління необхідно залучити приблизно 5,5 т сухої пшеничної соломи, наявний сировинний ресурс здатний забезпечити стабільне промислове виробництво до 6 млн т високоякісного екологічного палива на рік.

1.1.3 Географічний розподіл виробничих потужностей

Промислове виробництво біопалива на території України характеризується вираженою географічною диверсифікацією, що безпосередньо зумовлено зональною спеціалізацією аграрного сектору та локальною доступністю конкретних видів рослинної сировини.

Південний економічний район, який охоплює Одеську, Миколаївську, Херсонську та Запорізьку області, відзначається високими показниками валового збору соняшнику та олійних культур. Це географічне положення детермінує перетворення зазначеного регіону на провідний кластер із генерації біодизельного палива та біоетанолу. Крім того, значна концентрація великих

тваринницьких комплексів у цих областях створює вагомі передумови для розвитку біогазової індустрії на базі утилізації агропромислових відходів.

Північні та північно-західні території держави, зокрема Чернігівська, Рівненська та Волинська області, володіють високим потенціалом для розбудови біоетанольного сегмента, орієнтованого на переробку значних обсягів кукурудзяних та пшеничних культур.

Центральний та Західний регіони України, де виділяються Вінницька, Житомирська та Львівська області, мають історично сформовану спеціалізацію на вирощуванні зернових та цукрових буряків. Це позиціонує їх як потужні центри виробництва паливного спирту. Поряд із цим у даних регіонах фіксується найвища щільність функціонування сучасних біогазових установок, інтегрованих у структуру переробних підприємств харчової промисловості.

Східний вектор біоенергетики, представлений Харківською, Сумською та Полтавською областями, також демонструє динамічне нарощування потужностей, переважно в царині переробки соняшникової олії на кондиційне біодизельне паливо.

Таким чином, просторова структура біопаливного комплексу відображає природно-кліматичну та господарську неоднорідність України. Територіальна концентрація первинних і вторинних рослинних залишків характеризується суттєвою нерівномірністю. Пшенична та ячмінна соломка локалізована здебільшого у південних та східних областях. Стеблові залишки кукурудзи тяжіють до центральних і північних масивів, тоді як побічні продукти вирощування соняшнику зосереджені в центральній та східній частинах держави.

Географічне розміщення джерел вторинної сільськогосподарської сировини жорстко прив'язане до локалізації переробних підприємств. Зокрема, найбільші олійноекстракційні заводи, що виступають генераторами лушпиння соняшнику, зосереджені у Вінницькій, Кіровоградській, Запорізькій, Миколаївській та Одеській областях. Своєю чергою, великі підприємства цукрової галузі, які забезпечують постачання бурякового жому та меляси, територіально локалізовані у Львівській, Тернопільській, Вінницькій, Хмельницькій, Київській та Волинській областях.

Перспективи залучення спеціалізованих фітоенергетичних культур безпосередньо корелюють із наявністю вільних або виведених з інтенсивного

обігу сільськогосподарських угідь. Найвищий сировинний потенціал у цьому контексті, як проілюстровано на рис. 1.3, мають Чернігівська, Житомирська, Рівненська, Київська, Волинська та Львівська області, де акумульовано майже 50 % від загальної площі маловикористовуваних земель країни.

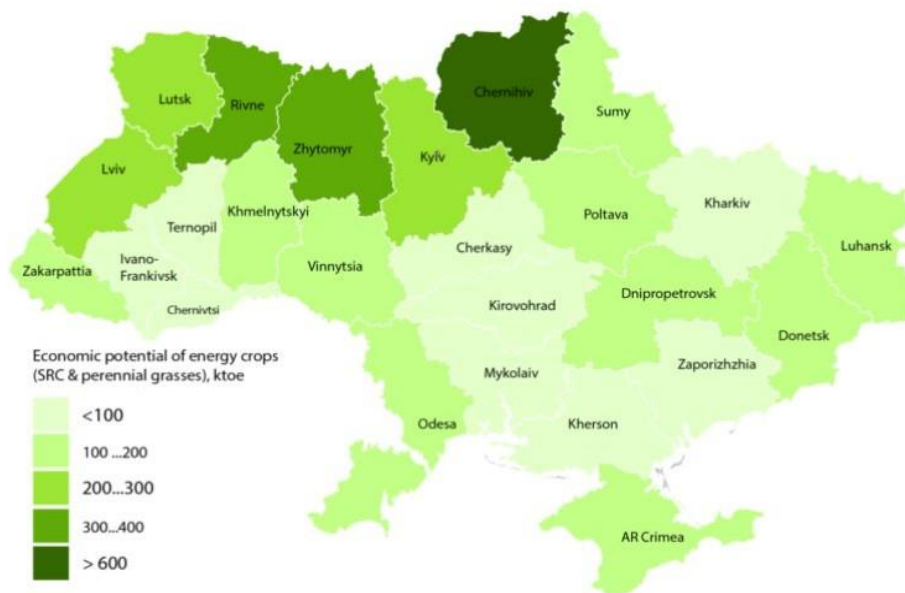


Рис. 1.3 – Економічний потенціал та регіональний розподіл вирощування фітоенергетичних культур для виробництва енергії в Україні

При моделюванні виключно за рахунок деградованих та занедбаних земель, які є непридатними для вирощування продовольчого зерна, економічний потенціал енергетичних плантацій для виробництва твердого біопалива оцінюється на рівні 4-5 млн т н.е. за умови введення в обіг площ розміром до 1 млн га. Додаткові 2,6 млн т енергетичного еквівалента можуть бути мобілізовані шляхом цільового вирощування силосної кукурудзи для біогазових комплексів на ще 1 млн га незадіяних низькопродуктивних земельних ресурсів [1, 11, 15, 16].

Комплексний аналіз сучасного стану, структури та просторової організації біопаливного комплексу України дозволяє сформулювати низку узагальнюючих висновків. По-перше, зафіксовано стійку позитивну динаміку нарощування обсягів генерації альтернативних видів палива, що безпосередньо засвідчує високу місткість вітчизняного ринку та підтверджує стратегічну роль біоенергетичного сегмента у процесах оптимізації та диверсифікації національного паливно-енергетичного балансу.

По-друге, широка технологічна номенклатура біопаливних ресурсів, що виробляються або потенційно можуть генеруватися в межах держави, створює об'єктивні передумови для реалізації системного підходу до освоєння відновлюваних джерел енергії. Це відкриває можливості для одночасної інтеграції рідких, твердих та газоподібних екологічних носіїв у різні сектори економіки.

По-третє, просторове розміщення сировинної бази та виробничих потужностей характеризується вираженою регіональною специфікою, жорстко детермінованою зональним розподілом аграрного сектору та локалізацією підприємств харчової промисловості. Оцінка географічної концентрації первинних і вторинних сільськогосподарських залишків, а також маловикористовуваних земель формує надійний науково-методичний базис для розробки та впровадження таргетованих регіональних стратегій розвитку біоенергетики.

Загалом, інтенсифікація розбудови біопаливного сектору виступає дієвим інструментом зміцнення енергетичної суверенності України, мінімізації її імпортозалежності та зниження рівня антропогенного тиску на навколишнє природне середовище. Подальше стимулювання капіталовкладень у науково-дослідні роботи та трансфер передових біотехнологій є критично важливою умовою для забезпечення екологічно сталого розвитку держави та успішної декарбонізації промислового й транспортного комплексів.

1.2 Сучасний стан та перспективи розвитку ринку паливних гранул і брикетів в Україні

Україна володіє значним потенціалом для розвитку ринку твердого біопалива завдяки наявності потужної сировинної бази та значних обсягів відходів сільського господарства і деревообробної промисловості. Розвиток біоенергетики є важливим напрямом підвищення енергетичної безпеки держави, диверсифікації джерел енергії та виконання зобов'язань щодо декарбонізації економіки [8, 17].

Основним чинником розвитку галузі є наявність масштабної та щорічно відновлюваної сировинної бази, представленій відходами лісового господарства, деревообробної промисловості та побічними продуктами агропромислового комплексу. За оцінками Біоенергетичної асоціації України, серед найбільш

перспективних ресурсів для твердого біопалива варто виділити соломі зернових культур, побічну продукцію кукурудзи, відходи соняшнику, лушпиння соняшнику та деревну біомасу [17].

Сучасна товарна структура вітчизняного ринку твердого альтернативного палива сформована кількома основними сегментами: деревні гранули, гранули з лушпиння соняшнику, гранули із соломи, а також паливні брикети різних стандартів пресування, зокрема RUF, Nestro та Pini-Kay (табл. 1.2) [18-20]. За даними UABIO, паливні гранули з біомаси мають теплоту згоряння орієнтовно 14,0-17,5 МДж/кг, є зручними для транспортування та зберігання і дозволяють автоматизувати подачу палива в котел [18].

Таблиця 1.2 – Основні види твердого біопалива, що виробляються в Україні

Вид продукції	Сировинна база	Теплота згоряння, МДж/кг	Основні сегменти споживачів
Деревні гранули (пелети)	Тирса, стружка, обпіл, деревні відходи	16-18	Приватні домогосподарства, котельні, експорт
Гранули з лушпиння соняшнику	Побічні продукти переробки соняшнику на олійно-екстракційних заводах	15-17	Промислові підприємства, ТЕЦ, комунальні котельні
Гранули із соломи	Солома зернових культур, пожнивні залишки	14-16	Комунальні та відомчі котельні, агропідприємства
Паливні брикети RUF	Подрібнені деревні відходи, тирса	15-17	Побутовий сектор, приватні будинки
Паливні брикети Nestro	Тирса, шліфувальний пил, лушпиння	15-18	Котельні середньої потужності
Паливні брикети Pini-Kay	Тверді породи деревини, відходи обробки	17-19	Внутрішній ринок ритейлу, експорт

Особливе місце у структурі потенційної сировини для твердого біопалива займає аграрна біомаса (табл. 1.3). На відміну від деревної біомаси, ресурс якої уже активно використовується, потенціал соломи, стебел кукурудзи та лушпиння соняшнику залишається значним і може бути залучений у теплоенергетику без конкуренції з продовольчим використанням за умови дотримання агроекологічних норм повернення органічної речовини у ґрунт [8, 17].

Таблиця 1.3 – Оцінка економічного енергетичного потенціалу окремих видів біомаси в Україні

Вид біомаси	Оцінений ресурс, млн т/рік	Частка теоретичного потенціалу, доступна для енергетики, %	Економічний потенціал, млн т н.е./рік
Солома зернових культур	32,8	30	3,36
Побічна продукція кукурудзи на зерно (стебла, качани)	46,5	40	3,56
Побічна продукція сояшнику (стебла, кошики)	26,9	40	1,54
Лушпиння сояшнику	2,4	100	1,00
Деревна біомаса (дрова, лісосічні та деревообробні відходи)	8,8	96	2,06

До 2022 року ринок твердого біопалива України розвивався під впливом двох груп чинників: внутрішнього попиту на заміщення природного газу та зовнішнього попиту з боку європейського ринку. Початок повномасштабної війни у 2022 році мав суттєвий негативний вплив на функціонування галузі через руйнування виробничої й логістичної інфраструктури, ускладнення постачання сировини та зміну експортних маршрутів [8, 21].

Аналіз динаміки імпорту деревних гранул з України до країн Європейського Союзу свідчить про відносну стабільність зовнішнього попиту протягом 2020–2024 років (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Імпорт ЄС деревних гранул з України за кодом HS 440131 у 2020-2024 роках

Рік	Обсяг імпорту, тис. т
2020	441
2021	411
2022	401
2023	466
2024	408

Найнижчий показник було зафіксовано у 2022 році (401 тис. т), що пов'язано з порушенням логістичних ланцюгів внаслідок повномасштабної війни. У 2023 році обсяг імпорту зріс до 466 тис. т, що стало найвищим

значенням за досліджуваний період. У 2024 році спостерігалось певне скорочення поставок до 408 тис. т, однак показник залишився близьким до середньорічного рівня, що підтверджує збереження стійкого попиту на українські деревні гранули на європейському ринку [22, 23].

Зовнішня торгівля залишається важливою складовою розвитку українського сектору твердого біопалива. Після запровадження ЄС обмежень на імпорт деревних гранул з Росії та Білорусі ринок ЄС змінив структуру постачання, що створило додаткові можливості для інших постачальників, включаючи Україну (табл. 1.5) [22]. Отже, у 2024 році Україна входила до групи найбільших зовнішніх постачальників деревних гранул до ЄС, забезпечивши близько 9,1 % загального імпорту. Це підтверджує важливість європейського напряму збуту, однак також свідчить про залежність українських виробників від логістики, вимог сертифікації та регуляторної політики ЄС [22, 23].

Таблиця 1.5 – Основні постачальники деревних гранул на ринок ЄС у 2024 році

Країна-постачальник	Обсяг поставок, тис. т	Частка у загальному імпорті ЄС, %
США	1904	42,5
Канада	619	13,8
Бразилія	419	9,4
Україна	408	9,1
В'єтнам	382	8,5
Малайзія	326	7,3

Цінова кон'юнктура внутрішнього ринку залежить від типу сировини, вологості, зольності, партії поставки, регіону та логістичних витрат. За даними аналізу UABIO (табл. 1.6), середня ціна біопалива у закупівлях зросла з 2874 грн/т у 2020 році до 9114 грн/т у 2023 році [18].

Таблиця 1.6 – Середня ціна паливних гранул і брикетів з біомаси у публічних закупівлях України

Рік	Середня ціна, грн/т	Приріст до попереднього року, %
2020	2874	—
2021	4488	+52
2022	8371	+87
2023	9114	+6

Наведені дані не слід ототожнювати з усім внутрішнім ринком, оскільки вони охоплюють лише сегмент публічних закупівель. Проте цей масив є корисним для оцінки загального напрямку цінової динаміки у країні, наприклад, у 2021-2022 роках ціни зростали найбільш інтенсивно, що було пов'язано з подорожчанням енергоресурсів, логістики та підвищенням попиту на альтернативні види палива [18].

Для техніко-економічного обґрунтування використання різних видів твердого біопалива важливим є зіставлення теплоти згоряння та зольності (табл. 1.7). Деревні гранули зазвичай мають вищу стабільність якості та нижчу зольність, тоді як агропелети є дешевшими і доступнішими у регіонах з розвиненим аграрним виробництвом, але потребують котельного обладнання, адаптованого до вищої зольності [18, 19].

Таблиця 1.7 – Порівняльна характеристика основних видів паливних гранул

Показник	Деревні гранули	Гранули із соломи	Гранули з лушпиння соняшнику
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	16 – 18	14 – 16	15 – 17
Зольність, %	0,5 – 1,5	3,0 – 7,0	2,5 – 4,5
Типові споживачі	Домогосподарства, котельні, експорт	Комунальні та промислові котельні	Промислові котельні, ТЕЦ, підприємства ЖКГ

Проведений аналіз показав, що ринок твердого біопалива України характеризується значним потенціалом розвитку та високим рівнем адаптивності до зовнішніх викликів. Незважаючи на негативний вплив воєнних дій, галузь демонструє поступове відновлення виробництва та експортної діяльності. Важливими передумовами подальшого розвитку є наявність значної ресурсної бази біомаси, зростання попиту на відновлювані джерела енергії та інтеграція України до європейського енергетичного простору.

Найбільш перспективним напрямом розвитку є розширення використання аграрної біомаси, зокрема соломи, лушпиння соняшнику та кукурудзяних решток. Це сприятиме підвищенню рівня енергетичної незалежності держави, раціональному використанню відходів агропромислового комплексу,

зменшенню екологічного навантаження та розвитку внутрішнього ринку відновлюваної енергетики

1.3 Характеристика ТОВ «Золочів Інвест»

У сучасній структурі аграрного бізнесу України ТОВ «Золочів Інвест» виконує роль важливого інфраструктурного та логістичного елемента в складі великого вертикально інтегрованого агрохолдингу АТК (Аграрна технологічна компанія). Головною метою діяльності товариства є здійснення комерційної та виробничої діяльності, спрямованої на отримання прибутку, задоволення потреб вітчизняних та іноземних суб'єктів ринку в якісних агросервісних, складських та транспортно-логістичних послугах, а також розвиток сучасних стандартів зберігання сільськогосподарської продукції.

Відповідно до Національного класифікатора видів економічної діяльності, основним вектором спеціалізації ТОВ «Золочів Інвест» є складське господарство, що включає широкий спектр послуг із приймання, очищення, сушіння, кондиціонування та довгострокового зберігання зернових, зернобобових та олійних культур. Для забезпечення комплексності обслуговування аграрного сектору підприємство також має юридичне право здійснювати допоміжну діяльність за такими напрямками, як вирощування зернових культур, бобових культур і насіння олійних культур, а також діяльність посередників у торгівлі сільськогосподарською сировиною, живими тваринами, текстильною сировиною та напівфабрикатами. Особливе значення для реалізації дано роботи має наявність у переліку видів діяльності коду КВЕД 16.29, який регламентує виробництво інших виробів з деревини, виготовлення виробів з корка, соломки та рослинних матеріалів для плетіння, що є нормативно-правовим фундаментом для розгортання ліній із випуску твердого біопалива.

Основу матеріально-технічної бази та головних виробничих фондів ТОВ «Золочів Інвест» складають потужні високотехнологічні елеваторні комплекси, які територіально та логістично розділені на два ключові регіональні підрозділи:

По-перше, це Хмільницький елеватор, розташований у Вінницькій області. Даний об'єкт має загальну потужність одноразового зберігання зерна в обсязі 97,3 тисячі тонн. Комплекс оснащений передовими автоматизованими системами контролю температури та вологості, сучасними високопродуктивними зерносушарками та сепараторами для первинного й

вторинного очищення зернової маси. Логістичний потенціал об'єкта підсилюється наявністю власних залізничних колій та вузлів відвантаження на базі залізничної станції Хмільник, що дозволяє здійснювати оперативне транспортування великих партій продукції.

По-друге, це Знам'янський елеватор, що функціонує в Кіровоградській області з номінальною потужністю одноразового зберігання зернових культур у кількості 70 тисяч тонн. Цей підрозділ володіє повною інфраструктурою для доробки сільськогосподарських культур до базових кондицій та здійснює відвантаження зерна на залізничний транспорт через станцію Знам'янка-Сортувальна.

Середньооблікова чисельність штатного персоналу підприємства адаптується до сезонних коливань аграрного циклу і в середньому становить від 50 до 100 працівників, включаючи адміністративно-управлінський апарат, інженерно-технічних робітників та виробничий персонал безпосередньо на лініях елеваторів. Фінансово-економічний стан ТОВ «Золочів Інвест» характеризується стабільністю та інвестиційною привабливістю, що зумовлено високим і постійним попитом на послуги сертифікованих елеваторів в Україні, а також інтеграцією в структуру великого стабільного холдингу АТК.

Специфіка функціонування великих елеваторних комплексів, які перебувають на балансі ТОВ «Золочів Інвест», пов'язана з утворенням значних обсягів побічних відходів у процесі сепарування, очищення та доробки зернового матеріалу. Щорічно на Хмільницькому та Знам'янському елеваторах накопичуються тисячі тонн рослинних залишків, лушпиння, соломистих та зернових відходів, які на сучасному етапі потребують додаткових витрат підприємства на їх утилізацію або вивезення.

Впровадження проєкту будівництва цеху з виробництва твердого біопалива безпосередньо на території виробничих майданчиків ТОВ «Золочів Інвест» є глибоко обґрунтованим рішенням з економічного та екологічного поглядів. Завдяки реалізації цього проєкту підприємство отримує стабільну, безкоштовну власну сировинну базу, що зводить до мінімуму логістичні витрати на доставку біомаси та суттєво знижує собівартість готових паливних пелет або брикетів.

Економічний ефект від диверсифікації виробництва полягає у формуванні додаткового високоліквідного джерела доходу від реалізації відновлюваних

джерел енергії на внутрішньому та європейському ринках. Крім того, створення власного біопаливного цеху дозволить ТОВ «Золочів Інвест» перевести частину власних зерносушильних комплексів з дорогого природного газу на альтернативні види палива власного виробництва. Це забезпечить суттєве зниження загальних операційних витрат елеватора, підвищить його енергонезалежність, скоротить термін окупності капітальних інвестицій та зміцнить конкурентні позиції компанії на ринку агрологістичних послуг України [24, 25].

1.4 Мета і робоча гіпотеза проєктування, результати, які очікуються

Метою проєкту є розробка техніко-економічного та технологічного обґрунтування будівництва сучасного цеху з виробництва твердого гранульованого біопалива (пелет) із соломи та інших рослинних відходів на базі виробничих потужностей ТОВ «Золочів Інвест».

Реалізація цієї мети спрямована на: диверсифікацію виробничої діяльності підприємства через освоєння суміжного напрямку; підвищення рівня енергонезалежності елеваторних комплексів холдингу шляхом заміщення природного газу альтернативним; впровадження принципів циклічної економіки через повну утилізацію та комерціалізацію власних побічних відходів агровиробництва.

Передбачається, що переведення власних зерносушильних комплексів підприємства з природного газу на паливні гранули власного виробництва, паралельно з реалізацією надлишків високоліквідного біопалива на внутрішньому та європейському ринках, забезпечить: радикальне зниження операційних витрат елеваторів; ліквідацію витрат на вивезення та утилізацію рослинних відходів; швидку окупність капітальних інвестицій у будівництво цеху, підвищуючи загальну фінансову стійкість та конкурентоспроможність ТОВ «Золочів Інвест» у структурі агрохолдингу АТК.

Результати реалізації проєкту диференціюються за трьома основними напрямками, а саме технологічні, економічні та екологічні.

Технологічні результати: створення нового виробничого підрозділу (зведення та введення в експлуатацію цеху гранулювання біомаси); модернізація сушильного господарства (переведення частини або всього обсягу зерносушильних комплексів Хмільницького та Знам'янського елеваторів на

твердопаливні генератори, що працюють на солом'яних пелетах); створення нових робочих місць (розширення штату підприємства та підвищення кваліфікації персоналу).

Економічні результати: зниження собівартості послуг (зменшення витрат на доробку та сушіння зерна для клієнтів елеватора за рахунок використання дешевшого альтернативного палива); додатковий капітальний дохід (формування стабільного грошового потоку від продажу паливних гранул стороннім споживачам в Україні та країнах ЄС); оптимізація витрат на відходи (повне нівелювання статті витрат, пов'язаної з утилізацією або вивезенням рослинних залишків з території елеваторів); покращення фінансових показників (скорочення терміну окупності капітальних вкладень у модернізацію та підвищення загальної рентабельності ТОВ «Золочів Інвест»).

Екологічні та соціальні результати: зменшення вуглецевого сліду (скорочення викидів парникових газів в атмосферу шляхом заміщення викопного природного газу нейтральним з погляду емісії вуглецю біопаливом); екологізація виробництва (вирішення проблеми накопичення багатотонних рослинних залишків на території підприємства, що знижує ризики самозаймання та покращує санітарно-гігієнічний стан промислових майданчиків); зміцнення іміджу (позиціонування ТОВ «Золочів Інвест» та холдингу АТК як «зеленого», соціально відповідального бізнесу, що полегшує залучення міжнародних «зелених» кредитів та інвестицій).

Розділ 2 Науково-технологічна частина

2.1 Ресурсний потенціал рослинних відходів для генерації енергії в Україні

Згідно з нормативними положеннями Директиви 2009/28/ЄС Європейського Парламенту та Ради, під поняттям «біомаса» слід розуміти будь-яку органічну речовину, що піддається процесам біологічного розкладу. Зокрема, до цієї категорії відносять побічні продукти та залишки лісового й аграрного господарств, сировину пов'язаних із ними виробничих сфер, а також біорозкладну фракцію промислових і муніципальних відходів [26].

Відповідно до вітчизняного законодавства, зокрема Закону України «Про альтернативні види палива» № 1391-XIV, під біомасою розуміють органічну речовину біогенного походження, яка здатна до природного біологічного розкладання. Дана категорія охоплює побічні продукти й залишки агропромислового та лісгосподарського комплексів, суміжних секторів виробництва, а також органічний складник муніципальних і промислових відходів. На основі цього термінологічного підходу формується й визначення біологічних видів палива (біопалива), які класифікують на тверді, рідкі та газоподібні. Вони виробляються з відновлюваної біосировини і призначені для безпосереднього спалювання або використання як компоненти у сумішах з іншими енергоносіями [13].

Джерела походження біомаси є досить різномірними. Сюди відносяться відходи аграрного сектору, харчових виробництв, а також побутове та комунальне сміття. Окреме важливе місце посідає деревна сировина – це залишки від роботи лісгоспів, деревообробних та целюлозно-паперових підприємств. Крім того, біомасу можна отримувати цілеспрямовано, вирощуючи спеціальні енергетичні культури. Наприклад, для збору твердої біомаси саджають швидкоростучі дерева (вербу, тополю, платан) або трав'янисті рослини (міскантус, сорго та просо). Якщо ж потрібно виготовити рідке моторне паливо, то як сировину використовують звичні сільськогосподарські культури – ріпак, кукурудзу чи соняшник [27].

					КРБ.ТЗіК.1.679-03.5.3			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Прутіян С.С.			Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник		Бордун Т.В.					28	64
Консульт.						ОНТУ 2026		
Зав.каф.		Макаринська А.В.						
Н.контр.								

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) та твердих паливних гранул чи брикетів [26, 27].



Рис 2.1 – Шляхи переробки біомаси в енергію

Переробка біосировини на теплову чи електричну енергію, а також на інші енергоносії, здійснюється за допомогою фізичних, хімічних та біохімічних технологій. Серед головних переваг використання біомаси можна виділити такі:

1. Опора на місцеві ресурси. Оскільки сировина виробляється локально, це дозволяє задіяти внутрішні ресурси конкретного регіону, зокрема й робочу силу. Такий підхід стимулює локальну економіку, а сам процес видобутку та використання біопалива є доволі простим.

2. Відновлюваність. На відміну від викопного палива, запаси якого постійно зменшуються, біомаса при грамотному підході є практично невичерпною. Це гарантує стабільний розвиток енергетики у майбутньому без ризику дефіциту.

3. Екологічність. Якщо порівнювати біомасу зі звичайним вугіллям, вона значно чистіша. У ній майже немає сірки, а спалювання при помірних

температурах заважає утворенню небезпечних оксидів азоту. Більше того, біомаса є вуглецево-нейтральною: під час її згоряння виділяється стільки ж CO_2 , скільки рослини поглинули за життя, тому парниковий ефект не зростає.

4. Економічна вигода. Енергія з біоресурсів часто коштує дешевше, ніж з традиційних джерел. Враховуючи, що нафта, газ та вугілля дорожчають набагато швидше, біомаса стає дедалі вигіднішою та конкурентоспроможною.

5. Очищення довкілля від сміття. Залучення біомаси в енергетику допомагає утилізувати міські та промислові відходи. Наприклад, видобуток біогазу на сміттєвих полігонах знешкоджує небезпечні викиди, що покращує екологічний стан територій.

6. Технологічний розвиток. Запуск біоенергетичних проєктів стимулює модернізацію котелень та тепломереж, змушує впроваджувати нові інженерні рішення, а також створює попит на виготовлення, монтаж і сервіс сучасного обладнання.

Базою для розвитку біоенергетичного потенціалу України є первинні аграрні залишки, зокрема солома, а також стебла й лушпиння кукурудзи та соняшника. Ця біомаса лишається на угіддях як побічний продукт після збору основних врожаїв та спеціальних енергетичних рослин, популярність яких у нашій країні стрімко зростає. Головну роль серед таких агровідходів відіграє саме солома, що утворюється після обмолоту зернових та інших однорічних культур. Щороку в Україні заготовляють орієнтовно 25 млн тонн соломи, і щонайменше п'яту частину (20 %) від цієї кількості можна сміливо пускати на виробництво біопалива [26, 27]. Варто зауважити, що за своїми властивостями солома суттєво відрізняється від звичайної тирси чи лісових відходів: вона щільніша за структурою, має вищий вміст летких компонентів і завдяки цьому горить значно довше.

До категорії вторинних сільськогосподарських відходів відносять ті залишки, які з'являються безпосередньо під час переробки врожаю на корми для худоби чи харчові продукти. Яскраві приклади такої сировини – це соняшникове лушпиння, лузга від різних круп, шкаралупа горіхів, відходи переробки квасолі та інші подібні рослинні матеріали. Загальний економічний потенціал відходів аграрного сектору сягає 10,96 млн тонн у.п./рік, тоді як для спеціальних енергетичних рослин цей показник становить 4,88 млн тонн у.п./рік (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Усереднені обсяги та структура енергетичного потенціалу вітчизняної біомаси

Різновид органічної сировини	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
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшника)	2,6	100	1,08
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, кошики)	29,0	40	1,66
Енергетичні культури (верба, тополя, міскантус)	11,5	100	4,88
Деревна біомаса	7,4	95	1,73

У табл. 2.1 детально відображено усереднену структуру вітчизняного біоенергетичного потенціалу. Згідно з наведеними даними, домінуючу роль відіграють побічні продукти вирощування кукурудзи (зокрема, її стебла та стрижні), солома зернових, а також залишки збору соняшника (кошики та стебла). Разом з тим, у табл. 2.2 представлено прогностні показники розвитку ринку біомаси в Україні з перспективою до 2050 року. Відповідно до цих прогнозів, очікується стабільне збільшення обсягів даних аграрних залишків. Окремо варто виділити тенденцію до дворазового зростання потенціалу спеціальних енергетичних насаджень, таких як міскантус, тополя та верба [28, 29].

Таблиця 2.2 – Перспективи розвитку енергетичного потенціалу біомаси в Україні до 2050 року

Різновид органічної сировини	Теоретичний потенціал, млн. т	Економічний потенціал, доступний для енергетики	
		% теор. потенціалу	млн. т у.п.
1	2	3	4
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

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшника)	2,4	100	1,00
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, кошики)	26,9	40	1,54
Енергетичні культури (верба, тополя, міскантус)	34,5	100	14,65
Деревна біомаса	12,3	95	2,88

На сьогоднішній день вітчизняний енергетичний сектор використовує лише близько 10 % від усього наявного потенціалу біосировини, що в абсолютному вираженні дорівнює 2,7 млн тонн у.п./рік (див. табл. 2.3) [28, 29]. У структурі споживання чітко домінує деревна біомаса (дрова, тріска, а також пелети й брикети), на яку припадає ледь частка – 86 % від загальнорічного обсягу. Ще 8 % забезпечується за рахунок спалювання соняшникового лушпиння. Натомість потенціал рослинних залишків агросектору використовується вкрай слабо. Наприклад, обсяги спалювання соломи становлять усього 94 тис. тонн на рік, а це навіть менше 1 % від її реальних економічних можливостей в Україні. Більш детально компоненти споживання біоенергетичних ресурсів наведено на прикладі за 2019 рік у табл. 2.4 [29].

Таблиця 2.3 – Використання біомаси для виробництва енергії

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

Таблиця 2.4 – Специфіка споживання енергетичного потенціалу біомаси в Україні станом на 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

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5
Солома зернових колосових/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
-ввиробництво 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
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	у середньому: 11,5 %

Географічно найвищі обсяги деревної біомаси зосереджені в лісистих північних та північно-західних регіонах України, зокрема в Житомирській, Рівненській, Львівській та Київській областях, а також у гірських масивах Карпат. Для порівняння масштабів різних джерел сировини можна навести деякі дані: свого часу річний потенціал деревної біомаси оцінювався в 1378 тис. тонн у нафтовому еквіваленті (т н.е.), тоді як можливості агробіомаси досягали 8039 тис. т н.е. Така пропорція загалом відображає сучасну специфіку вітчизняного паливного ринку. Загалом, ресурсна база лісової біомаси безпосередньо залежить від масштабів заготівлі деревини та рівня розвитку місцевої деревообробної галузі. На сьогодні обсяги вирубки лісу в країні становлять орієнтовно половину від його щорічного природного приросту [26].

Динаміка вирощування ключових аграрних культур в Україні протягом 2010–2019 років відображена на рис. 2.2, а особливості структури вітчизняного біоенергетичного потенціалу загалом ілюструє рис. 2.3 [29]. У зазначений період обсяги валового збору зернових, зернобобових, а також соняшнику та кукурудзи демонстрували стабільне зростання. Як наслідок, пропорційно збільшувалася й кількість побічних продуктів та залишків їх переробки, що утворюють потужну сировинну базу для виробництва твердого біопалива.

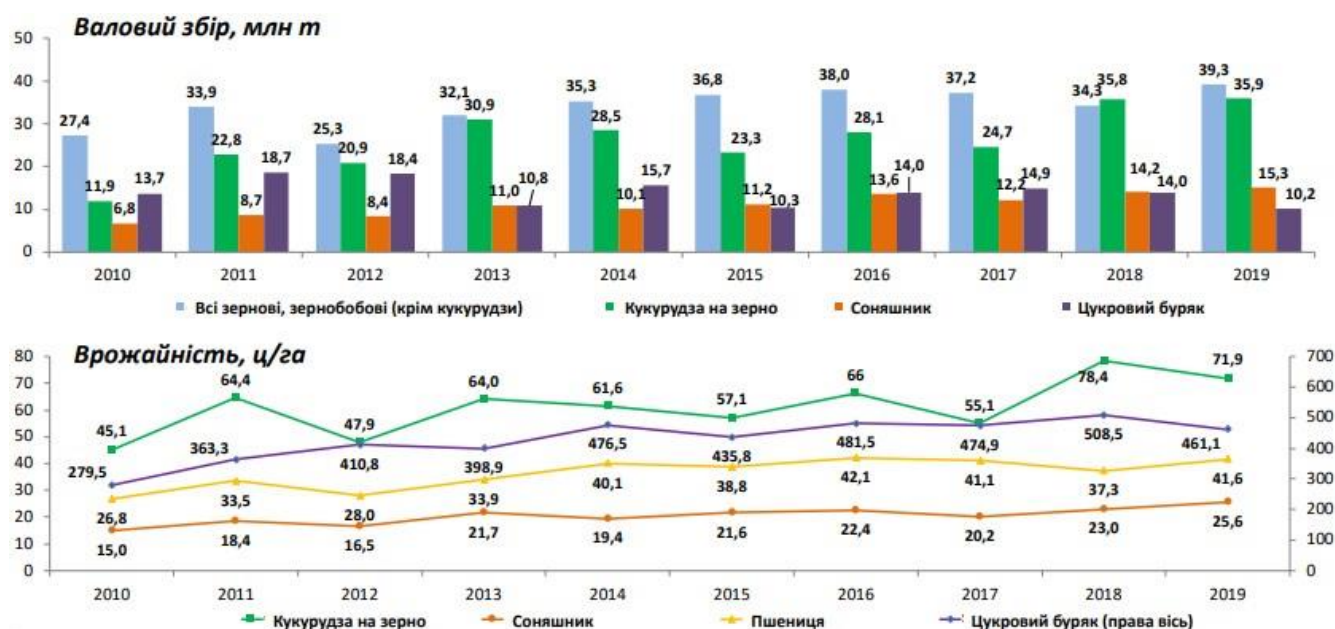


Рис. 2.2 – Зміна обсягів валового збору основних видів агропродукції в Україні (період 2010–2019 рр.)

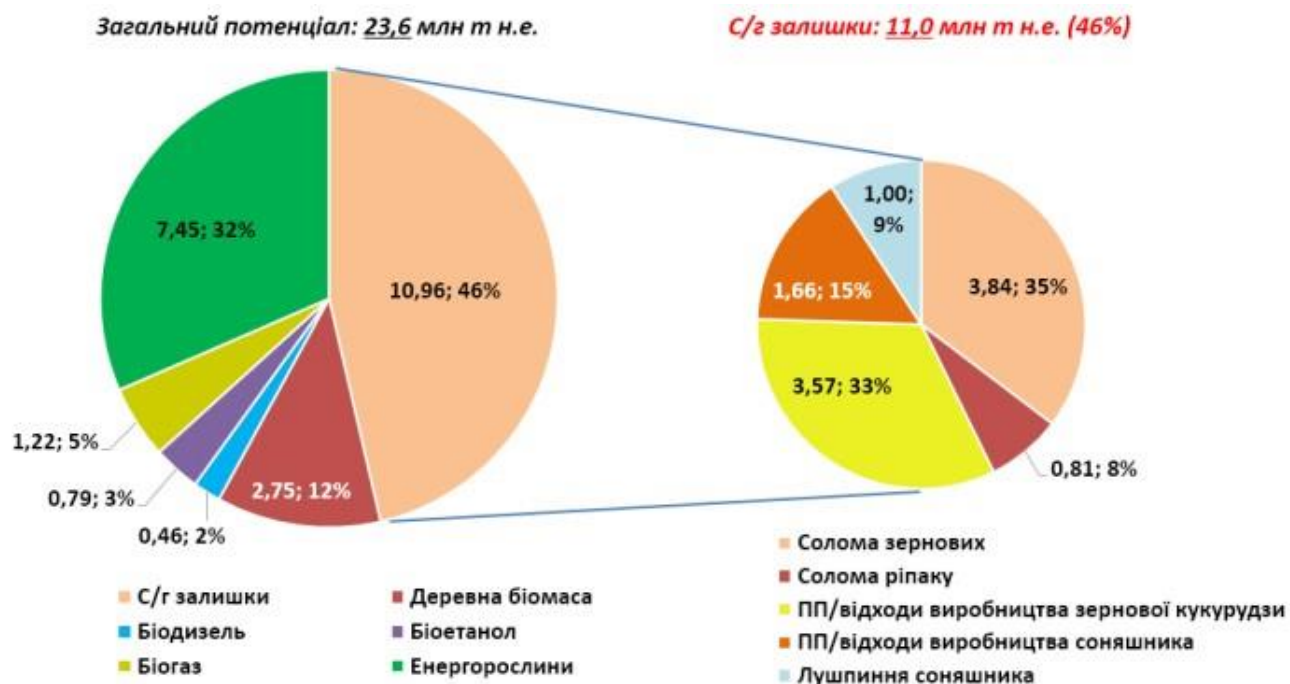


Рис 2.3 – Співвідношення різних видів біомаси в загальному енергетичному потенціалі України (2019 рік)

Найбільші обсяги доступної агробіомаси зосереджені в центральних, південних та південно-східних областях України, що пояснюється високим рівнем розвитку сільського господарства та харчової промисловості. Головним чинником, який визначає обсяги цієї сировини, є щорічна врожайність сільгоспкультур, яка суттєво коливається під впливом погодних і кліматичних умов конкретного сезону. Зважаючи на стабільне збільшення показників урожайності у попередні роки, аналітики прогнозували подальше нарощування потенціалу аграрної біомаси. Однак повномасштабне вторгнення Росії на територію України стало деструктивним фактором, який змусив кардинально переглянути ці оптимістичні прогнози та вніс суттєві корективи у розвиток галузі [8, 30].

За даними останнього довоєнного 2021 року, економічний потенціал соломи зернових колосових оцінювався у 2,87 млн т н.е./рік, а побічної продукції вирощування кукурудзи на зерно – у 4,18 млн т н.е./рік (табл. 2.5). Унаслідок воєнних дій обсяги виробництва сільськогосподарських культур і, відповідно, кількість рослинних залишків суттєво скоротилися. Проте, починаючи з 2025 року, намітилася тенденція до певного зростання. Зокрема, загальний енергетичний потенціал аграрних решток у 2025 році збільшився до 7,64 млн т

н.е./рік порівняно з 7,43 млн т н.е./рік у 2024 році, хоча цей показник усе ще суттєво поступається рівню 2021 року (10,80 млн т н.е./рік) [31].

Таблиця 2.5 – Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні

Вид біомаси/біопалива	Потенціал, доступний для енергетики (економічно доцільний), млн т н.е./рік ¹⁾			
	2021 р.	2023 р.	2024 р.	2025 р.
1	2	3	4	5
Сільськогосподарські залишки:	10,80	8,22	7,43	7,64
солома зернових колосових	2,87	1,89	1,94	1,99
солома ріпаку	0,80	1,14	0,98	0,88
побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	4,18	3,08	2,67	3,05
побічні продукти виробництва соняшника (стебла, корзинки)	1,79	1,39	1,19	1,11
лушпиння соняшника	1,16	0,72	0,65	0,61 ²⁾
Деревна біомаса:	2,70	2,64	2,57	2,57
паливна деревина, порубкові рештки, відходи деревообробки	1,68	1,64	1,56	1,56 ²⁾
сухостій, відходи деревини із захисних лісосмуг, відходи обрізки та викорчовування садів і виноградників	1,02	1,00	1,01	1,01 ²⁾
Енергетичні рослини (верба, тополя, міскантус на 0,5 млн га)	2,58	2,58	2,58	2,58
Тверда біомаса, загалом	16,08	13,44	12,58	12,79
Біодизель:	0,86	0,86	0,98	0,91
з ріпаку ³⁾	0,58	0,58	0,70	0,63
з олійних енергетичних рослин на незадіяних с/г землях (0,5 млн га)	0,28	0,28	0,28	0,28
Біоетанол:	0,92	0,70	0,62	0,68
з кукурудзи (10% врожаю зерна)	0,86	0,63	0,55	0,62
з меляси	0,06	0,07	0,07	0,06
Рідке біопаливо, загалом	1,78	1,56	1,60	1,59
Біогаз:				
з відходів тваринницьких підприємств (гній, послід)	0,71	0,67	0,65	0,65 ²⁾

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4	5
з побічних продуктів (ПП) виробництва с/г культур	3,80	3,03	2,88	2,92
з ПП харчової переробної промисловості	0,56	0,72	0,63	0,63 ²⁾
з твердих побутових відходів	0,45	0,36	0,37	0,37 ²⁾
з осадів стічних вод комунальних очисних споруд	0,06	0,05	0,05	0,05 ²⁾
з силосу кукурудзи як енергетичної рослини (з 1 млн га)	2,57	2,57	2,57	2,57
з проміжних/покривних культур	7,94	7,94	7,94	7,94
Біогаз, загалом	16,09	15,34	15,09	15,13
Всього	33,95	30,34	29,27	29,51

Примітка:

- 1) Без урахування тимчасово окупованих територій України станом на 2021 рік.
- 2) Орієнтовні дані через відсутність повного обсягу статистичної інформації за потрібний рік.
- 3) Частка врожаю насіння, потенційно виділена на виробництво біодизелю, може мінятися в залежності від поточних економічних умов: 2021, 2024, 2025 рр. – 70 %, 2023 р. – 50 %.

Попри негативний вплив воєнних дій, біоенергетичний сектор України демонструє високу стійкість: загальний обсяг доступної для енергетичного використання біомаси та біопалив скоротився некритично. Застосування консервативного підходу при розрахунках, що враховує екологічні та економічні бар'єри, забезпечує високу сталість і надійність оціненого потенціалу як базису для відновлення енергосистеми.

2.2 Оцінка енергетичного потенціалу та перспектив використання соломки зернових культур як біопалива

Розвиток відновлюваної енергетики виступає фундаментальним елементом побудови концепції сталого економічного зростання. Для моделювання майбутніх тенденцій Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) сформувало дві ключові траєкторії розвитку до середини XXI століття. Перша з них – базовий сценарій (Reference Case) – відображає збереження поточного вектора енергетичної політики держав. Друга модель – цільовий сценарій (REmap-Case) – орієнтована на масштабну декарбонізацію та системне впровадження низьковуглецевих технологій. Згідно з обчисленнями експертів, у період з 2015 по 2050 роки питома вага альтернативної генерації в загальному

балансі збільшиться з 15 % до 27 % за умови реалізації інерційного підходу, і сягне 66 % у разі оптимістичного переходу за сценарієм REmap-Case. При цьому очікується, що завдяки глибокій трансформації енергосистеми частка енергоресурсів, генерованих із біомаси, забезпечить 22 % потреб транспортної галузі та 19 % потреб промислового сектору [32].

Інтенсифікація використання відновлюваних джерел обумовлена як необхідністю диверсифікації паливного балансу через поступове вичерпання традиційних викопних ресурсів, так і прагненням мінімізувати антропогенне навантаження на довкілля. Водночас пріоритетність вибору конкретних альтернативних технологій детермінується комплексом чинників, серед яких визначальну роль відіграють специфічні кліматичні та географічні особливості конкретного регіону.

Збільшення обсягів вирощування спеціальних фітоенергетичних ресурсів має чітко узгоджуватися із глобальними викликами щодо забезпечення людства продовольством. Попри постійні дискусії навколо цього питання, з кінця ХХ століття площі під енергетичними плантаціями безперервно розширюються [33]. Така тенденція підкріплена кількома суттєвими перевагами:

1. Зручна логістика. Цей підхід дозволяє створювати великі та концентровані сировинні насадження безпосередньо поруч із біоенергетичними комплексами, що суттєво знижує витрати на транспортування.

2. Стабільність сировинної бази. Річний приріст обсягів біомаси з кожної одиниці площі є прогнозованим і контрольованим, що мінімізує ризики дефіциту.

3. Очищення та відновлення земель. Енергетичні фітокультури здатні успішно рости на малородючих, деградованих чи забруднених промисловістю ділянках, допомагаючи поступово відновлювати пошкоджені екосистеми.

4. Раціональне землекористування. Такі рослини дають високий урожай на перезволожених землях або непридатних для традиційного фермерства територіях, де саджати звичайні харчові культури просто економічно не вигідно.

5. Низька потреба в ресурсах. На відміну від примхливих овочевих чи плодових культур, енергетичні насадження не потребують регулярного штучного поливу прісною водою та складного щоденного агротехнічного догляду.

Водночас можливість використання вторинних відходів агросектору, насамперед соломи зернових культур, як палива досі викликає жваві дискусії як

серед європейських науковців, так і на теренах Східної Європи. Неоднозначність цього питання пояснюється тим, що така сировина є багатофункціональною і активно застосовується безпосередньо у сільському господарстві. Зокрема, у тваринництві солома традиційно слугує основою кормової бази та підстилкою для худоби. Крім того, її використовують як природне добриво для відновлення гумусового шару ґрунту, а також як термоізоляційний матеріал для захисту врожаю від промерзання під час зберігання взимку.

Науково-практичним завданням є прецизійне визначення лімітів вилучення соломи, які дозволять використовувати її як біопаливо без деструктивного впливу на суміжні галузі АПК та порушення біогеохімічного балансу ґрунтів. Крім того, комплексна екологічна експертиза потребує детального моніторингу емісії парникових газів і супутніх забруднюючих речовин при спалюванні біомаси, а також розробки методів подальшої утилізації або рециклінгу зольного залишку [34].

Вторинна біомаса рослинництва, представлена соломом зернових та інших агрокультур, виступає перспективним відновлюваним паливним ресурсом. Потенційні обсяги її енергетичного залучення на регіональному рівні лімітуються об'єктивними потребами тваринницької галузі в кормовій базі, а також необхідністю збереження гумусового балансу через заорювання соломи як органічного добрива. Окрім балансових факторів, суттєве значення має технологічний аспект експлуатації таких ресурсів, що безпосередньо стосується режимів термічної переробки в енергетичних установках. Специфіка хімічного складу соломи полягає у підвищеному вмісті лужних елементів, що провокує інтенсивне шлакування робочих поверхонь та прискорює корозійні процеси в котельному обладнанні. Зазначений фактор вимагає впровадження спеціальних конструктивних рішень під час проєктування об'єктів біоенергетики. Водночас базовим показником енергетичної доцільності використання даної сировини є її питома теплота згоряння. У географічній структурі біомаси солома класифікується як недеревний рослинний залишок таких поширених культур, як пшениця, жито, тритикале, ячмінь, ріпак та гречка, які стабільно займають домінуючі площі в структурі вітчизняного та європейського землекористування.

Світовим лідером у сфері генерації теплової та електричної енергії з відходів рослинництва є Данія, де обсяги промислового спалювання соломи перевищують 1,3 млн тонн щорічно. Державна енергетична стратегія цієї країни передбачає трансформацію паливного балансу з метою досягнення частки

альтернативних джерел понад 50 % уже до 2030 року. У межах зазначеної програми реалізується комплекс заходів щодо нарощування обсягів спалювання соломи і деревної тріски на великих теплоелектроцентралях. Крім того, здійснюється масштабна модернізація локальних блокових опалювальних систем потужністю 250 кВт у сільській місцевості для їх повного переведення з традиційного викопного палива на місцеві види біомаси. Конкретні технологічні схеми та напрями утилізації соломи в кожному випадку адаптуються під специфіку локального енергетичного попиту та наявні логістичні потужності регіону.

Теоретичні та прикладні аспекти залучення соломи до паливно-енергетичного комплексу країни в ролі альтернативного енергоносія останнім часом перебувають у центрі уваги наукової спільноти. Постійне розширення спектра наукових публікацій та експериментальних розробок у зазначеному напрямі наочно засвідчує високу актуальність, стратегічну значущість та практичну орієнтованість подібних пошуків в умовах сучасного енергетичного переходу [34-38].

2.2.1 Ресурсний потенціал та методологія оцінювання сировинної бази

Загострення глобальної енергетичної кризи та дефіцит традиційних викопних ресурсів змусили по-новому оцінити сировинну цінність аграрного сектору. У сучасних умовах побічні продукти та відходи рослинництва розглядаються як повноцінне відновлюване паливо. Серед різних видів сільськогосподарської біомаси саме тверда фракція, основу якої складає солома зернових культур, володіє найвищим питомим показником енергетичної місткості. Проте успішний запуск і реалізація будь-яких біоенергетичних проєктів потребують точного та верифікованого оцінювання наявних обсягів сировини.

Обчислення потенційних обсягів залучення соломи в ролі біопалива на регіональному чи загальнодержавному рівнях базується на застосуванні балансового методу. Його суть полягає у детальному врахуванні всіх напрямів її витрачання на інші господарські потреби, оскільки цей ресурс традиційно акумулюється внутрішніми секторами сільського господарства. Зокрема, солома активно використовується як кормова база у тваринництві, застосовується для термоізоляції кагатів, буртів та тваринницьких приміщень, а також є складником для виготовлення екологічних будівельних матеріалів [34, 39]. Крім того, значна

її частина слугує підстилковим матеріалом для худоби, де для формування однієї тонни якісного органічного добрива витрачається близько 250 кілограмів сухої соломи.

Сумарна кількість побічної продукції, яку можна вилучити без шкоди для внутрішніх потреб підприємств, розраховується на основі показників валового збору товарного зерна із залученням нормативних коефіцієнтів. Співвідношення між масою зерна та соломи не є константним і залежить від багатьох чинників, включаючи видові й сортові ознаки агрокультур, рівень урожайності, якість ґрунтів, гідрометеорологічні умови та застосовані системи живлення рослин. Для математичного моделювання обсягів твердої біомаси застосовують диференційовані коефіцієнти перерахунку основного врожаю у побічну продукцію. Для озимих зернових, зернобобових культур, кукурудзи та проса цей показник становить 1,2, тоді як для ярих зернових культур і гречки він дорівнює 1,0. У випадку ріпаку коефіцієнт досягає значення 3,0, а для цукрових буряків чи картоплі становить 0,5 та 0,2 відповідно.

Розрахунок загального виходу соломи (C) можна виконати за формулою:

$$C = B_1 K_1 + B_2 K_2 + B_3 K_3 + \dots + B_n K_n,$$

де B – валовий збір зерна або насіння різних культур; K – коефіцієнт перерахунку в соломі [33].

Варто наголосити, що процес прогнозування валових обсягів твердої біомаси суттєво ускладнюється наявністю динамічних чинників, які піддаються математичному моделюванню лише з певною похибкою. До таких детермінант відносять нестабільні гідрометеорологічні умови, глобальні кліматичні коливання та форс-мажорні природні явища, які безпосередньо впливають на вегетацію рослин. Тому при розрахунках критично важливо закладати коефіцієнти коригування для нівелювання зазначених ризиків. З екологічних міркувань обов'язковим є збереження природної родючості ґрунтового покриву, що вимагає заорювання не менше 20 % від загального обсягу утвореної соломи для відновлення гумусу.

2.2.2 Елементний склад сировини та його вплив на енергетичну конверсію

У широкому науковому розумінні біопаливо є гетерогенною біомасою, придатною для термічної чи хімічної конверсії з метою отримання різних

енергоносіїв (від біодизеля з ріпаку в сегменті рідких моторних палив до твердих пресованих матеріалів – гранул чи брикетів). Для цілей нашого дослідження найбільший інтерес становить саме тверда фракція побічних продуктів зернових відходів.

Елементний та хімічний склад соломи зернових культур характеризується наявністю ряду компонентів, які безпосередньо впливають на теплотехнічні параметри палива та деструктивно діють на технологічне обладнання. Усереднені базові показники хімічного складу рослинних залишків основних зернових культур систематизовано і наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Усереднені параметри елементного та хімічного складу соломи зернових культур

Параметр	Середнє значення	Відхилення від середнього $\pm$	Параметр, мг/кг	Середнє значення	Відхилення від середнього $\pm$
Зольність, %	5,6	1,7	Si	14791	6321
C, %	45,82	2,17	Ca	3105	1131
H, %	5,79	0,26	Mg	867	590
O, %	42,65	—	K	6603	4471
N, %	0,58	0,83	Na	547	78,6
S, мг/кг	981	419	Zn	23	2,5
Cl, мг/кг	3597	3945	Pb	0,8	0,7

Аналіз представлених даних свідчить, що компонентна структура соломи формується під впливом комплексу чинників, серед яких визначальними є сортові особливості культур, схеми внесення мінеральних добрив, специфіка агротехнологій та якість ґрунтового покриття. Висока концентрація таких елементів, як кремній, калій та хлор, виступає головним технологічним деструктором при спалюванні соломи. Ці хімічні елементи значно знижують температуру плавлення золи, що призводить до інтенсивного шлакування робочих поверхонь котла, утворення нагару та корозійного руйнування елементів нагріву котлоагрегатів. Крім того, присутність у складі сірки, хлору та важких металів (зокрема свинцю) створює додаткове екологічне навантаження і вимагає ретельного підбору газоочисного обладнання.

Одним із найбільш ефективних та економічно доцільних способів мінімізації вмісту цих шкідливих лужних і хлоридних сполук є природне або штучне вилуговування. Науковцями, на основі експериментальних досліджень

було встановлено тісний кореляційний зв'язок між рівнем вологонасичення біомаси та вимиванням баластних елементів. Експозиція соломи безпосередньо в польових умовах протягом певного часу після збирання врожаю під впливом атмосферних опадів дозволяє частково видалити агресивні хімічні компоненти зі структури рослини.

Проте цей процес супроводжується гідрофілізацією палива, що негативно позначається на його теплотворній здатності. Енергетичний еквівалент соломи при кондиційній вологості до 15 % є паритетним із деревиною і становить близько 14–16 МДж/кг. При зростанні вологості до 25 % цей показник суттєво падає до рівня 8–11 МДж/кг. Отже, межовий показник вологості для ефективного спалювання не повинен перевищувати 25 %. При цьому надмірна експозиція соломи у полі (понад 30 діб) є шкідливою через ризик біологічної деструкції органічної речовини. Тому тривалість витримування залишків на полі має гнучко адаптуватися до поточних погодних умов [34-38].

2.2.3 Екологічна оцінка та логістичне забезпечення використання соломи

З екологічної точки зору солома як паливний ресурс незначною мірою поступається природному газу, демонструє відносний паритет із деревною біомасою та суттєво переважає традиційне вугілля. Для порівняльного аналізу в табл. 2.7 наведено узагальнені показники питомих емісій забруднюючих речовин при спалюванні різних видів палива.

Таблиця 2.7 – Порівняльний аналіз емісії забруднюючих речовин в атмосферу при спалюванні різних видів палива

Викиди на 1 т палива, кг	Солома	Деревина	Вугілля	Газ
Діоксид сірки	0,05...0,1	0,05...0,1	8...10	—
Оксид азоту	8...10	8...10	50...60	25
Оксид вуглецю	15...20	15...20	50...70	220
Сажа	15...20	10...15	150...200	—

Дані табл. 2.7 показують, що термічна утилізація соломи супроводжується значно меншими обсягами виділення діоксиду сірки, оксидів азоту та дрібнодисперсної сажі порівняно з кам'яним вугіллям. Головна екологічна перевага залучення соломи до паливного балансу полягає в її повній вуглецевій

нейтральності. Обсяг емісії діоксиду вуглецю під час спалювання відповідає тій кількості вуглецю, яка була поглинута рослиною з атмосфери в процесі фотосинтезу під час вегетаційного періоду.

Додатковим екологічним і фінансовим плюсом є утворена зола, вміст якої в соломі становить від 3 % до 5 %. Оскільки цей попіл акумулює корисні макроелементи (калій, кальцій), його можна використовувати як мінеральне добриво для рециклінгу поживних речовин назад у ґрунт. Проте таке повторне використання обмежується жорсткими нормативами ЄС щодо концентрації важких металів. У разі виявлення підвищеного вмісту токсичних поліутантів, попіл перенаправляють для мінерального підживлення плантацій швидковідновлюваних непродуктованих енергетичних насаджень (верби чи тополі) [34].

Ефективність практичного використання соломи в біоенергетиці значною мірою залежить від обраної технології її заготівлі та транспортування. Вилучення соломи з полів може здійснюватися у розсипному, подрібненому або пресованому стані. Якщо для безпосереднього підживлення ґрунтів найкраще підходить подрібнення, то для енергетичного сектору найвищу техніко-економічну ефективність демонструє технологія пресування у великогабаритні тюки або циліндричні рулони [40]. Таке рішення суттєво підвищує насипну щільність сировини, оптимізує логістичні операції, знижує транспортні витрати та полегшує складське доопрацювання і тривале зберігання на біоенергетичних об'єктах, зокрема при виробництві твердого біопалива (паливних гранул чи брикетів).

2.3 Характеристика сировини та готової продукції

Зважаючи на регіональні особливості сировинної зони діяльності ТОВ «Золочів Інвест», структуру посівних площ партнерських господарств холдингу АТК, а також специфіку утворення супутніх біоресурсів, на сучасному етапі розвитку підприємства стратегічна увага менеджменту та інженерних служб сконцентрована виключно на використанні соломи зернових колосових культур. Цей вид біомаси розглядається як базовий, монопольний ресурс для забезпечення планової потужності проєкту з кількох причин, а саме через його масштабну локальну доступність, високий щорічний обсяг утворення в межах радіуса збору, а також можливість повної інтеграції процесів заготівлі соломи в існуючий виробничий цикл компанії. Відтак, вибір соломи як домінуючої

сировини обумовлює необхідність детального вивчення її фізико-хімічних, паливних та технологічних параметрів, що безпосередньо впливатимуть на вибір обладнання та техніко-економічні показники майбутнього цеху.

Водночас стратегічна програма розвитку біоенергетичного напрямку ТОВ «Золочів Інвест» не обмежується використанням лише одного виду біоресурсів. У середньостроковій перспективі, у міру стабілізації виробничих процесів цеху та оптимізації логістичних ланцюгів, підприємство планує поступово диверсифікувати сировинну базу шляхом залучення альтернативних видів фітомаси. Зокрема, як перспективний резервний та супутній ресурс розглядаються стрижні та початки кукурудзи, кошики і стебла соняшнику, а також солома сої та ріпаку, які мають високий енергетичний потенціал і масово утворюються після збирання пізніх культур. Окремим інноваційним вектором розширення сировинного забезпечення є можливість залучення міскантусу – багаторічної енергетичної культури, що здатна давати високі врожаї сухої біомаси на малопродуктивних землях сировинної зони холдингу. Такий комплексний підхід до формування сировинного балансу дозволить цеху функціонувати в умовах гнучкого мультиваріантного постачання, нівелювати ризики сезонного дефіциту соломи та оптимізувати якісні характеристики готового твердого біопалива завдяки блендуванню (змішуванню) різних видів рослинної сировини.

Солома зернових колосових культур. Завдяки потужному потенціалу вітчизняного агропромислового комплексу, де орні землі становлять близько 70 % загальної площі території України, вирощування та переробка зернових культур генерує значні обсяги супутньої біомаси, ключове місце серед якої належить солomé. З огляду на специфіку морфологічної будови зернових рослин та характерне співвідношення між масою зерна і стеблової частини, сучасні доступні резерви соломи в країні суттєво перевищують обсяги будь-яких інших видів фітосировини.

Попри колосальний ресурсний потенціал, солома зернових культур наразі залишається стратегічним, але недостатньо освоєним енергетичним резервом, оскільки її масштабне комерційне спалювання для отримання теплової та електричної енергії в Україні ще не набуло системного характеру. Зважаючи на обмежену ємність і слабку диверсифікацію внутрішнього ринку, більшість новостворених вітчизняних підприємств із гранулювання соломи орієнтують свої виробничі потужності переважно на експорт готових пелет до країн

Європейського Союзу.

Стимування широкого внутрішнього використання соломи як прямого палива обумовлене низкою технологічних та логістичних бар'єрів. До них належать висока вартість транспортування неконсолідованої біомаси, складність її стандартизації, а також суттєва нестабільність фізико-хімічних параметрів сировини (вологості, зольності, хімічного складу), що спостерігається навіть у межах суміжних адміністративних районів чи агрогосподарств. Усереднені показники хімічного складу соломи для найпоширеніших зернових колосових культур в Україні систематизовано й наведено у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Узагальнені показники елементного та хімічного складу соломи основних зернових колосових культур

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

Для оптимізації процесів логістики, складування та подальшої технологічної переробки соломиста біомаса піддається попередньому ущільненню за допомогою механізованих прес-підбирачів, які формують циліндричні рулони або прямокутні тюки. За біологічними та агротехнічними ознаками солому класифікують на озиму і яру, злакову та бобову, а за видовою приналежністю – на пшеничну, житню, ячмінну, лляну тощо. Якісна свіжа сировина злакових культур характеризується світлим відтінком, характерним блиском та високою пружністю стебел. Натомість біомаса, що піддавалася тривалому зберіганню в неоптимальних умовах, стає ламкою, схильною до інтенсивного пилоутворення та набуває специфічного пліснявого запаху.

Пряме спалювання необробленої соломи як первинного енергоресурсу супроводжується значними технологічними труднощами на етапах заготівлі,

транспортування, довгострокового зберігання та безпосередньої теплогенерації. Головними деструктивними чинниками є висока фізико-хімічна неоднорідність сировини, значна коливальна вологість, критично низька насипна (об'ємна) щільність, низька температура плавлення зольного залишку та підвищена концентрація хлору. Зокрема, надлишковий вміст хлору, характерний для соломи ячменю, вівса та ріпаку, ініціює процеси активної високотемпературної корозії металевих поверхонь нагріву котельного обладнання.

З екологічної точки зору солома, як і фітомаса загалом, належить до вуглецево-нейтральних видів палива із замкненим балансом емісії діоксиду вуглецю. Кількість CO_2 , що асимілюється рослиною з атмосфери в процесі вегетації, еквівалентна обсягу вуглекислого газу, який виділяється під час її термічної деструкції. Попри це, у хімічній структурі соломи присутні небажані макроеlementи, такі як азот, калій та хлор. Підвищена концентрація азоту стимулює утворення шкідливих оксидів азоту (NO_2) у димових газах, тоді як сполуки хлору та лужних металів викликають інтенсивну корозію та шлакування високотемпературних поверхонь теплообмінних апаратів [35-38, 41].

Стебла і стрижні кукурудзи. Динаміка розвитку вітчизняного агровиробництва свідчить про стабільне розширення посівних площ під кукурудзою, яка наразі впевнено входить до трійки провідних сільськогосподарських культур України, поступаючись лише традиційним зерновим колосовим та соняшнику. Середньорічні темпи приросту площ вирощування цієї культури становлять близько 10–15 %, що автоматично формує масштабну сировинну базу побічних продуктів та відходів її переробки, придатних для використання у сфері альтернативної енергетики.

Попри значні валові обсяги утворення, рослинні залишки кукурудзи (стебла, листя, стрижні качанів) досі не знайшли широкого практичного застосування як комерційне паливо. Основними стримуючими чинниками є недосконалість існуючих технологічних схем механізованого збору неконсолідованих залишків безпосередньо з полів, а також відносно низький рівень інтеграції аграрної біомаси в загальний енергетичний баланс країни. Водночас за своїми теплотехнічними та експлуатаційними характеристиками кукурудзяна біомаса не лише не поступається іншим видам фітосировини, а й часто перевищує їх за показниками початкової вологості та питомої теплотворної здатності.

Проте процес термічної утилізації та гранулювання відходів кукурудзи має свою специфіку, зумовлену її морфологічною будовою. Порівняно із соломою колосових злаків, стебла кукурудзи мають значно щільнішу, грубоволокнисту структуру та масивну серцевину. Це створює додаткове навантаження на обладнання для подрібнення на етапі підготовки сировини, а під час безпосереднього спалювання може призводити до ускладнень, пов'язаних із тривалим допалюванням щільних коксових залишків. Крім того, організація топкового процесу вимагає врахування фактору підвищеного шлакоутворення та необхідності проєктування ефективних систем автоматизованого золовидалення, що обумовлено специфікою мінерального складу даної біомаси (табл. 2.9) [41].

Таблиця 2.9 – Характеристика елементного складу та зольності 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

Стебла та кошики соняшнику. Соняшник є домінуючою олійною культурою в структурі вітчизняного агровиробництва, а обсяги його вирощування та переробки традиційно забезпечують Україні лідерські позиції на світовому ринку. Організація збору та утилізації побічних продуктів соняшнику – стебел та кошиків, які залишаються на полях після проходження збиральних комбайнів, відкриває суттєві перспективи для диверсифікації сировинного забезпечення.

Енергетичний аналіз показує, що за показниками нижчої теплоти згоряння суха біомаса соняшнику є високоефективним паливним ресурсом, який за певних умов наближається до характеристик деревної сировини. Проте фізико-

хімічні властивості різних морфологічних частин цієї рослини мають суттєві відмінності, що безпосередньо впливає на технологію їх підготовки та гранулювання:

- стебла (ножки) соняшнику мають здерев'янілу, жорстку зовнішню оболонку та пористу внутрішню структуру. Вони характеризуються відносно низькою природною зольністю, але вимагають значних механічних зусиль для подрібнення до гомогенного стану (фракції, придатної для пресування). Крім того, збір стебел з поля пов'язаний із ризиком стороннього засмічення (піском, ґрунтом), що може штучно підвищувати абразивний знос робочих органів дробарок та матриць гранулятора;

- кошики (шляпки) соняшнику є більш пухкими та гігроскопічними. Головною технологічною проблемою при їх використанні є висока початкова вологість на момент збору, яка в умовах осіннього періоду може сягати 50–60 %. Це зумовлює необхідність проектування додаткових потужностей для інтенсивного сушіння сировини перед подрібненням, що дещо збільшує енергоємність загального процесу. Водночас висушені кошики соняшнику легко піддаються деструкції та пресуванню, виступаючи чудовим зв'язуючим компонентом (агломератором) при створенні паливних блендів.

З погляду топкових процесів, спалювання твердого біопалива з соняшnikової біомаси вимагає особливого контролю за температурним режимом у зоні горіння. Це пов'язано з високим вмістом у попелі сполук калію та натрію, які знижують температуру плавлення золи, провокуючи її спікання та утворення шлакового нальоту на колосникових решітках і внутрішніх стінках теплообмінників. Типові параметри компонентного складу та паливної цінності різних структурних частин соняшнику наведено у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Фізико-хімічні та теплотехнічні характеристики побічної продукції соняшнику

Найменування показників та одиниці виміру	Стебла соняшнику	Кошики соняшнику
1	2	3
Середня збиральна (робоча) вологість, W^r , %	18,0 – 28,0	45,0 – 60,0
Зольність на абсолютно суху масу, A^d , %	4,0 – 5,5	8,0 – 11,0
Вихід летких речовин на горючу масу, V^{daf} , %	75,0 – 79,0	72,0 – 76,0
Вміст вуглецю в горючій масі, C^{daf} , %	47,5	44,8
Вміст водню в горючій масі, H^{daf} , %	5,8	5,5

Продовження табл. 2.10

1	2	3
Вміст кисню в горючій масі, O^{daf} , %	40,2	42,1
Вміст азоту в горючій масі, N^{daf} , %	0,7	1,2
Вміст калію (K_2O) в зольному залишку, %	32,0 – 38,0	40,0 – 48,0
Нижча теплота згоряння сухої маси, $Q_{i,}^d$, МДж/кг	16,8 – 17,4	15,5 – 16,2
Насипна щільність у подрібненому стані, кг/м ³	70 – 90	100 – 120

Згідно з наведеними у табл. 2.10 даними, кошики соняшнику потребують значних витрат теплової енергії на попереднє сушіння через критично високу початкову вологість. Крім того, високий вміст оксиду калію в обох фракціях соняшнику підтверджує схильність попелу до низькотемпературного спікання, що необхідно враховувати при виборі конструкції пальних пристроїв та розрахунку теплових режимів обладнання цеху з виробництва твердого біопалива [41, 42].

Солома ріпаку та сої. Ріпак та соя займають стратегічні позиції у структурі вітчизняного клину олійних і зернобобових культур, формуючи вагомий експортний та переробний потенціал агропромислового комплексу України. Систематичний збір та енергетична утилізація побічної продукції цих культур – соломи ріпаку та сої, яка залишається на полях після завершення жнив, – розглядається як перспективний напрям розширення внутрішнього ринку аграрної біомаси.

Результати енергетичного аналізу свідчать, що за показниками нижчої теплоти згоряння суха речовина соломи обох культур володіє високою паливною цінністю. Водночас їхні морфологічні, фізико-хімічні та теплотехнічні властивості суттєво відрізняються, що висуває специфічні вимоги до процесів логістики, підготовки та термічної переробки:

Солома ріпаку характеризується високою механічною міцністю завдяки масивній, розвиненій стебловій системі з високим ступенем здерев'яніння. Пріоритетною технологічною проблемою при її підготовці до гранулювання є значна енергоємність процесів грубого та дрібного подрібнення. Разом з тим, ріпакова солома відзначається помірною зольністю та відносно низькою гігроскопічністю у зрілому стані. Тріски та січка з ріпаку мають гарну сипкість, проте через пружність волокон для отримання якісних паливних пелет без сполучних добавок вимагається дотримання підвищеного тиску пресування та контролю вологості сировини перед гранулюванням (оптимально 10–12 %).

Солома сої за своєю структурою є менш однорідною та містить значну кількість дрібних фракцій (обрушених стручків, залишків листя, бобів). Головною особливістю соєвої соломи є підвищена початкова зольність, яка часто зумовлена специфікою низького зрізу культури під час збирання, що призводить до інтенсивного інтегрування мінерального (грунтового) пилу в загальну масу. Сухі соєві залишки порівняно легко піддаються деструкції та подрібненню. Однак через специфічний амінокислотний склад білкових залишків культур сої, під час пресування може спостерігатися підвищене виділення специфічних летких сполук, що вимагає ефективної вентиляції пресової ділянки.

З погляду організації топкових процесів, спалювання обох видів біомаси супроводжується ризиками, притаманними більшості видів трав'янистого палива. Зокрема, висока концентрація лужних металів (переважно сполук калію) у зольному залишку соломи ріпаку та сої обумовлює низьку температуру деформації та плавлення попелу. Це спричиняє зашлаковування поверхонь нагріву котельних агрегатів за умов перевищення критичної температури в шарі горіння (понад 850–900 °C). Типові параметри компонентного складу та паливної характеристики соломи ріпаку та сої наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Фізико-хімічні та теплотехнічні характеристики соломи ріпаку та сої

Найменування показників та одиниці виміру	Солома ріпаку	Солома сої
Середня збиральна (робоча) вологість, W^r , %	14,0 – 22,0	12,0 – 18,0
Зольність на абсолютно суху масу, A^d , %	4,5 – 6,5	5,5 – 7,5
Вихід летких речовин на горючу масу, V^{daf} , %	76,0 – 80,0	74,0 – 78,0
Вміст вуглецю в горючій масі, C^{daf} , %	47,2	46,5
Вміст водню в горючій масі, H^{daf} , %	5,9	5,7
Вміст кисню в горючій масі, O^{daf} , %	40,3	41,2
Вміст азоту в горючій масі, N^{daf} , %	0,6	1,1
Вміст калію (K_2O) в зольному залишку, %	24,0 – 32,0	28,0 – 36,0
Нижча теплота згоряння сухої маси, Q_i^d , МДж/кг	16,5 – 17,2	16,1 – 16,8
Насипна щільність у подрібненому стані, кг/м ³	60 – 80	75 – 95

Аналіз даних, наведених у табл. 2.11, свідчить, що солома ріпаку та сої за своїм енергетичним еквівалентом є повноцінним замінником традиційних видів палива. Водночас параметри хімічного складу золи (зокрема, суттєва частка оксиду калію) вказують на високу схильність попелу до спікання. Зазначений

фактор є визначальним при розрахунку геометрії топкових пристроїв, виборі рухомих колосникових решіток та проєктуванні систем автоматичного золовидалення для котельних установок [43].

Міскантус. Перспективним напрямом забезпечення стабільної сировинної бази для виробництва твердого біопалива є використання фітомаси міскантусу (*Miscanthus × giganteus*) – багаторічної злакової рослини, яка належить до енергетичних культур другого покоління. На відміну від традиційних видів аграрної біомаси, таких як солома зернових культур або залишки соняшнику, обсяги яких залежать від структури посівних площ та врожайності сільськогосподарських культур, міскантус забезпечує стабільне отримання біомаси протягом 20–25 років без необхідності щорічного пересівання.

Важливою перевагою цієї культури є можливість її вирощування на малопродуктивних, деградованих та малопридатних для сільськогосподарського використання землях, що виключає конкуренцію з продовольчими культурами за орні площі. Завдяки високій урожайності сухої біомаси та невибагливості до умов вирощування міскантус розглядається як один із найбільш перспективних видів сировини для виробництва твердих біопалив в Україні.

З технологічної точки зору міскантус характеризується високим вмістом целюлози (40–45 %) та лігніну (17–20 %). Підвищений вміст лігніну позитивно впливає на процес гранулювання та брикетування, оскільки за високих температур він виконує роль природного зв'язуючого компонента. Це забезпечує формування міцних гранул і брикетів без застосування додаткових хімічних добавок.

Суттєвою перевагою міскантусу є низька вологість під час весняного збору врожаю. У результаті природного висихання рослин на корені протягом осінньо-зимового періоду вологість біомаси на момент збирання становить лише 15–20 %, що значно знижує витрати енергії на її досушування перед переробкою.

Порівняно із соломою зернових культур міскантус характеризується низькою зольністю (1,5–2,5 %). Протягом зимового періоду значна частина мінеральних речовин, зокрема калію, хлору та азоту, повертається до кореневої системи рослини. Завдяки цьому отримана біомаса має високі паливні характеристики, підвищену температуру плавлення золи та меншу схильність до шлакування під час спалювання.

За показниками теплоти згоряння міскантус наближається до деревної біомаси. Нижча теплота згоряння сухої маси становить 17,8–18,4 МДж/кг, що

забезпечує високу енергетичну ефективність його використання як твердого біопалива. Основним технологічним недоліком є підвищена жорсткість стебел, що потребує використання ефективного подрібнювального обладнання на етапі підготовки сировини. Основні фізико-хімічні та теплотехнічні характеристики біомаси міскантусу наведено в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Фізико-хімічні та теплотехнічні показники біомаси енергетичного міскантусу

Найменування показника	Значення
Робоча вологість при весняному зборі, W_r , %	15,0–20,0
Зольність на абсолютно суху масу, A^d , %	1,5–2,5
Вихід летких речовин на горючу масу, V^{daf} , %	81,0–84,5
Вміст вуглецю, C^{daf} , %	48,2
Вміст водню, H^{daf} , %	6,1
Вміст кисню, O^{daf} , %	43,4
Вміст азоту, N^{daf} , %	0,25
Вміст сірки, S^{daf} , %	0,05
Вміст хлору, Cl^d , %	0,05–0,08
Вища теплота згоряння сухої маси, Q^{sd} , МДж/кг	19,2
Нижча теплота згоряння сухої маси, Q^{id} , МДж/кг	17,8–18,4
Температура початку деформації золи, t_a , °C	1180–1220

Отже, використання міскантусу як додаткового джерела сировини дозволяє забезпечити стабільне виробництво високоякісного твердого біопалива з низькою зольністю та високою теплотою згоряння. Це сприяє підвищенню ефективності роботи підприємства та розширює можливості реалізації продукції на внутрішньому й зовнішньому ринках [44, 45].

Комплексна фізико-хімічна та теплотехнічна оцінка якісних параметрів готової продукції (твердого біопалива)

Визначення параметрів якості готової продукції (паливних гранул і брикетів) є ключовим етапом техніко-економічного обґрунтування, оскільки саме відповідність палива міжнародним та вітчизняним стандартам визначає його ринкову вартість, вектор збуту (внутрішній або експортний ринки) та кінцевого споживача.

Паливні гранули високої якості (преміум-класу) орієнтовані на комунально-побутовий сектор і застосовуються для опалення житлових будинків шляхом спалювання в автоматизованих котлах низької потужності, печах та

камінах. Такі пелети мають стандартизований діаметр 6–8 мм, довжину до 50 мм і постачаються європейським споживачам у герметичному фасуванні вагою по 16–20 кг. Натомість паливні брикети мають ширшу геометрію (їхня довжина зазвичай становить п'ятикратне значення діаметра), не потребують спеціальних шнекових систем подачі і є безпосередньою альтернативою традиційним кусковим дровам як у побутовому, так і в промисловому секторах.

У процесі термомеханічного пресування агробіомаси категорично заборонено використання сторонніх синтетичних зв'язуючих матеріалів (хімічних клеїв, смол, полімерів). При дотриманні технологічного регламенту фізико-геометричні характеристики пелет повністю визначаються параметрами пресувального обладнання (матриць), тоді як їхні хімічні та колориметричні властивості залежать виключно від вихідної рослинної сировини. Візуальний колір гранул відбиває походження біомаси та особливості її термічної обробки:

- світло-жовтий або паливий колір притаманний пелетам із чистої злакової соломи;
- насичений чорний колір свідчить про використання лушпиння соняшнику;
- темно-коричневий колір характерний для гранул із лузги гречки або стеблових залишків пізніх зернових культур.

Слід підкреслити, що колір, як і природний запах гранул (за відсутності сторонніх хімічних чи гнильних домішок), не є прямим критерієм сертифікації якості. Основними критеріями виступають теплотехнічні та механічні параметри. Органолептичним індикатором щільності є поведінка гранул у рідкому середовищі: якісні пелети завжди тонуть у воді, оскільки їхня питома щільність перевищує 1 кг/дм³.

На основі аналізу нормативної бази та науково-технічної літератури [46–52] встановлено, що найбільш важливими параметрами, які всебічно характеризують якість агропелет та підлягають постійному моніторингу в умовах виробництва, є: розміри, теплотворна здатність, зольність, вміст вологи, питома й насипна щільність, а також концентрація шкідливих хімічних елементів.

Геометричні розміри та фракційний склад. Для паливних гранул діють значно жорсткіші вимоги до геометричних розмірів, ніж для брикетів. Це пов'язано з експлуатаційними особливостями паливних котлів, оснащених автоматизованими системами подачі (гвинтовими шнеками, скребковими

транспортерами). Відхилення від діаметра (понад 6–8 мм) або довжини (понад 50 мм) може призвести до заклинювання рухомих елементів паливоподачі та зупинки теплогенератора.

Теплота згоряння (теплотворність). Кількість теплової енергії, що виділяється при повному термічному розкладі 1 кг палива, є головним чинником формування його ринкової ціни. В інженерних розрахунках розрізняють вищу та нижчу теплоту згоряння:

- вища теплота згоряння враховує загальну кількість тепла, виділену при згоранні сухої речовини, включно з прихованою теплотою пароутворення (конденсації) води, що утворилася з водою палива;
- нижча теплота згоряння відбиває реальну кількість корисного тепла без урахування енергії, витраченої на випаровування внутрішньої та робочої води.

Лабораторне вимірювання цього показника здійснюється за допомогою калориметричної бомби. Стандартизована нижча теплота згоряння для якісних агропелет перебуває в межах 16,5–18,5 МДж/кг залежно від типу соломи чи суміші рослинних компонентів.

Зольність та характеристики попелу. Зольністю називають відсотковий вміст мінеральних речовин, що залишаються після повного вигорання горючої маси палива (розраховується на суху масу). Для аграрної біомаси зольність є критично важливим і небажаним параметром. Якщо для деревних пелет вищих класів європейські стандарти вимагають зольність менше 0,7–1,0 %, то для агропелет (із соломи та стебел кукурудзи чи соняшнику) цей показник є вищим і зазвичай становить 3,0–7,5 %. У промислових котлах з автоматизованим золовидаленням підвищена зольність не є критичним бар'єром, проте вона суттєво ускладнює експлуатацію побутових теплогенераторів, вимагаючи регулярного чищення зольників та контролю спікання попелу.

Масова частка води. Вологість біомаси безпосередньо впливає на її калорійність та механічну стабільність. В аналітичній практиці виділяють абсолютну вологість (відношення маси води до маси сухої речовини) та відносну (робочу) вологість (відношення маси води до маси вологого палива). Низький вміст робочої води в готових гранулах (на рівні 8–10 %) забезпечує стабільність топкового процесу. Якщо ж вологість готової продукції перевищує 14 %, інтенсивне внутрішнє випаровування води призводить до руйнування зв'язків лігніну, утворення мікротріщин, різкого зниження механічної міцності

пелет та їх подальшого саморуйнування (утворення дрібної дракції, пилу) під час транспортування.

Питома та насипна щільність. Питома щільність якісного твердого біопалива з агровідходів коливається в межах від 1,0 до 1,4 кг/дм³. Натомість насипна щільність відбиває відношення маси гранул до об'єму, який вони займають з урахуванням простору між гранулами. Процес гранулювання дозволяє кардинально вирішити логістичну проблему соломи, а саме насипна щільність сировини збільшується з початкових 40–100 кг/м³ (у розсипному або подрібненому стані) до 600–650 кг/м³ у вигляді готових пелет. Щільність виступає базовим детермінантом механічної міцності та калорійності, тобто чим вища щільність пресування, тим менше пор містить гранула, що захищає її від поглинання вологи з повітря та забезпечує вищу питому енергемісткість палива.

Вміст шкідливих елементів (хлору, азоту, сірки) та використання добавок. Вміст мікроелементів у паливі визначає екологічні та експлуатаційні показники топкових систем цеху:

- хлор в агробіомасі (особливо в соломі ячменю та ріпаку) вміст хлору значно вищий, ніж у деревині. Перевищення його нормативних значень у димових газах викликає інтенсивну високотемпературну корозію сталевих елементів котлів та теплообмінників;

- підвищений вміст азоту (особливо у соломі сої та інших бобових культур) безпосередньо стимулює утворення токсичних оксидів азоту при спалюванні, що погіршує екологічні показники викидів цеху;

- наявність сірки у паливі призводить до утворення діоксиду сірки, який при взаємодії з водяною парою димових газів утворює агресивні кислотні сполуки, що руйнують металеві поверхні димоходів. Низький вміст цих елементів свідчить про екологічну чистоту сировинної бази.

Проведений аналіз показує, що процес виробництва твердого біопалива з сільськогосподарських відходів потребує безперервного та оперативного контролю параметрів готової продукції. Оскільки вхідна агросировина характеризується високою природною неоднорідністю та флуктуацією властивостей залежно від умов збирання, саме автоматизація контролю вологості, щільності та фракційного складу на лініях проєктованого цеху дозволить забезпечити стабільну якість пелет, мінімізувати ризики шлакування та корозії обладнання, а також гарантувати високу комерційну привабливість інвестиційного проєкту [46–53].

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.

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, 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 [54-59].

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. 2.13, 2.14 [53-59].

Таблиця 2.13 – Деякі європейські стандарти якості на паливні гранули (пелети)

Показники	DIN 51731 Німечч ина	ONOR M M 7135 Австрія	DIN plus Німечч- чина	SS 187120 Швеція		
				1 група	2 група	3 група
1	2	3	4	5	6	7
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

Продовження табл. 2.13

1	2	3	4	5	6	7
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 2.14 – Деякі європейські стандарти якості на паливні брикети

Показники	ONORM7135		SS18 71 21			SS18 71 21				
	брикети із деревини	брикети із кори	група 1	група 2	група 3	5 класів за розміром				
1	2	3	4	5	6	7				
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 діаметра, max 300	min 10, max 100	–	>300	150 - 300	100 - 150	<100	<50
Об'ємна маса, кг/м ³ , не менше	–	–	550,0	450,0	450,0	–				
Вміст пилю, %, 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				

Продовження табл. 2.14

1	2	3	4	5	6	7
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. 2.15) [60, 61].

Таблиця 2.15 – 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 більше	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. Основні частини стандарту ISO 17225:

ISO 17225-1 – загальні вимоги та класифікація твердого біопалива;

ISO 17225-2 – деревні пелети;

ISO 17225-3 – деревні брикети;

ISO 17225-4 – деревна тріска;

ISO 17225-5 – дрова;

ISO 17225-6 – недеревні пелети;

ISO 17225-7 – недеревні брикети;

ISO 17225-8 – термічно оброблена ущільнена біомаса (торрефіковані пелети та брикети);

ISO 17225-9 – тріска та «hog fuel» для промислового використання.

Якість паливних гранул із пшеничної соломи регламентується міжнародним стандартом ISO 17225-6 «Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 6: Graded non-woody pellets» («Тверде біопаливо. Класи та технічні характеристики. Частина 6: Недеревні пелети»). Даний стандарт встановлює класифікацію та технічні характеристики недеревних паливних гранул, до яких належать гранули, виготовлені із сільськогосподарської біомаси, зокрема пшеничної соломи.

Для забезпечення належної якості продукції стандарт ISO 17225-6 встановлює вимоги до фізико-механічних та хімічних показників гранул. До основних показників якості належать вологість, зольність, теплота згоряння, механічна міцність, насипна щільність, а також вміст азоту, сірки та хлору. Вологість гранул зазвичай не повинна перевищувати 10–12 %, оскільки надлишковий вміст води знижує теплотворну здатність палива та погіршує умови його зберігання. Зольність пелет із пшеничної соломи становить у середньому від 4 до 8 %, що є вищим показником порівняно з деревними гранулами. Нижча теплота згоряння знаходиться в межах 14,5–16,5 МДж/кг.

Механічна міцність гранул повинна становити не менше 96 – 97,5 %, що забезпечує стійкість продукції до руйнування під час транспортування та зберігання. Вміст дрібної фракції не повинен перевищувати 2 – 3 %. Важливими показниками також є вміст азоту, сірки та хлору, які впливають на утворення шкідливих викидів і корозійні процеси в теплотехнічному обладнанні. Для пелет із пшеничної соломи вміст азоту зазвичай становить до 1,0 %, сірки – до 0,2 %, а хлору – до 0,3 % (табл. 2.16).

Таблиця 2.16 – Основні показники якості паливних гранул із пшеничної соломи відповідно до ISO 17225-6

Показник	Значення
Діаметр гранул, мм	6–10
Вологість, %, не більше	10–12
Зольність, %	4–8
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	14,5–16,5
Механічна міцність, %, не менше	96–97,5
Вміст дрібної фракції, %, не більше	2–3
Вміст азоту, %, не більше	1,0
Вміст сірки, %, не більше	0,2
Вміст хлору, %, не більше	0,3

Таким чином, дотримання вимог стандарту ISO 17225-6 дозволяє забезпечити стабільну якість паливних гранул із пшеничної соломи, підвищити ефективність їх використання та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище [61, 62].

Так як основна частка виробленого твердого біопалива в Україні 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 [53-59].

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 [53-59, 61].

На сучасному етапі розвитку галузі відбулася повна глобалізація нормативних вимог. Тимчасові специфікації CEN/TS та більшість локальних європейських стандартів були скасовані та замінені єдиною міжнародною серією стандартів EN ISO 17225 («Тверде біопаливо. Технічні характеристики та класи палива»).

Національний орган стандартизації України (ДП «УкрНДНЦ») повністю гармонізував ці міжнародні вимоги, ухваливши відповідні національні стандарти:

1. ДСТУ EN ISO 17225-1:2022 – встановлює загальні технічні вимоги до всіх видів твердого біопалива.

2. ДСТУ EN ISO 17225-2:2022 – регламентує чіткі класи якості деревних паливних гранул для побутового та промислового секторів (згідно з європейською комерційною системою сертифікації ENplus®: класи A1, A2, B).

3. ДСТУ EN ISO 17225-3:2022 – визначає класифікацію та технічні характеристики деревних брикетів.

Сучасний стан ринку, попри високий попит на біопаливо, виключає можливість безсистемного виробництва. Суворі диференціація споживчого обладнання (особливо автоматизованих побутових котлів) вимагає від українських виробників жорсткого дотримання параметрів якості, визначених чинними ДСТУ EN ISO.

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 згоряння усієї горючої речовини. Зола є небажаною 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 згоряння 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 води у біомасі. Тут розрізняють абсолютну та відносну вологість біомаси. Абсолютна вологість визначається як відношення маси води 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 [53-59, 61].

На основі проведеного комплексного аналізу нормативно-правової бази та науково-технічної літератури у сфері стандартизації і визначення якісних параметрів твердого біопалива з біомаси та агровідходів можна зробити кілька узагальнень. Ринок твердого біопалива пройшов тривалий шлях еволюції від

локального регулювання окремими країнами-імпортерами, серед яких ключову роль відігравали австрійські та німецькі стандарти, до повної глобалізації вимог. На сучасному етапі базовим регуляторним інструментом є міжнародна серія стандартів EN ISO 17225, яка повністю гармонізована в Україні у вигляді чинних національних стандартів ДСТУ. Це повністю спростовує застарілі твердження про відсутність вітчизняної нормативної бази та зобов'язує виробників випускати строго сертифіковану продукцію під конкретні класи споживчого обладнання.

Дослідження властивостей сільськогосподарської біомаси, зокрема пшеничної соломи, показало її суттєву фізико-хімічну специфіку порівняно з традиційною деревиною. Паливні гранули та брикети з агровідходів характеризуються підвищеною природною зольністю, дещо нижчою середньою теплотою згоряння, а також критично вищим вмістом баластних і корозійно-активних хімічних елементів, до яких належать сірка, хлор та азот.

Обґрунтовано взаємозв'язок між фізико-механічними характеристиками готового палива та стабільністю експлуатації теплогенеруючих установок. Вологість сировини понад 14 % чинить деструктивний вплив на готову продукцію, оскільки інтенсивне пароутворення руйнує природні лігнінові зв'язки, знижує механічну міцність гранул та викликає їх саморуйнування і пилоутворення під час логістичних операцій. Також доведено безпосередній зв'язок щільності пресування з калорійністю палива, де підвищення щільності гранул забезпечує пропорційне зростання їх питомої енергомісткості.

Оскільки вхідна сільськогосподарська сировина характеризується високою природною неоднорідністю та флуктуацією фізико-хімічних властивостей залежно від умов збирання та сезону, ручний контроль є неефективним. Забезпечення стабільної якості агропелет, мінімізація ризиків високотемпературної корозії сталевих поверхонь котлів через надлишок хлору, запобігання шлакуванню колосників та підвищення комерційної привабливості проекту вимагають обов'язкового впровадження систем безперервного автоматизованого контролю ключових параметрів вологості, щільності та фракційного складу безпосередньо на технологічних лініях.

2.4 Аналіз і обґрунтування схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива з технічними пропозиціями

Технологічний процес виробництва твердого біопалива організовано на наступних технологічних лініях:

- лінії підготовки сировини (соломи);
- лінії гранулювання;
- лінія відвантаження готової продукції [20, 27, 46, 63].

Лінія підготовки сировини (соломи)

Сировина (солома у тюках), зі складу зберігання сировини, подається за допомогою підвісної монорейкової системи (кран-балки з автоматичним захватом) фірми ТОВ «Підприємство Струмопідводу та Електроприводу» (Україна) марки КМАТ 3,0-10,5 ПС та стрічкових транспортерів фірми Industryprof (Латвія) марки IP-25170-10 №1 (30 т/год) і IP-25171-а №2 (30 т/год) (вручну знімається соломов'язальний шпагат) у виробничий корпус. За допомогою стрічкового транспортеру під нахилом фірми Industryprof (Латвія) марки SF 01-00-а №3 (30 т/год) солома подається у ножовий подрібнювач тюків соломи фірми BVL (Німеччина) марки V-mix FixPlus (8 т/год), де солома подрібнюється до 15...20 мм. Після першого етапу подрібнення солома при вивантаженні проходить через камене-магнітоуловлювачі фірми Industry Prof (Латвія) марки SEP 01-00-а (3 т/год), для видалення крупних шкідливих домішок. Далі за допомогою пневмотранспорту солома подається на доподрібнення у молоткову дробарку фірми Jensen Gelting (Німеччина) марки НМ 1300-1000 (8 т/год). У молотковій дробарці встановлено сито діаметром 8 мм і подрібнюється солома до фракції 6...8 мм. Далі за допомогою пневмотранспорту подрібнена до необхідної крупності солома за допомогою циклону СК-1600 перевантажується в оперативний накопичувальний бункер №1. Так як подрібнена солома за фізичними властивостями є легкооб'ємною і важкосипкою сировиною, то дно бункеру обладнано системою «гідравлічний пол». У комплекті встановлено конвейєр фірми Industry Prof (Латвія) марки VBD-350 №4 (45 т/год) за допомогою якого іде вивантаження сировини з накопичувального оперативного бункера №1.

Далі сировина за допомогою Z-подібного транспортеру фірми Industry Prof (Латвія) марки KSK 800-00-0 №5 (45 т/год), включаючи заворот дрібної фракції з фільтру фірми Industry Prof (Латвія) марки MPP в оперативний бункер №2 за допомогою конвеєрів фірми Industry Prof (Латвія) марки SC 1-11-2522 №6 (1 т/год), SC 1-13-2527 №7 (1 т/год), надходить на гранулювання в оперативний бункер №3. На фільтр марки MPP знаходить дрібна фракція з циклону марки

СК-1600 (2 %), з просіювальної машини марки CRYLOC-47-31 (5 %) та з охолоджувальної колонки марки VK 24x24 KL-P (3 %).

Лінія гранулювання

З оперативного бункера №3 підготовлена сировина за допомогою живильника марки SCS-2-2-2525 №8 фірми Industry Prof (Латвія) марки надходить у кондиціонер фірми Jensen Gelting (Німеччина) марки KD 450-1800 (8 т/год), який оснащено системою перемішування сировини і її зволоження. Далі зволожена і розігріта сировина надходить на гранулювання у прес-гранулятор фірми Salmatec (Німеччина) марки Salmatec Maxima 900 (8 т/год). Гарячі гранули за допомогою транспортеру КТА-350-00-0а №9 (10 т/год) фірми Industry Prof (Латвія) марки і норії фірми Industry Prof (Латвія) марки EL 2-7 №1 (10 т/год) подаються в охолоджувальну колонку фірми Geelen Counterflow (Німеччина) марки VK 24x24 KL-P (8 т/год), де охолоджуються гранули 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.

Лінія відвантаження готової продукції

Охолоджені гранули за допомогою транспортеру марки КТА-350 №10, фірми Industry Prof (Латвія) марки і норії фірми Industry Prof (Латвія) марки EL 2-12 №2 (10 т/год) надходять в оперативну силосну ємність №4 для короткочасного зберігання і відвантаження. Безпосередньо перед відвантаженням готових гранул на автотранспорт їх подають на просіювальну машину фірми Ottevanger (Нідерланди) марки CRYLOC-47-31 (6 т/год). Дрібну фракцію за допомогою транспортеру марки DCC IP-2520 № 11 (5 т/год) фірми Industry Prof (Латвія) накопичують у біг-бегах, які наповнюються в установці FIBC і повертають на лінію гранулювання.

2.5 Розрахунок обладнання приймально-відпускних пристроїв

Для забезпечення виробничого процесу на підприємстві для приймання і складування тюкової соломи передбачена робота крану мостового спеціального – підвісної монорейкової системи (кран-балки з автоматичним

захватом) фірми ТОВ «Підприємство Струмopідводу та Електроприводу» (Україна) марки КМАТ 3,0-10,5 ПС.

Вихідними даними для розрахунку є маса одного тюка соломи, яка становить 460–480 кг. Для проведення розрахунків приймаємо середню масу тюка:

$$m_T = \frac{460 + 480}{2} = 470 \text{ кг} = 0,47 \text{ (т)}$$

Продуктивність крана становить 1 т/хв. Кількість тюків, які може перевантажити кран за одну хвилину, визначається за формулою, тюків/хв:

$$n = \frac{Q}{m_T}, \quad (2.5.1)$$

де Q – продуктивність крана, т/хв,

m_T – маса одного тюка, т.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$n = \frac{1}{0,47} = 2,13 \text{ (тюка/хв)}$$

Отже, кран здатний перевантажувати приблизно два тюки соломи за одну хвилину.

Час перевантаження одного тюка визначається за формулою, хв:

$$t = \frac{m_T}{Q}, \quad (2.5.2)$$

Після підстановки значень маємо:

$$t = \frac{0,47}{1} = 0,47 \text{ (хв)}$$

Переведемо отримане значення в секунди:

$$t = 0,47 \times 60 = 28,2 \text{ (с)}$$

Таким чином, на переміщення одного тюка соломи витрачається приблизно 28 секунд.

Годинна продуктивність крана становить:

$$Q_{\text{год}} = Q \times 60 = 1 \times 60 = 60 \text{ (т/год)}$$

Кількість тюків, що можуть бути перевантажені протягом години, визначається за формулою, тюків/год:

$$n_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{год}}}{m_T}, \quad (2.5.3)$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$n_{\text{год}} = \frac{60}{0,47} = 127,7 \approx 128 \text{ (тюків/год)}$$

Отже, мостовий кран КМАТ 3,0-10,5 ПС забезпечує переміщення до 60 т соломки за годину, що відповідає приблизно 128 тюкам середньою масою 470 кг.

Вихідні дані:

- 1) продуктивність цеху по виробництву твердого біопалива – 120 т/добу;
- 2) приймання сировини з автомобільного транспорту – 100 %;
- 3) відвантаження готової продукції на автомобільний транспорт – 100 %;
- 4) піриодичність роботи – 2 зміни тривалістю по 12 год.

Для розвантаження сировини, розраховуємо продуктивність обладнання приймального пристрою із автомобільного транспорту, т/добу [64].

$$G_{\text{пр}} = \frac{Q_z \times a \times A_n \times K_d}{100 \times 100} \quad (2.5.4)$$

де, Q_z – продуктивність заводу, т/добу;

a – опосереднені витрати сировини, %;

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

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

Для виробництва твердого біопалива на підприємстві у якості сировини передбачено використання у якості сировини соломку зернових колосових, а саме, на перших етапах запуску виробництва, соломку пшеничну.

Добове надходження сировини:

$$G_{\text{пр.с.а/т}} = \frac{120 \times 100 \times 100 \times 1,45}{100 \times 100} = 174 \text{ (т/добу)}$$

На підприємстві встановлено автомобільні ваги фірми ТОВ «НВП «Техноваги» (Україна) марки ТВА-80-22 (максимальний тонаж – 80 тонн).

Висновок: Проведений розрахунок показав, що застосування мостового крана КМАТ 3,0-10,5 ПС дозволяє забезпечити необхідну продуктивність

процесу приймання та складування тюкованої пшеничної соломи. За середньої маси тюка 470 кг кран здійснює перевантаження одного тюка за 28,2 с та забезпечує продуктивність до 60 т/год або близько 128 тюків за годину, що повністю відповідає потребам виробничого процесу.

Відвантаження на автотранспорт здійснюється в обсязі 100 % готової продукції насипом. Продуктивність відпускного пристрою повинна забезпечити добовий відпуск протягом зміни ($\tau_{\text{зміни}} = 12$ год, 2 зміни).

Продуктивність лінії відвантаження розраховуємо за формулою, т/добу:

$$q_{\text{л}} = \frac{Q}{t}, \quad (2.5.5)$$

де Q – продуктивність заводу, т/добу,

t – час роботи лінії, год.

Розраховуємо продуктивність лінії відвантаження:

$$q_{\text{л}} = \frac{120}{24} = 5 \text{ (т/год)}$$

Висновок: Продуктивність діючих приймально-відпускних пристроїв підприємства, забезпечує безперервну роботу цеху з виробництва твердого біопалива.

2.6 Розрахунок ємності складів для зберігання сировини і готової продукції

При виробництві твердого біопалива (паливних гранул з соломи) необхідну складську ємність для зберігання сировини і готової продукції розраховують виходячи з опосереднених витрат на виробництво (100 % солома пшенична) [64].

Тюкована солома має такі характеристики:

– розміри тюка $2,4 \times 1,2 \times 0,9$ м;

– маса одного тюка – 460–480 кг (прийнято 470 кг).

Розрахуємо об'ємну масу:

Для прямокутного тюка соломи (прямокутного паралелепіпеда) об'єм обчислюється за формулою, м:

$$V = a \times b \times h \quad (2.6.1)$$

де a – довжина тюка, м,

b – ширина тюка, м,

h – висота тюка, м.

Розрахуємо об'єм тюка: $2,4 \times 1,2 \times 0,9 = 2,592 \text{ (м}^3\text{)}$

Розрахуємо об'ємну масу тюкованої соломи:

$$\gamma_c = \frac{0,47}{2,592} = 0,18 \text{ (т/м}^3\text{)}$$

При визначенні ємності складів для зберігання сировини та готової продукції приймають опосереднені значення об'ємних мас, згідно з табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Опосереднені значення об'ємних мас сировини та готової продукції

Сировина, готова продукція	Опосереднені значення об'ємних мас, γ_c , т/м ³
Солома пшенична (в тюках)	0,18
Гранули з соломи (тверде біопаливо)	0,60

Запаси сировини Z_1 (діб) для заводу по виробництву твердого біопалива передбачаємо не менше, ніж на 1 добу. Передбачаємо, що протягом першої зміни склад підлогового типу заповнюють повністю тюками, щоб забезпечити роботу цеху на добу. Підвезення тюків соломи щодоби здійснюють з поля (в сезон) і зі складів інших господарств АТК та інших фермерських господарств. Зберігання готової продукції (гранул з соломи) плануємо також протягом 1 доби. Так як відвантаження готової продукції іде протягом доби постійно, з послідуочим транспортуванням на власні підприємства, і для продажу та експорту.

Розрахункову масу сировини, що зберігається в складі підлогового типу визначимо за формулою, т:

$$K_c = \frac{Q \times \alpha \times Z}{100}, \quad (2.6.2)$$

де Q – проєктна продуктивність підприємства, т/добу;

α – опосереднені витрати сировини, %;

Z – запас сировини, діб.

Солома тюкована

$$K_c = \frac{120 \times 100 \times 1}{100} = 120 \text{ (т)}$$

Готова продукція

(гранули з соломи – 100%)

$$K_c = \frac{120 \times 100 \times 1}{100} = 120 \text{ (т)}$$

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

$$V_p = \frac{K_{cp}}{\gamma \times \eta} \quad (2.6.3)$$

де K_{cp} – маса готової продукції, т;

γ – об'ємна готової продукції, т/м³;

η – коефіцієнт використання об'єму (0,85 для гранульованої готової продукції).

Необхідна кількість силосів:

$$n_p = \frac{V}{V_1} \quad (2.6.4)$$

де V_1 – об'єм одного силоса, м³.

Об'єм одного силоса, м³:

$$V_1 = \pi \times r^2 \times h, \quad (2.6.5)$$

де r^2 – радіус силоса в плані, м;

h – висота силоса, м.

Об'єм одного силоса для готової продукції розраховуємо за формулою 2.6.5:

$$V_1 = 3,14 \times 2,5^2 \times 8 = 157 \text{ (м}^3\text{)}$$

Необхідні об'єми силосів для зберігання готової продукції розраховуємо за формулою 2.6.3:

Готова продукція (гранули з соломи)	$V_p = \frac{120}{0,60 \times 0,85} = 235,3 \text{ (м}^3\text{)}$
--	---

Тоді, кількість силосів буде наступною:

Готова продукція (гранули з соломи)	$n_p = \frac{157}{235,3} = 0,7 \text{ (шт)}, n_{\phi} = 1 \text{ шт}$
--	---

Загальна розрахункова кількість силосів для зберігання готової продукції – 1 силос.

Фактичну місткість для готової продукції, яка зберігається в силосах визначаємо наступним чином, т:

$$K_{сф} = n_{\phi} \times V_1 \times \gamma \times \eta, \quad (2.6.6)$$

де γ – об'ємна маса сировини, т/м³.

Підставляючи числові значення, одержуємо:

$$\begin{array}{ll} \text{Готова продукція} & K_{\text{сф}} = 1 \times 157 \times 0,60 \times 0,85 = 80 \text{ (т)} \\ \text{(гранули з соломи)} & \end{array}$$

Площа складу для підлогового зберігання сировини (соломи в тюках), м^2 :

$$F_p = \frac{K_{\text{ср}}}{K_{\text{м}}}, \quad (2.6.7)$$

де $K_{\text{ср}}$ – маса затареної сировини, яку необхідно зберігати в складі, т,

$K_{\text{м}}$ – маса сировини, яка розміщується на 1 м^2 корисної площі складу, т/м^2 (для тюкованої соломи приймають 0,5).

Підставляючи числові дані одержуємо:

$$\begin{array}{ll} \text{Солома тюкована} & F_p = \frac{120}{0,5} = 240 \text{ (м}^2\text{)} \end{array}$$

Загальна площа складу підлогового зберігання для сировини:

$$F_{\text{заг.р.к.}} = F_{\text{т.с.}}$$

$$F_{\text{заг.р.к.}} = 240 \text{ м}^2$$

Загальна розрахункова площа будівлі складу підлогового типу для зберігання сировини в тюках враховує додаткову площу, яка необхідна для розташування побутових приміщень. Значення допоміжних площ приймають рівним 15-20 % від загальної розрахункової корисної площі складу:

$$\Sigma F_{\text{заг.р.}} = \Sigma F_{\text{заг.р.кор.}} + 0,20 \times \Sigma F_{\text{заг.р.кор.}} \quad (2.6.8)$$

$$\Sigma F_{\text{заг.р.}} = 240 + 0,20 \times 240 = 288 \text{ (м}^2\text{)}$$

На підприємстві передбачаємо склад підлогового зберігання для тюкованої соломи шириною 12 м і довжиною – 48 м. Тюки складуються у 4–5 ярусів. Фактичну кількість тюків у складі плануємо не менше 200–250 шт.

Загальну нормативну площу складу розраховуємо за формулою:

$$F_{\phi} = L \times B, \text{ м} \quad (2.6.9)$$

де L – довжина (48 м),

B – ширина (12 м),

H – висота (4,5 м),

$$F_{\phi} = 48 \times 12 = 576 \text{ (м}^2\text{)}$$

Розрахуємо загальну фактичну корисну площу складу підлогового типу, в якому зберігають сировину (без врахування площі складу для допоміжних, побутових приміщень):

$$F_{зфк} = F_{\phi} - (F_{\phi} \times 0,20) \quad (2.6.10)$$

$$F_{зфк} = 576 - 576 \times 0,20 = 460,8 \text{ (м}^2\text{)}$$

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

$$K_{сф} = F_{\phi} \times K_{м}, \quad (2.6.11)$$

де F_{ϕ} – фактична площа для сировини, яка зберігається в тюках.

Підставляючи числові значення, одержуємо:

$$\text{Солома тюкована} \quad K_{сф} = 460 \times 0,5 = 230 \text{ (т)}$$

Фактичний час витрат запасів, діб, визначаємо за формулою:

$$\begin{array}{l} \text{для сировини та готової} \\ \text{продукції} \end{array} \quad Z_{\phi} = \frac{100 \times K_{сф}}{Q \times a} \quad (2.6.12)$$

де Q – продуктивність заводу, т/добу.

a – усереднені витрати сировини.

Розрахуємо фактичний час запасів сировини і готової продукції, діб:

$$\text{Тюкована солома} \quad Z_{\phi} = \frac{100 \times 230}{120 \times 100} = 1,9 \text{ (діб)}$$

$$\begin{array}{l} \text{Готова продукція} \\ \text{(гранули з соломи)} \end{array} \quad Z_{\phi} = \frac{100 \times 80}{120 \times 100} = 0,7 \text{ (діб)}$$

Дані розрахунків по визначенню необхідної ємності складів підлогового зберігання вносимо в табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Зведена таблиця розрахунку ємності складу підлогового зберігання для сировини, складу силосного типу для готової продукції

Сировина	Опосереднені витрати сировини, %	Норма часу для визначення запасу сировини, діб	Об'єм маса, т/м³	Коеф. використання площі	Розрахункова ємність, т	Фактична ємність, т	Фактичний запас сировини, діб
Складу підлогового типу для зберігання сировини							
Тюкована солома	100	1	0,18	0,50	120	230	1,9
Складу силосного типу для зберігання гоової продукції							
Готова продукція	100	1	0,60	0,85	120	80	0,7

Висновок: Фактична ємність складу для зберігання тюкованої соломи забезпечує необхідну продуктивність роботи цеху з виробництва твердого біопалива (гранул з соломи) протягом запроєктованого часу. Запасу сировини достатньо для забезпечення роботи підприємства протягом однієї доби і більше. Для зберігання готової продукції склад силосного типу (передбачено металевий силос) розраховано також на 1 добу, тобто на підприємстві необхідно налагодити і чітко дотримуватися стабільного збуту готової продукції у межах АТК і продажу під замовлення як у межах країни так і експорту.

2.7 Розрахунок технологічного обладнання

Розрахунок технологічного обладнання ведуть по технологічних лініях у відповідності із принциповою схемою виробництва твердого біопалива (у вигляді паливних гранул з соломи) [64].

Продуктивність кожної технологічної лінії розраховуємо за формулою:

$$q_{\text{л}} = \frac{Q \times b}{100 \times t}, \quad (2.7.1)$$

де Q – продуктивність заводу, т/добу,

b – розрахункова маса перероблюваної сировини, %,

t – час роботи лінії, год.

Необхідну кількість обладнання по окремих технологічних операціях розраховують за формулою:

$$n = \frac{q_{\text{л}}}{q_{\text{п}} \times K_{\text{в}}}, \quad (2.7.2)$$

де $q_{\text{л}}$ – кількість продукту що надходить в машину рівна продуктивності лінії, т/год,

$q_{\text{п}}$ – паспортна продуктивність машини, т/год,

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання технологічного обладнання (для подрібнення – 0,7; гранулювання – 0,8; іншого – 1).

Коефіцієнт завантаження технологічного обладнання, %:

$$K_{\text{з}} = \frac{q_{\text{м}}}{n \times q_{\text{п}} \times K_{\text{в}}} \times 100 \quad (2.7.3)$$

Лінія підготовки сировини (соломи)

Визначимо продуктивність лінії за формулою 2.7.1.:

$$q_{\text{л}} = \frac{120 \times 100}{100 \times 24} = 5 \text{ (т/год)}$$

Для грубого подрібнення тюкованої соломи встановлюємо ножовий подрібнювач фірми BVL (Німеччина) марки V-mix FixPlus із паспортною продуктивністю 8 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 2.7.2.:

$$n = \frac{5}{8 \times 0,7} = 0,89; n_{\text{ф}} = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 2.7.3.:

$$K_3 = \frac{5}{1 \times 8 \times 0,7} \times 100 = 89 \text{ (\%)}$$

Для очистки соломи від мінеральних та металоманітних домішок на лінії встановлюємо камене-магнітоуловлювачі фірми Industry Prof (Латвія) марки SEP 01-00-a із паспортною продуктивністю 3 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 2.7.2.:

$$n = \frac{5}{3 \times 1} = 1,7; n_{\text{ф}} = 2 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 2.7.3.:

$$K_3 = \frac{5}{2 \times 3 \times 1} \times 100 = 83 \text{ (\%)}$$

Для тонкого подрібнення соломи встановлюємо молоткову дробарку фірми Jensen Gelting (Німеччина) марки НМ 1300-1000 із паспортною продуктивністю 8 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 2.7.2.:

$$n = \frac{5}{8 \times 0,7} = 0,89; n_{\text{ф}} = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 2.7.3.:

$$K_3 = \frac{5}{1 \times 8 \times 0,7} \times 100 = 89 (\%)$$

На фільтр фірми Industry Prof (Латвія) марки MPP знаходить дрібна фракція з циклону марки СК-1600 (2 %), з просіювальної машини марки CRYLOC-47-31 (5 %) та з охолоджувальної колонки марки VK 24x24 KL-P (3 %) з послідуєчим заворотом на лінію гранулювання.

Встановлене на лінії технологічне обладнання забезпечує задану продуктивність.

Лінія гранулювання

Визначимо продуктивність лінії за формулою 2.7.1.:

$$q_{\text{л}} = \frac{120 \times 100}{100 \times 24} = 5 \text{ (т/год)}$$

Так як на повторне гранулювання направляється близько 10 % дрібної фракції, то $q_{\text{л}} = 5 + (5 \times 0,10) = 5,5 \text{ (т/год)}$

Для додаткового зволоження сировини та покращення процесу гранулювання встановлюємо кондиціонер фірми Jensen Gelting (Німеччина) марки KD 450-1800 із паспортною продуктивністю 8 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 2.7.2.:

$$n = \frac{5,5}{8 \times 0,8} = 0,86; n_{\text{ф}} = 1 \text{ (шт)}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 2.7.3.:

$$K_3 = \frac{5,5}{1 \times 8 \times 0,8} \times 100 = 86 (\%)$$

Для гранулювання встановлюємо прес-гранулятор фірми Salmatec (Німеччина) марки Maxima 900-200-2K ZE із паспортною продуктивністю 8 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 2.7.2.:

$$n = \frac{5,5}{8 \times 0,8} = 0,86; n_{\text{ф}} = 1 \text{ шт}$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 2.7.3.:

$$K_3 = \frac{5,5}{1 \times 8 \times 0,8} \times 100 = 86 (\%)$$

Для охолодження гарячих гранул встановлюємо охолоджувальну колонку фірми Geelen Counterflow (Німеччина) марки VK 24x24 KL-P із паспортною продуктивністю 8 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 2.7.2.:

$$n = \frac{5,5}{8 \times 1} = 0,69; n_{\phi} = 1 (\text{шт})$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 2.7.3.:

$$K_3 = \frac{5,5}{1 \times 8 \times 1} \times 100 = 69 (\%)$$

Встановлене на лінії технологічне обладнання забезпечує задану продуктивність.

Лінія відвантаження готової продукції

Визначимо продуктивність лінії за формулою 2.7.1.:

$$q_{\text{л}} = \frac{120 \times 100}{100 \times 24} = 5 (\text{т/Год})$$

Для контролю якості готової продукції встановлюємо просіювальну машину фірми Ottevanger (Нідерланди) марки CRYLOC-47-31 із паспортною продуктивністю 6 т/год.

Необхідну кількість машин розраховуємо за формулою 2.7.2.:

$$n = \frac{5}{6 \times 1} = 0,83; n_{\phi} = 1 (\text{шт})$$

Коефіцієнт завантаження застосованого обладнання розраховуємо за формулою 2.7.3.:

$$K_3 = \frac{5}{1 \times 6 \times 1} \times 100 = 83 (\%)$$

Встановлене на лінії обладнання забезпечує задану продуктивність.

Дані розрахунку технологічного обладнання за технологічними лініями наведено в табл. 2.19.

Таблиця 2.19 – Дані розрахунку технологічного обладнання

Назва обладнання, машини, номер	Марка обладнання, машини	Кількість n_f , шт	Продуктивність т/год		Коефіцієнт використання K_v , %	Коефіцієнт завантаження K_z , %
			пас-портна q_n , т/год	експлуатаційна q_e , т/год		
Лінія підготовки сировини (соломи)						
Ножовий подрібнювач тюків соломи	V-mix FixPlus, BVL (Німеччина)	1	8	5,6	0,7	89
Камене-магнітоуловлювач	SEP 01-00-a, Industry Prof (Латвія)	2	3	3	1	83
Молоткова дробарка	HM 1300-1000 Jensen Gelting (Німеччина)	1	8	5,6	0,7	89
Лінія гранулювання						
Кондиціонер	KD 450-1800, Jensen Gelting (Німеччина)	1	8	6,4	0,8	86
Прес-гранулятор	Salmatec Maxima 900, Salmatec (Німеччина)	1	8	6,4	0,8	86
Охолоджувальна колонка	VK 24x24 KL-P, Geelen Counterflow (Німеччина)	1	8	8	1	69
Лінія відпуску готової продукції						
Просіювальна машина	CRYLOC-47-31, Ottevanger (Нідерланди)	1	6	6	1	83

Висновок: встановлене на лініях технологічне обладнання забезпечує задану продуктивність цеху з виробництва твердого біопалива (паливних гранул з соломи).

2.8 Розрахунок ємності оперативних бункерів

Для безперервної роботи цеху необхідно передбачити оперативні бункери. Запас сировини в бункерах повинен забезпечити безперервну роботу обладнання на протязі 1-2 години [64].

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

$$E = q_{\text{л}} \times \tau \quad (2.8.1)$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою, м³:

$$V = \frac{E_{\text{м}}}{\gamma \times \eta} \quad (2.8.2)$$

де γ – об'ємна маса сировини, т/м³;

η – коефіцієнт використання об'єму;

Об'єм одного бункера круглого перерізу в плані, м³:

$$V_1 = \pi \times r^2 \times h, \quad (2.8.3)$$

де r – радіус круга, м;

h – висота бункера, м.

Тоді кількість бункерів розраховуємо за формулою, шт:

$$n = \frac{V}{V_1} \quad (2.8.4)$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою, м³:

$$V_{\text{ф}} = n \times V_1 \quad (2.8.5)$$

Фактична місткість бункеру розраховуємо за формулою, м³:

$$E_{\text{ф}} = V_{\text{ф}} \times \gamma \times \eta \quad (2.8.6)$$

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:

$$\tau_{\text{ф}} = \frac{E_{\text{м}}}{q_{\text{л}}} \quad (2.8.7)$$

Лінія підготовки сировини (соломи)

Встановлюємо оперативний бункер № 1 (ємність для накопичення подрібненої соломи після молоткової дробарки марки НМ 1300-1000).

Масу сировини розраховуємо за формулою 2.8.1.:

$$E = 5 \times 1 = 5 \text{ (т)}$$

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 2.8.3.:

$$V_1 = 3,14 \times 3^2 \times 8,5 = 240 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.2.:

$$V = \frac{5}{0,12 \times 0,80} = 52 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 2.8.4.:

$$n = \frac{52}{240} = 0,22, n_{\phi} = 1 \text{ (шт)}$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 240 = 240 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 2.8.6.:

$$E_{\phi} = 240 \times 0,12 \times 0,80 = 23 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 2.8.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{23}{5} = 4,6 \text{ (год)}$$

Встановлюємо оперативний бункер № 2 (для дрібної фракції з циклону марки СК-1600 (2 %), просіювальної машини марки CRYLOC-47-31 (5 %), охолоджувальної колонки марки VK 24x24 KL-P (3 %)) після фільтра марки MPP.

Масу сировини розрахуємо за формулою 2.8.1.:

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

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 2.8.3.:

$$V_1 = 3,14 \times 1,2^2 \times 1,3 = 6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.2.:

$$V = \frac{0,2}{0,15 \times 0,80} = 1,7 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 2.8.4.:

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

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.5.:

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

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 2.8.6.:

$$E_{\phi} = 6 \times 0,15 \times 0,80 = 0,72 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 2.8.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{0,72}{0,5} = 1,44 \text{ (год)}$$

Лінія гранулювання

Встановлюємо оперативний бункер № 3 над кондиціонером марки KD 450-1800.

Масу сировини розраховуємо за формулою 2.8.1.:

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

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 2.8.3.:

$$V_1 = 3,14 \times 1,3^2 \times 1,5 = 8 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.2.:

$$V = \frac{5,5}{0,12 \times 0,80} = 57,3 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 2.8.4.:

$$n = \frac{57,3}{8} = 7,2, n_{\phi} = 1 \text{ (шт)}$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 8 = 8 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 2.8.6.:

$$E_{\phi} = 8 \times 0,12 \times 0,80 = 0,8 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 2.8.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{0,8}{5,5} = 0,15 \text{ (год)}$$

Лінія відвантаження готової продукції

Встановлюємо оперативний бункер № 4, він же силос металевий для зберігання готової продукції (пр. 2.6).

Масу сировини розраховуємо за формулою 2.8.1.:

$$E = 5 \times 1 = 5 \text{ (т)}$$

Об'єм одного бункера розраховуємо за формулою 2.8.3.:

$$V_1 = 3,14 \times 2,5^2 \times 8 = 157 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.2.:

$$V = \frac{5}{0,60 \times 0,85} = 9,8 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість бункерів розраховуємо за формулою 2.8.4.:

$$n = \frac{9,8}{157} = 0,1, n_{\phi} = 1$$

Фактичний об'єм бункерів розраховуємо за формулою 2.8.5.:

$$V_{\phi} = 1 \times 157 = 157 \text{ (м}^3\text{)}$$

Фактичну місткість бункеру розраховуємо за формулою 2.8.6.:

$$E_{\phi} = 157 \times 0,60 \times 0,85 = 80 \text{ (т)}$$

Запас сировини в бункері розраховуємо за формулою 2.8.7.:

$$\tau_{\phi} = \frac{80}{5} = 16 \text{ (год)}$$

У табл. 2.20 наведено дані розрахунку ємності оперативних бункерів.

Таблиця 2.20 – 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 (соломи)						
Оперативний бункер № 1 після молоткової дробарки НМ 1300-100	0,12	0,80	5,0	23	1	4,6
Оперативний бункер № 2 (дрібна фракції з фільтру МРР)	0,15	0,80	0,5	0,72	1	1,44

Продовження табл. 2.20

1	2	3	4	5	6	7
Лінія гранулювання						
Оперативний бункер № 3 над кондиціонером KD 450-1800	0,12	0,80	5,5	0,8	1	0,15
Лінія відвантаження готової продукції						
Оперативний бункер № 4	0,60	0,85	5,0	80	1	16

Висновок: фактична ємність оперативних бункерів забезпечує задані запаси сировини протягом необхідного часу роботи технологічних ліній цеху з виробництва твердого біопалива.

2.9 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 [64].

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

$$q_e = \frac{q_n \times \gamma \times K}{0,75} \quad (2.9.1)$$

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 $\gamma = 0,75$ т/м³), т/год;

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

K – коефіцієнт використання транспортуючої машини ($K = 0,85$).

Коефіцієнт завантаження транспортного обладнання, %:

$$K_z = \frac{q_l}{q_e} \times 100 \quad (2.9.2)$$

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

Лінія підготовки сировини (соломи)

Встановлюємо монорейкову систему (кран-балку з автоматичним захватом), яка працює з продуктивністю 1 т за хвилину (перевантаження тюкованої соломи) і транспортери марки IP 25170-10 №1, IP 25171-а №2, транспортер під нахилом марки SF 01-00-а №3 фірми Industry Prof (Латвія) (для подачі тюкованої соломи на подрібнення) із паспортною продуктивністю 30 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.9.1.:

$$q_e = 30 \times \frac{0,18 \times 0,85}{0,75} = 6,1 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.9.2.:

$$K_3 = \frac{5}{6,1} \times 100 = 82 \text{ (\%)}$$

Оперативний бункер №1 обладнано системою «гідравлічний пол» у комплекті встановлюємо конвейєр марки VBD-350 №4 фірми Industry Prof (Латвія) із паспортною продуктивністю 45 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.9.1.:

$$q_e = 45 \times \frac{0,12 \times 0,85}{0,75} = 6,12 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.9.2.:

$$K_3 = \frac{5}{6,12} \times 100 = 82 \text{ (\%)}$$

Встановлюємо транспортер Z-подібний марки KSK 800-00-0 №5 фірми Industry Prof (Латвія) для подачі підготовленої сировини на гранулювання із паспортною продуктивністю 45 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.9.1.:

$$q_e = 45 \times \frac{0,12 \times 0,85}{0,75} = 6,12 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.9.2.:

$$K_3 = \frac{5,5}{6,12} \times 100 = 89 (\%)$$

Встановлюємо конвеєри марки SC 1-11-2522 №6, SC 1-13-2527 №7 фірми Industry Prof (Латвія) для транспортування дрібної фракції з фільтру марки MPP в оперативний бункер №2 і подачу на транспортер марки KSK 800-00-0 №5 із паспортною продуктивністю 1 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.9.1.:

$$q_e = 5 \times \frac{0,15 \times 0,85}{0,75} = 0,85 (\text{т/год})$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.9.2.:

$$K_3 = \frac{0,5}{0,85} \times 100 = 60 (\%)$$

Так як продуктивність лінії на різних ділянках становить 5,0, 5,5, 0,5 т/год, то транспортне обладнання повністю забезпечує умови максимального завантаження технологічного обладнання та оперативних бункерів, яке воно обслуговує.

Лінія гранулювання

Встановлюємо для подачі гарячих гранул на охолодження транспортер марки КТА-350-00-0а №9, норію марки EL 2-7 №1 фірми Industry Prof (Латвія) із паспортною продуктивністю 10 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.9.1.:

$$q_e = 10 \times \frac{0,60 \times 0,85}{0,75} = 6,8 (\text{т/год})$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.9.2.:

$$K_3 = \frac{5,5}{6,8} \times 100 = 81 (\%)$$

Лінія відвантаження готової продукції

Встановлюємо для подачі охолоджених гранул на зберігання і відвантаження транспортер марки КТА-350 №10 і норію марки EL 2-12 №2 фірми Industry Prof (Латвія) із паспортною продуктивністю 10 т/год.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.9.1.:

$$q_e = 10 \times \frac{0,60 \times 0,85}{0,75} = 6,8 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.9.2.:

$$K_z = \frac{5}{6,8} \times 100 = 74 \text{ (\%)}$$

Встановлюємо транспортер марки DCC IP-2520 №11 фірми Industry Prof (Латвія) із паспортною продуктивністю 5 т/год для подачі дрібної фракції, яка накопичується у біг-бегах (установка FIBC) і повертається на лінію гранулювання.

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність за формулою 2.9.1.:

$$q_e = 5 \times \frac{0,15 \times 0,85}{0,75} = 0,85 \text{ (т/год)}$$

Коефіцієнт завантаження транспортеру визначаємо за формулою 2.9.2.:

$$K_z = \frac{0,5}{0,85} \times 100 = 60 \text{ (\%)}$$

Так як продуктивність лінії становить 5 т/год, то транспортне обладнання повністю забезпечує умови максимального завантаження технологічного обладнання та оперативних бункерів, яке воно обслуговує.

2.10 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, пневматичний транспорт, який дозволяє переміщувати продукти в різних напрямках згідно зі схемою технологічного процесу виробництва готової продукції. Раціональне розташування обладнання на поверхах виробничого корпусу, складських приміщень, мінімальна кількість транспортних механізмів суттєво впливають на проектування 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. Послідовно вказують номери самопливних труб біля накреслених напрямів руху продуктів, компонентів: починають послідовно з ліній підготовки сировини, гранулювання, до складу 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 проєкції самопливної труби мінімальний до горизонтальної площині при подачі сировини, продуктів в приймальний отвір технологічного, транспортного обладнання [64].

Паралельно з розміщенням обладнання на поверхах, розробкою креслень комунікації, складаємо відомість руху продуктів, яка наведена в табл. 2.21 з якої видно, що обладнання встановлено вірно – фактичні кути нахилу самопливів більше допустимих.

Висновок: обладнання на поверхах виробничого корпусу розміщено вірно про це свідчить відомість руху продуктів, яка наведена в табл. 2.21, фактичні кути нахилу самопливів більше гранично допустимих та забезпечують безперервну роботу технологічного і транспортного обладнання на лініях цеху з виробництва твердого біопалива.

Таблиця 2.21 – Відомість руху продуктів

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 (соломи)														
Склад сировини	1	тюки соломи	подрібнена солома	Ножовий подрібнювач тюків соломи V-mix FixPlus	1	–	–	IP 2517 0-10 №1, IP 2517 1-a №2, SF 01-00-a №3	–	–	–	–	–	1 (пл)
Ножовий подрібнювач тюків соломи V-mix FixPlus	1	подрібнена солома	очищена солома від ММД і крупних домішок	Камене-магнітоуловлювачі SEP 01-00-a, №1, 2	2	–	–	–	–	–	–	–	–	1 (пл)
					3	–	–	–	–	–	–	–	–	

Продовження табл. 2.21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Камене-магнітоуловлювачі SEP 01-00-а, №1, 2	2	очищена солома від ММД і крупних домішок	подрібнена солома	Молоткова дробарка НМ 1300-1000	4	–	ПТ	–	90	90	90	50	180	1 (пл)
					5	–		–	90	90	90	50	180	
Молоткова дробарка НМ 1300-1000	1	подрібнена солома	подрібнена солома	Оперативний накопичувальний бункер №1	6	–	СК-1600	–	90	90	90	50	180	1
					7	–		–	90	90	90	50	180	пл
Циклон СК-1600	1	дрібна фракція	дрібна фракція	фільтр МРР	21	–	СК-1600	–	90	90	90	50	180	пл
Просіювальна машина CRYLOC-47-31	1				22	–	ПТ	–	90	90	90	50	180	пл
Охолоджувальна колонка VK 24x24 KL-P	1				23	–		–	90	90	90	50	180	пл
фільтр МРР	1	дрібна фракція	дрібна фракція	Оперативний бункер №2	24	–	–	SC 1-11-2522 №6	90	90	90	50	180	1
					25	–	–	–	90	90	90	50	180	пл
Оперативний бункер №2	1	дрібна фракція	дрібна фракція	Оперативний бункер №3	26	–	–	–	90	90	90	50	180	1
					27	–	–	SC 1-13-2527 №7, KSK 800-00-0 №5	90	90	90	50	180	1

Продовження табл. 2.21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Лінія гранулювання														
Оперативний накопичувальний бункер №1	1	подрібнена солома	подрібнена солома	Оперативний бункер №3	8	—	—	VBD-350 №4, KSK 800-00-0 №5	90	90	90	50	180	1
					9	—	—		90	90	90	50	180	пл
Оперативний бункер №3	1	подрібнена солома	зволожена солома	Кондиціонер KD 450-1800	10 10a	—	—	SCS-2-2-2525 №8	90	90	90	70	180	пл
Кондиціонер KD 450-1800	1	зволожена солома	гранульована солома	Прес-гранулятор Salmatec Maxima 900	11	—	—	—	90	90	90	70	180	пл
Прес-гранулятор Salmatec Maxima 900	1	гранульована солома	охолоджені гранули	Охолоджувальна колонка VK 24x24 KL-P	12	—	—	КТА-350-00-0a №9	90	90	90	70	180	пл
					13	EL 2-7 №1	—		90	90	90	70	180	1
					14		—		79	77	73	70	180	пл
Лінія відвантаження готової продукції														
Охолоджувальна колонка VK 24x24 KL-P	1	охолоджені гранули	охолоджені гранули	Оперативний бункер №4	15	—	—	КТА-350 №10	90	90	90	47	180	1
					16	EL 2-12 №2	—		90	90	90	47	180	1
					17		—	—	59	52	49	47	180	пл

Продовження табл. 2.21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Оперативний бункер №4	1	охо- лод- жені гранули	гранули	Просіювальна машина CRYLOC-47-31	18	–	–	–	90	90	90	47	180	пл
			дрібна фракція											
Просіювальна машина CRYLOC-47-31	1	гранули	гранули	авто-транспорт	20	–	–	–	90	90	90	47	180	пл
		дрібна фракція	дрібна фракція	біг-беги (FIBC)	19	–	–	DCC IP-2520 № 11	90	90	90	47	180	пл
					21	–	–		90	80	80	47	180	пл

2.11 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 [63, 65].

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. 2.22.

Таблиця 2.22 – 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	Камене-магніто-уловлювачі	Технічний стан установок і якість очищення магнітів	1 раз на зміну	-//-
		Здача металоманітних домішок у ВТЛ	У кінці зміни	-//-
		Вантажопідйомність магнітів	1 раз на рік	Головний технолог
	Ножовий подрібнювач тюків соломи, молоткова 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	-//-

1	2	3	4	5
	Охолоджу- вальна колонка	Температура гранул на виході з охолоджувача	-//-	-//-
		Розмір гранул	У кожній середньо- змінній пробі	ВТЛ
		Прохід через сито з отворами Ø2,0 мм	-//-	-//-
		Крихкість гранул	-//-	-//-
		Вміст вологи в гранулах	-//-	-//-

Виготовлену продукцію також контролюють за якісними показниками: теплотворна здатність (теплота згорання), вміст золи, вміст вологи, питома щільність, насипна щільність, вміст хімічних елементів (хлор, азот, сірка та інші за потреби), вміст інших компонентів та домішок.

Кожна партія готової продукції повинна супроводжуватися комплектом супровідних документів, що включає товарно-транспортну та фінансову документацію, а також документи, які підтверджують якість продукції.

Технохімічний та технологічний контроль виробництва твердого біопалива (гранульованої соломи) є важливою складовою забезпечення стабільної якості готового біопалива та ефективної роботи технологічного обладнання. Контроль здійснюється на всіх етапах виробництва – від приймання сировини до відвантаження готових гранул споживачеві. Працівники виробничо-технологічної лабораторії та виробничий персонал контролюють якість очищення сировини від сторонніх домішок, крупність подрібнення, параметри кондиціонування, режими гранулювання та охолодження продукції. Особлива увага приділяється контролю фізико-механічних показників гранул, зокрема вологості, розмірів, крихкості та вмісту дрібної фракції.

Готову продукцію оцінюють за основними паливними характеристиками: теплотою згорання, вологістю, зольністю, насипною та питомою щільністю, а також за вмістом хімічних елементів і домішок. Систематичний контроль зазначених показників дозволяє забезпечити відповідність гранульованої соломи вимогам нормативної документації, підвищити надійність роботи обладнання, зменшити виробничі втрати та гарантувати високу якість біопалива для кінцевого споживача. Таким чином, організація ефективної системи технохімічного контролю є необхідною умовою стабільного та економічно ефективного функціонування цеху з виробництва паливних гранул із соломи.

Розділ 3 Розрахунок вентиляційного обладнання

3.1 Мета і задачі вентиляційних установок

На підприємствах виробництва твердого біопалива всі технологічні процеси пов'язані з переробкою сировини з метою отримання подрібненої біомаси, лінії гранулювання і вивантаження готової продукції супроводжуються утворенням великої кількості пилу всередині обладнання, який може досягнути вибухонебезпечної концентрації, а при виділенні в навколишнє середовище може створити небезпечні концентрації пилу для здоров'я людей. Зменшення викидів пилу в атмосферу досягається завдяки правильному розрахунку аеродинамічних параметрів аспіраційної мережі (діаметрів повітропроводів, швидкостей повітря та необхідних тисків) та завдяки використанню високоефективних пиловловлювачів. Таким чином, усі ці заходи підвищують роль аспіраційних та вентиляційних установок, яка полягає в поліпшенні умов праці, збереженні здоров'я людей та запобіганні пилових вибухів.

За санітарними нормами для робочих зон виробничих приміщень встановлені гранично-допустимі концентрації пилу (ГДК): солом'яний пил – $0,5 \text{ мг/м}^3$. Ефективне очищення повітря від пилу перед викидом його з систем повинне забезпечувати встановлену ГДК пилу в навколишньому повітрі на території хлібоприймальних підприємств – $1,2 \text{ мг/м}^3$ та переробних – $1,8 \text{ мг/м}^3$, а в місцях постійного проживання населення, в тому числі на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємства (максимально разова) – $0,5 \text{ мг/м}^3$. Забезпечення чистоти навколишнього повітря на сьогодні проблема світового значення.

У галузі зернопереробної промисловості вона вирішується шляхом створення мало і безвідходних технологій виробничих процесів, а також використання на підприємствах високоефективних пиловловлювачів.

Вентиляційні установки представляють сукупність спеціального обладнання (вентиляторів, повітропроводів, пиловідокремлювачі та ін). Його об'єднують в системи для здійснення повітрообміну шляхом створення доцільно організованих повітряних потоків в будівлях, каналах, камерах або захисних кожухах машин і апаратів. Це необхідно для забезпечення чистоти повітря в приміщеннях, де

					КРБ.ТЗіК.1.679-03.5.3			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Пругіян С.С.			Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Бордун Т.В.					96	13
Консультант		Гончарук Г.А.				ОНТУ		
Зав. каф.		Макаринська А.В.						

працюють люди, і виконання ряду технологічних, транспортних, а також протипожежних і протипожежних функцій.

Вентиляційні установки відсмоктують повітря від технологічного і транспортного устаткування, тобто здійснюють так звану аспірацію, створюючи всередині робочих просторів або захисних кожухів машин розрідження. Воно перешкоджає виділенню пилу назовні і викликає надходження в ці простори зовнішнього повітря, яке забирає із собою надлишкове тепло і вологу, що виділяються при переробці зерна.

Вентиляційні установки на зернопереробних підприємствах дозволяють при ефективній роботі:

- 1) підвищити санітарно – гігієнічні задачі:
 - поліпшити і оздоровити умови праці, ліквідувати професійні захворювання робітників;
 - створити необхідні гігієнічні передумови для підвищення продуктивності праці;
 - поліпшити санітарно-гігієнічний стан підприємств в результаті запобігання можливості конденсації вологи на внутрішніх поверхнях машин, розвитку мікроорганізмів, а також шкідників зерна й продуктів його переробки всередині аспіруючого обладнання;
- 2) підвищити продуктивність млинів, круп'яних і комбикормових заводів, цехах з виробництва твердого біопалива, завдяки підтримці нормального ходу технологічного процесу:
 - краще очищати зерно і сортувати продукти подрібнення;
 - попередити самозігрівання зерна, знизити вологість і запобігти розвиток шкідників;
 - зменшити втрати сировини, що виникають при переробці її в тверде біопаливо внаслідок зменшення кількості зміток і розсіювання пиловидних продуктів;
- 3) задачі пожежовибухобезпеки
 - запобігти можливості виникнення вибухів пилу і пожежі.

3.2 Особливості проєктування аспіраційних установок цеху з виробництва твердого біопалива

Компоновку аспіраційних мереж цехів з виробництва твердого біопалива виконують для таких транспортно-технологічних ліній:

- розвантаження і складування сировини;
- очищення та подрібнення;
- гранулювання;
- завантаження продукції в автомашини.

Пиловидну сировину як правило транспортують пневмо- та аерозольнотранспортними установками.

При визначенні місць відсосу повітря від обладнання слід враховувати такі вимоги:

- не дозволяється використання норій для транспортування подрібнених та тонко дисперсних матеріалів;
- обладнання, в якому створюються пило повітряні потоки підвищеної запиленості, слід аспірувати через транспортні самопливи шляхом відбору повітря від норійних труб або місткостей.

Завальні ями повинні бути максимально герметичними. Отвори над ямами для їх завантаження повинні забезпечувати пропускну потужність розвантажувальних засобів.

Випускні самопливи із силосів і бункерів повинні мати регулюючі засувки.

Обладнання циклічної дії оснащується допоміжними повітропроводами перетоку повітря (байпасами) діаметром не менше 0,3м. Байпаси не повинні мати ділянок з нахилом менше 70°.

Сукупність транспортерів і силосів аспірують через ланцюгові транспортери. Самопливи транспортерів завантаження силосів повинні мати нахил не більше 60° , що забезпечує аспірацію силосів в режимі протитоку.

Підсилосні транспортери, що подають матеріалів в норії, доцільно аспірувати за допомогою норійних труб.

Окремі верхні силоси або їх групи можна знепилювати повітропроводами діаметром 0,5 м шляхом їх виводу на 2 м вище поверхні.

Місця завантаження автомашин та вагонів оснащуються окремими аспіраційними мережами.

Знепилення аспіраційного повітря на заводах здійснюють, в основному, в фільтрах. Допускається використання циклонів при знепиленні лінії підготовки сировини. На лініях обробки і транспортування вологих і теплих матеріалів використовують тільки циклони (4БЦШ, УЦ-38).

Аспіраційний пил є кондиційним продуктом і повертається до лінії яку аспірують.

Швидкість повітря в горизонтальних ділянках повітропроводів повинна бути не нижчою від 21 м/с – на лініях вологої сировини і не нижчою від 16 м/с – на всіх інших лініях. У вертикальних ділянках повітропроводів швидкість повинна бути більшою за 10 м/с.

3.3 Основні принципи компоновання аспіраційних установок

До основних принципів компоновання, якими слід керуватися при проектуванні об'єднання вентилюваного обладнання в централізовані мережі слід віднести:

- технологічний (об'єднання в загальну мережу повітропроводів того обладнання, пил від якого досить однорідний за якістю;
- одночасність роботи аспіраційного обладнання (об'єднання в загальну мережу одночасно працюючого обладнання);
- спрощення траси повітропроводів;
- експлуатаційну надійність і зручності автоматизації;
- температурний принцип.

Технологічний принцип компоновання. Компоновання вентиляційних мереж за технологічним принципом в зерноочисних відділеннях обов'язкове, оскільки втрати або зниження якості так званого «білого» пилу, що має цінність, недопустимі.

Принцип одночасності роботи аспіраційного обладнання. При проектуванні вентиляційних установок слід, орієнтуючись на графік його операцій, об'єднувати в загальні мережі те обладнання, яке працює одночасно. Така компоновка забезпечує сталість режиму роботи вентилятора і можливість включення вентиляторів при зупинці всього устаткування, що обслуговується однією установкою. Обидві ці обставини обслуговують зменшення витрати енергії на вентиляційних установках та підвищення коефіцієнта потужності вентиляційної групи електродвигунів елеватора.

Принцип спрощення траси повітропроводів. Цей принцип вимагає об'єднання в загальну мережу устаткування, розташованого на відносно невеликій відстані один від іншого, і устаткування, що дозволяє спроектувати мережу без зайвих перегинів повітропроводів, без горизонтальних ділянок їх або хоча б, з мінімальною довжиною таких ділянок.

У відповідності з цим принципом мережу повітропроводів слід проектувати так, щоб вентилятор був розташований якомога ближче до того устаткування, у якого найбільший опір. Крім того, при довгій розгалуженій мережі повітропроводів вентилятор слід встановлювати на середині найбільшої довжини магістралі.

Принцип експлуатаційної надійності та зручності автоматизації. Для створення мережі з мінімальною довжиною і простий конфігурацією в одну мережу, слід об'єднувати близько розташоване устаткування.

Для підвищення експлуатаційної надійності мережі в неї слід включати обладнання, розташоване у вертикальному, а не в горизонтальному напрямку. Застосування автоматизації технологічних процесів полегшує умови праці, поліпшує виробничі умови на елеваторах.

Температурний принцип. В одну мережу слід об'єднувати обладнання, що має однакову температуру аспіруемого повітря, так як при змішуванні повітря з різною температурою збільшується можливість конденсації і налипання пилу на стінках повітропроводу.

Перед проектуванням АУ виконується аналіз технологічних режимів транспортування та обробки матеріалопотоків. Виявляються можливості зниження інтенсивності взаємодії сипучих матеріалів з повітрям шляхом зменшення кута нахилу матеріалопроводів до $36...54^\circ$, кінцевої швидкості матеріалу до 4 м/с та використанням гальмуючих пристроїв та інше.

Компоновку АУ проводять за транспортно-технологічними лініями з врахуванням аеродинамічних зв'язків окремих машин та місткостей через матеріалопроводи.

При об'єднанні кількох транспортно-технологічних ліній в одну АУ слід передбачати використання окремих обезпилювачів повітря для кожної транспортно-технологічної лінії з системою автоматизованого вимкнення непрацюючих ділянок дросельними клапанами АТ-30, АТ-31.

Протяжні укриття транспортного обладнання (норій, ланцюгових та шнекових конвеєрів) можуть бути використані як повітропроводи аспіраційної системи. Суміжне обладнання циклічної дії додатково з'єднуються повітропроводами (бай пасами) для перетоку повітря.

Матеріалопроводи сипучих матеріалів слід використовувати як аспіраційні канали при прямооточних, протиточних і комбінованих режимах аспірації.

При визначенні місць відсосу повітря необхідно враховувати взаєморозташування обезпилювача повітря, вентилятора, аеродинамічні зв'язки через протяжні укриття, інтенсивність пилоутворення та напрямки переміщення пилоповітряних потоків.

Трасировка повітропроводів і швидкість пилоповітряних потоків повинні забезпечувати надійне переміщення пилу до знепилювача. Кут нахилу повітропроводів повинен складати не менше 60° , а швидкість повітря в горизонтальних ділянках в межах 14...18 м/с.

Пил з-під фільтрів чи циклонів слід направляти у матеріалопотоки транспортно-технологічної лінії або в окремі місткості.

Вентилятори і знепилювачі слід розташовувати в доступних місцях для нагляду та обслуговування.

Для запобігання розповсюдження можливих пилоповітряних вибухових хвиль в окремих трубопроводах АУ машин ударної дії та норій доцільно створювати легко розривні чи легко скидні отвори, зв'язані з навколишнім середовищем.

При транспортуванні тонкодисперсних матеріалів потрібно використовувати пневмотранспортні установки, що забезпечують знесення місць і виключають викиди пилоповітряних потоків у виробничі приміщення та навколишнє середовище [66-68].

3.4 Розрахунок локального фільтра та фільтра-циклона

При проектуванні та розрахунку фільтрів спочатку виконують компоновку аспіраційної мережі та визначають витрати повітря Q_ϕ , що необхідно відібрати від технологічного або транспортуючого обладнання Q_{TO} , м³/год з метою утворення в ньому необхідного розрідження та очистки повітря від пилу ([68], табл.1).

При розрахунках Q_ϕ необхідно обов'язково враховувати кількість повітря, що підсмоктується у фільтр – Q_Π , м³/год.

$Q_\phi = 1,05 \cdot Q_{TO}$ – при одноступеневому очищенні повітря, тобто Q_Π складають 5 % від $\Sigma Q_{\text{машин}}$ повітря, а це складає кількість підсмоктуваного повітря в межах 0,1...0,5 м³/с. По Q_ϕ вибирають необхідний типорозмір фільтра (додаток методичних вказівок [68], табл. 2).

Втрати тиску у фільтрі H_ϕ , Па визначаються з уточненням фактичної напруженості тканини:

$$q = Q_{\phi} \cdot F_{\phi}^{-1},$$

де F_{ϕ} – площа поверхні фільтрувальної тканини, м^2 , яка визначається за кількістю фільтрувальних рукавів. В свою чергу кількість рукавів підбирають по табл. 2 і 3 (див. додаток [68] методичних вказівок) в залежності від марки і типорозміру фільтра. Рукав фільтра сконструйовано таким чином, що одночасно працюють дві бокові його стінки. Площа кожної стінки рукава складає – $0,5 \text{ м}^2$. Таким чином, загальна площа фільтрувальної тканини одного рукава складає 1 м^2 , а загальна площа тканини фільтра визначається за виразом:

$$F_{\phi} = n \cdot 1, \text{ м}^2$$

де n – кількість рукавів фільтра.

Таким чином:

$$H_{\phi} = a \cdot q^h,$$

де a і h – експериментальні коефіцієнти, що залежать від структури фільтрувальної тканини, конструкції фільтра та характеристики пилу.

Для ефективної регенерації тканини фільтра зворотною продувкою втрати тиску до фільтра повинні бути більшими від величини, визначеної за формулою

$$H_{\text{рег}} > 363 + 155 \cdot q, \text{ Па}$$

3.5 Принцип роботи та режим очистки високоефективних локальних фільтрів ZEO-FG і ZEO-FV

Пилоповітряна суміш очищується на фільтрувальних рукавах. Очищене повітря виходить в атмосферу з допомогою витяжного вентилятора. Очистка кожного рукава від пилу проходить автоматично при допомозі контролера і системи регенерації. Рукави фільтра виготовляють із фільтрувальної тканини – полістирол звичайного виконання з вологостійким, маслостійким або вологовідштовхуючим покриттям.

Через певні проміжки часу, які задаються контролером, кожний елемент по черзі отримує короткочасний впрыск стисненого повітря із відповідного патрубка.

Діаметр отворів і відстань від сопла до фільтруючого елемента розраховані так, що це забезпечує примусове втягування значного об'єму пилоповітряної суміші в середину фільтра одночасно з регенерацією одного із фільтрувальних елементів.

Це приводить до короткочасної потужної зміни напрямку потоку повітря через фільтрувальний елемент. Повітря надуває рукав і ефективно струшує з нього шар пилу. Потім пил повертається знову в технологічний потік матеріалу.

3.6 Розрахунок аспіраційного обладнання для аспірації просіювальної машини CRYLOC-47-31

Із табл. 1 [68] вибираємо значення витрат повітря на аспірацію просіювача $Q_c=600\text{м}^3/\text{год}$ і втрати тиску в ньому $H_{np}=50\text{ Па}$.

Визначаємо величину підсосів повітря в мережу Q_n і загальні витрати повітря, які повинен знепилити фільтр Q_ϕ .

$$Q_\phi = Q_{np} + Q_n, \text{ м}^3/\text{год},$$

$$Q_n = 0,05 \cdot Q_{np} = 0,05 \cdot 600 = 30 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$Q_\phi = 600 + 30 = 630 \text{ м}^3/\text{год} (0,18 \text{ м}^3/\text{с})$$

За витратами повітря вибираємо найближчий фільтр ZEO-FC-1000.

Площа фільтруючої поверхні рукавів $F_\phi=4,0 \text{ м}^2$.

Втрати тиску у фільтрі визначають за напруженістю тканини фільтра:

$$q = \frac{Q_\phi}{F_\phi}, \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2.$$

$$q = \frac{0,18}{4,0} = 0,045, \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2.$$

За графіком [2], рис. 4 визначаємо $H_\phi=890 \text{ Па}$.

Для розрахунку опору мережі складаємо площинну схему (рис.3.1).

$$H_{мер} = H_{np} + H_{нов} + H_\phi + H_{y\phi},$$

де H_{np} – гідравлічний опір просіювача, (50Па);

$H_{нов}$ – гідравлічний опір повітропроводу, Па;

H_ϕ – гідравлічний опір фільтра, Па;

$H_{y\phi}$ – втрати тиску на удар при виході повітря в атмосферу, Па.

Розраховуємо опір повітропроводу за виразом

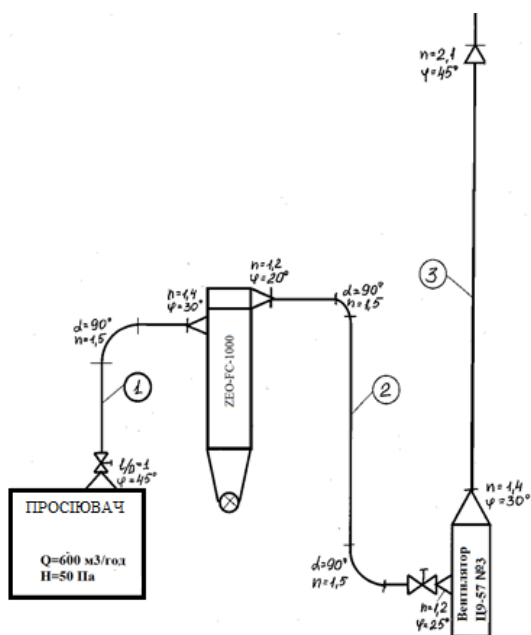
$$H_{нов} = \left(\lambda \frac{l}{D} + \sum \xi \right) \frac{\rho v^2}{2}, \text{ Па},$$

де λ – коефіцієнт опору по довжині повітропроводу;

l – довжина прямолінійних ділянок повітропроводів, м;

D – діаметр повітропроводу, м;

v – середня швидкість повітря в перерізі повітропроводу, м/с.


$$H_{\text{мер}} = H_{\text{пр}} + H_{\text{нов}} + H_{\text{ф}} + H_{\text{уд}},$$

де $H_{\text{пр}}$ – гідравлічний опір просіювача, (50Па);

$H_{\text{нов}}$ – гідравлічний опір повітропроводу, Па;

$H_{\text{ф}}$ – гідравлічний опір фільтра, Па;

$H_{\text{уд}}$ – втрати тиску на удар при виході повітря в атмосферу, Па.

Розраховуємо опір повітропроводу за виразом

$$H_{nos} = (\lambda \frac{l}{D} + \sum \xi) \frac{\rho v^2}{2}, \text{ Па,}$$

де λ – коефіцієнт опору по довжині повітропроводу;

D – діаметр повітропроводу, м;

ξ – коефіцієнт місцевого опору;

v – середня швидкість повітря в перерізі повітропроводу, м/с.

За номограмою О.В. Панченко за витратами повітря Q_ϕ і його рекомендованою швидкістю (10...12 м/с) знаходимо – λ/D , D , v , $N_{\text{дин}}$.

$$v = 11,7 \text{ м/с}, H_{\text{лин}} = 84 \text{ Па}, D = 140 \text{ мм}, \lambda/D = 0,138.$$

Коефіцієнт кожного місцевого опору приймаємо $\Sigma \xi = 0,2$; тобто $\Sigma \xi = 7 \cdot 0,2 = 1,4$, де 10 – кількість фасонних деталей.

$$H_{noe} = (0,138 \cdot 15 + 1,4)84 = 291,5 \text{ Па}$$

Розраховуємо втрати тиску на удар. При факельному викиді

$$H_{y\partial} = \frac{\rho v_{\text{вух}}^2}{2}, \text{ Па,}$$

де ρ – густина повітря, яка для стандартного стану повітря складає $1,2 \text{ кг/м}^3$;

$v_{вих}$ – швидкість чистого повітря на виході з конфузора, складає 20...22 м/с.

$$H_{\text{yo}} = \frac{1,2 \cdot 20^2}{2} = 240 \text{ Па}$$

Розраховуємо опір мережі

$$H_{\text{мер}} = 50 + 291,5 + 890 + 240 = 1471,5 \text{ Па}$$

Тиск, який повинен розвивати вентилятор треба збільшити на 10 %

$$H_{\text{с}} = 1,1 \cdot H_{\text{мер}} = 1,1 \cdot 1471,5 = 1618,6 \text{ Па.}$$

Витрати повітря, яке буде переміщувати вентилятор $Q_{\phi} = Q_{\text{с}}$

По $H_{\text{с}}$ та Q_{ϕ} , вибираємо вентилятор за аеродинамічними характеристиками $H_{\text{с}} = f(Q_{\text{с}})$ вітчизняного виробництва Ц9-57 №3, ККД якого дорівнює 0,45.

Необхідну потужність на валу електродвигуна визначають за формулою

$$N_{\text{ел.дв.}} = \frac{Q_{\text{с}} \cdot H_{\text{с}}}{1000 \cdot \eta_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{п}}}, \text{ кВт}$$

де $\eta_{\text{с}}$ – ККД вентилятора;

$\eta_{\text{пер}}$ – ККД передачі (0,98);

$\eta_{\text{п}}$ – ККД, що враховує опір у підшипниках (0,98).

$$N_{\text{ел.дв.}} = \frac{630 \cdot 1618,6}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,45 \cdot 0,98 \cdot 0,98} = 0,7 \text{ кВт}$$

Фактичну потужність електродвигуна N_{ϕ} визначають за виразом:

$$N_{\phi} = K_{\text{з}} \cdot N_{\text{ел.дв.}}, \text{ кВт,}$$

де враховують коефіцієнт запасу потужності електродвигуна $K_{\text{з}}$. Для електродвигунів потужністю до 5 кВт $K_{\text{з}}=1,15$.

$$N_{\phi} = 1,15 \cdot 0,7 = 0,81 \text{ кВт}$$

Вибираємо електродвигун 4А71В2У3 потужністю $N=1,1$ кВт з числом обертів $n=3000$ об/хв за комплектацією заводу-виробника.

3.7 Аспірація норії EL 2-12

За додатком методичних вказівок [68], (табл. 1) знаходимо, що для аспірації даної норії необхідно відібрати повітря з укриття норії $Q_{\text{н}}=700$ м³/год. При цьому опір норії $H_{\text{н}}=50$ Па.

При виборі фільтра враховуємо підсоси повітря

$$Q_{\phi} = 1,05 \cdot Q_{\text{н}} = 1,05 \cdot 700 = 735 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Вибираємо фільтр ZEO-FV-800.

Розраховуємо опір фільтра за виразом

$$H_{\phi} = A + B \cdot Q_{\phi}^2 = 670 + 360 \cdot 735 / 3600 = 743,5 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати тиску на удар при виході повітря з дифузора

$$H_{y\partial} = H_{\text{дин}} \left(\frac{1}{n} \right)^2,$$

n – приймаємо $n=2,0$

$$H_{\text{дин}} = \frac{\rho v_{\text{вих}}^2}{2} = \frac{1,2 \cdot 12^2}{2} = 86,4 \text{ Па}$$

$$\text{Тоді } H_{y\partial} = 86,4 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^2 = 21,6 \text{ Па}$$

Розраховуємо опір мережі

$$H_{\text{мер}} = H_{\text{и}} + H_{\phi} + H_{y\partial} = 50 + 743,5 + 21,6 = 815 \text{ Па}$$

$$H_{\text{с}} = 1,1 \cdot H_{\text{мер}} = 1,1 \cdot 815 = 897 \text{ Па}$$

По $Q_{\text{с}}$ та $H_{\text{с}}$ підбираємо вентилятор MN 602 – $N=1,1$ кВт, $Q_{\text{с}}=800$ м³/год, $H_{\text{с}}=1200$ Па.

Корисна потужність на валу вентилятора

$$N_{\text{с}} = \frac{Q_{\text{с}} \cdot H_{\text{с}}}{1000 \cdot \eta_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot 3600} = \frac{735 \cdot 897}{1000 \cdot 0,72 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 3600} = 0,3 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{ел.дв.}} = K_{\text{з}} \cdot N = 1,15 \cdot 0,3 = 0,35 \text{ кВт.}$$

Завод виробник рекомендує прийняти електродвигун потужністю $N=1,1$ кВт з числом обертів $n=2850$ об/хв.

3.8 Розрахунок конвеєра SC 1-13-2527

Витрати повітря 500 м³/год, опір 50 Па, площа фільтрувальної поверхні 4 м².

Спочатку виконуємо *компоновку* аспіраційної мережі та визначаємо *витрати повітря* Q_{ϕ} , що необхідно відібрати від транспортуючого обладнання $Q_{\text{то}}$, м³/год з метою утворення в ньому необхідного розрідження.

$$Q_{\phi} = 1,05 \cdot Q_{\text{то}}, \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{\phi} = 1,05 \cdot 500 = 525/3600 = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$$

Встановлюємо фільтр локальний горизонтальний ZEO-FG-800 на конвеєрі $Q=50$ т/год.

Розрахункову площу поверхні тканини фільтрів $F_{\text{фр}}$ визначаємо за формулою:

$$F_{\text{фр}} = Q_{\text{ф}} \cdot q^{-1}, \text{ м}^2$$

$$F_{\text{фр}} = 0,15 \cdot 4^{-1} = 0,038 \text{ м}^2$$

де q - напруженість тканини фільтра ($\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$) розрахункова, яка чисельно дорівнює умовній швидкості фільтрації повітря $v_{\text{ф}}$, ($\text{м}/\text{с}$).

Враховуючи те, що, при розрахунку втрат тиску в фільтрі, коефіцієнт a і показник ступеня h залежать від багатьох факторів і, в тому числі, від характеристики пилу, що ускладнює визначення цих параметрів втрати тиску у фільтрах типу ZEO-FG знаходимо за узагальненою формулою :

$$H_{\text{ф}} = A + B \cdot Q_{\text{ф}}^2, \text{ Па}$$

де A і B – коефіцієнти заводу виробника: $A = 670$, $B = 360$; [68]

$Q_{\text{ф}}$ – об'ємні витрати повітря, що повинне бути знепилено у фільтрі.

$$H_{\text{ф}} = 670 + 360 \cdot 0,15^2 = 678 \text{ Па}$$

Розраховуємо опір аспіраційної мережі:

$$H_{\text{мер}} = H_{\text{м}} + H_{\text{ф}} + H_{\text{уд}}, \text{ Па}$$

де $H_{\text{м}}$ – опір технологічного обладнання (машина, яка аспірується 50 Па);

$H_{\text{уд}}$ – витрати тиску на удар (вихід повітря).

$$H_{\text{мер}} = 50 + 678 + 15 = 743 \text{ Па}$$

Втрати тиску на удар $H_{\text{уд}}$ розраховуємо за формулою :

$$H_{\text{уд}} = H_{\text{дин}} \left(\frac{1}{n} \right)^2, \text{ Па}$$

де $H_{\text{дин}}$ - динамічний тиск на ділянці перед дифузором;

$n - 2$.

$$H_{\text{уд}} = 60 \left(\frac{1}{2} \right)^2 = 15 \text{ Па}$$

Динамічний тиск розраховуємо за формулою:

$$H_{\text{дин}} = \frac{\rho v^2}{2}, \text{ Па}$$

де ρ – густина повітря, яка для стандартного стану повітря складає $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$v_{\text{вих}}$ – швидкість чистого повітря на виході з вентилятора, яка для вентиляторів марки ВР складає $10 \dots 12 \text{ м}/\text{с}$ [68].

$$H_{\text{дин}} = \frac{1,2 \cdot 10^2}{2} = 60 \text{ Па}$$

Тиск, який повинен утворити вентилятор визначаємо:

$$H_{\text{в}} = 1,1 \cdot H_{\text{мер}}, \text{ Па}$$

$$H_B = 1,1 \cdot 743 = 817,3 \text{ Па}$$

Витрати повітря, яке буде переміщувати вентилятор :

$$Q_B = Q_\phi = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$$

Таким чином тип локального фільтра ZEO-FG-800 вибираємо вентилятор вітчизняного виробника Ц4-70 №2 1/2 та за графіком знаходимо ККД вентилятора. ККД для цього вентилятора дорівнює 0,6. [1]

Число обертів вентилятора та його ККД визначаємо за точкою перетину характеристик Q_B и $H_{\text{мер}}$, а необхідну потужність на валу електродвигуна визначаємо за формулою:

$$N = \frac{Q_B \cdot H_B}{1000 \cdot \mu_B \cdot \mu_{\text{пер}} \cdot \mu_{\text{п}}} , \text{ кВт},$$

де μ_B – ККД вентилятора;

$\mu_{\text{пер}}$ – ККД передачі (0,98);

$\mu_{\text{п}}$ – ККД, що враховує опір у підшипниках (0,98).

$$N = \frac{0,15 \cdot 817,3}{1000 \cdot 0,6 \cdot 0,98 \cdot 0,98} = 0,2 \text{ кВт}$$

Фактичну потужність електродвигуна N_y визначаємо з урахуванням коефіцієнта запасу потужності електродвигуна:

$$N_y = K_3 \cdot N, \text{ кВт}$$

Для електродвигунів потужністю до 0,5 кВт $K_3 = 1,5$

$$N_y = 1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ кВт}$$

Обираємо електродвигун SIEMENS типу 1LA7070-2AA потужністю $N=0,37$ кВт, з частотою обертів 2740, ККД=75%, масою 5 кг.

Розділ 4 Електропостачання та енергозбереження

4.1 Мета та задачі проєктування

Електропостачання цеху з виробництва твердого біопалива буде здійснюватися від районної енергосистеми з напругою 10 кВ та частотою змінного струму 50 Гц. Мережа живлення електрообладнання цеху здійснювалася від окремої електричної трансформаторної підстанції, а компенсація реактивної потужності підприємства буде здійснюватися конденсаторними установками.

У відповідності з проєктом будівництва електропостачання підприємства буде здійснюватися з двох незалежних джерел енергії із основної та резервної кабельної лінії з напругою 10 кВ, а електрична підстанція підприємства буде містити два силових трансформатора.

Живлення силових установок та електроприводів робочих машин у цеху підприємства здійснюється трифазною системою напруг з номінальним значенням напруги 380/220 В 50 Гц, а мережа освітлення однофазною напругою 220 В 50 Гц.

Задачею теперішнього розрахунку є визначення розрахункової потужності трансформаторної підстанції, вибір потужності силових трансформаторів та установок для компенсації реактивної потужності, а також перетин і тип кабелів системи внутрішнього електропостачання підприємства.

4.2 Визначення розрахункової активної потужності підприємства

Розрахункову активну потужність електричної трансформаторної підстанції приймачів підприємства визначаємо методом питомого споживання електроенергії за формулою [69, 70]:

$$P_P = \frac{W_{\text{ПИТ}} \cdot M_{\text{ДОБ}}}{T_{\text{ДОБ}}}, \quad (4.1)$$

де P_P – розрахункова активна потужність підприємства, кВт;

$W_{\text{ПИТ}}$ – питома витрата електроенергії для виробництва 1 т твердого біопалива,

					КРБ.ТЗіК.1.679-03.5.3			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Прутіян С.С.			Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Бордун Т.В.					109	10
Консульт.		Штепа Є.П.				ОНТУ 2026		
Зав.каф.		Макаринська А.В.						
Н.контр.								

$W_{ПИТ} = 50 \dots 60 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т};$

$M_{ДОБ}$ – добова продуктивність підприємства, $M_{ДОБ} = 120 \text{ т};$

$T_{ДОБ}$ – кількість годин роботи підприємства за добу, $T_{ДОБ} = 24 \text{ год}.$

Визначимо розрахункову активну потужність для підприємства:

$$P_P = \frac{W_{ПИТ} \cdot M_{ДОБ}}{T_{ДОБ}} = \frac{60 \cdot 120}{24} = 300 \text{ (кВт)} \quad (4.2)$$

Визначимо розрахункову активну потужність на освітлення приміщень лампами розжарювання:

$$P_{ОСВ} = 0,1 \cdot P_P, \quad (4.3)$$

Тоді:

$$P_{ОСВ} = 0,1 \cdot P_P = 0,1 \cdot 300 = 30 \text{ (кВт)}$$

4.3 Розрахунок повної потужності трансформаторної підстанції з урахуванням компенсації реактивної потужності

Повна потужність трансформаторної підстанції з урахуванням компенсації реактивної потужності визначається за формулою:

$$S_{ТП} = \sqrt{(P_P + P_{ОСВ})^2 + (Q_P - Q_{К НОМ})^2}, \quad (4.4)$$

де Q_P – розрахункова реактивна потужність приймачів:

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.5)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності, який знаходять по середньозваженому коефіцієнту потужності $\cos \varphi$ підприємства.

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos \varphi), \quad (4.6)$$

для цеху з виробництва твердого біопали $\cos \varphi = 0,85$, тоді:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos 0,85) = 0,62,$$

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \varphi = 300 \cdot 0,62 = 186 \text{ (квар)}$$

Потужність пристроїв для компенсації реактивної потужності визначають за формулою:

$$Q_K = Q_P - Q_E, \quad (4.7)$$

де Q_E – оптимальна реактивна потужність підприємства, яка задається енергосистемою РЕС та звичайно складає:

$$Q_E = 0,3 \cdot (P_P + P_{ОСВ}). \quad (4.8)$$

Тоді оптимальна реактивна потужність підприємства Q_K що проектується:

$$Q_E = 0,3 \cdot (300 + 30) = 99 \text{ (квар)},$$

$$Q_K = Q_P - Q_E = 186 - 99 = 87 \text{ (квар)}$$

Вибираємо потужність $Q_{НОМ}$, тип та кількість пристроїв для компенсації реактивної потужності з вимогами:

$$2Q_{НОМ} \geq Q_K. \quad (4.8)$$

Таблиця 4.1 – Технічні дані конденсаторних компенсуючих установок

Тип	Номинальна напряга $U_{НОМ}$, кВ	Номинальна потужність $Q_{НОМ}$, квар	Номинальна ємність $C_{НОМ}$, мкФ	Число ступенів регулювання	Маса, кг
КС2-0,38-50-3У3	0,38	50	363	1	60

Сумарна потужність компенсуючих пристроїв складає:

$$Q_{K\text{НОМ}} = n \cdot Q_{НОМ}, \quad (4.9)$$

де n – кількість компенсуючих пристроїв, $n = 2$;

$Q_{НОМ}$ – номінальна потужність компенсуючого пристрою, $Q_{НОМ} = 50$ квар.

Тоді:

$$Q_{K\text{НОМ}} = n \cdot Q_{НОМ} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ квар},$$

а повна потужність трансформаторної підстанції складає:

$$S_{ТП} = \sqrt{(P_P + P_{OCB})^2 + (Q_P - Q_{K\text{НОМ}})^2} = \sqrt{(300 + 30)^2 + (186 - 100)^2} = 341 \text{ (кВ А)}$$

Таблиця 4.2 – Технічні дані силових трансформаторів

Тип	Номинальна потужність $S_{НОМ}$, кВ·А	Номинальна напряга, кВ		Струм холостого ходу, $I_x\%$	Втрати потужності, кВт		Напряга короткого замикання, $U_K\%$
		Первинна, $U_{1НОМ}$	Вторинна, $U_{2НОМ}$		холостого ходу, P_x	короткого замикання, P_K	
ТМ250/10-0,4	250	10	0,4	2,3	0,8	3,7	4,5

Потужність одного трансформатора $S_{ТР}$ повинна забезпечувати навантаження не менше 60...80 % повної потужності ТП $S_{ТП}$ і складає:

$$S_{ТР} = (0,6 \dots 0,8) S_{ТП}, \quad (4.10)$$

тоді:

$$S_{TP} = 0,7 \cdot 341 = 239 \text{ (кВ} \cdot \text{А)}$$

Вибираємо тип силового трансформатора $S_{TP \text{ ном}} \geq S_{TP}$.

4.4 Перевірка потужності трансформаторів з урахуванням їх перевантажувальної здатності

Використовуючи графік добового навантаження цеху з виробництва твердого біопалива, визначимо коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_{3T} = \frac{\sum S_i \cdot t_i}{24 \cdot 100}, \quad (4.11)$$

де K_{3T} – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

S_i – навантаження ТП на i -тої ділянці часу, %;

t_i – тривалість i -тої ділянки часу, годин.

Тоді:

$$K_{3T} = \frac{\sum S_i \cdot t_i}{24 \cdot 100} = \frac{20 \cdot 6 + 30 \cdot 2 + 100 \cdot 4 + 70 \cdot 2 + 80 \cdot 4 + 50 \cdot 6}{24 \cdot 100} = 0,65.$$

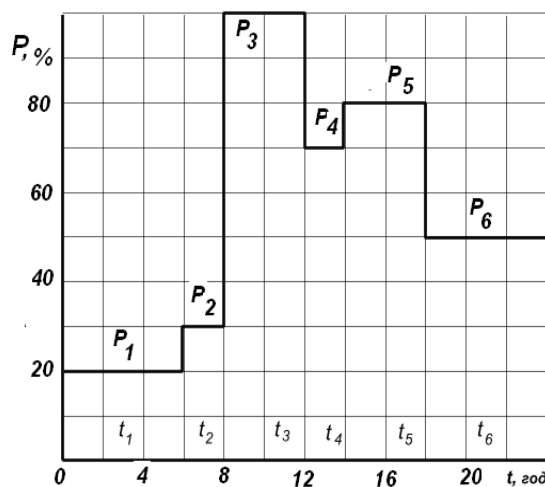


Рис. 4.1 – Графік добового навантаження цеху з виробництва твердого біопалива

Максимальна потужність навантаження цеху складає на протязі першої зміни з 8 до 12 годин $t_{M1} = 4$ год., та для вечірньої зміни з 14 до 17 годин $t_{M2} = 3$ год., тоді загальна тривалість максимального навантаження за добу:

$$t_M = t_{M1} + t_{M2} = 4 + 3 = 7 \text{ (год)}$$

За графіком допустимих силових перевантажень силового трансформатора, визначаємо коефіцієнт допустимих перевантажень трансформатора:

$$K_{ДП} = 1,14 \text{ при } K_{ЗТ} = 0,65 \text{ та } t_M = 7 \text{ (год)}$$

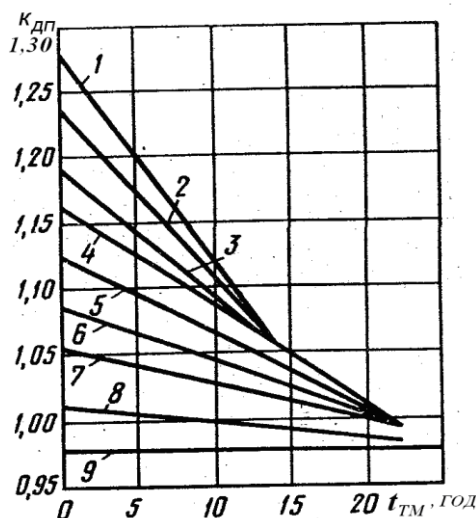


Рис. 4.2 – Графік допустимих перевантажень силових трансформаторів для $K_{ЗТ}$:
1 - 0,60; 2 - 0,65; 3 - 0,70; 4 - 0,75; 5 - 0,80; 6 - 0,85; 7 - 0,90; 8 - 0,95; 9 - 1,00.

Таблиця 4.3 – Технічні дані силових трансформаторів

Тип	Номинальна потужність $S_{НОМ}$, кВ·А	Номинальна напруга, кВ		Струм холостого ходу, $I_x\%$	Втрати потужності, кВт		Напруга короткого замикання, $U_K\%$
		Первинна, $U_{1НОМ}$	Вторинна, $U_{2НОМ}$		холостого ходу, P_X	короткого замикання, P_K	
ТМ160/10-0,4	160	10	0,4	2,4	0,6	2,7	4,5

Потужність кожного із двох трансформаторів з урахуванням їх перевантажень складає:

$$S_{ТП} \geq \frac{S_{ТП}}{2 \cdot K_{ДП}}, \quad (4.12)$$

де $S_{ТП}$ – повна розрахункова потужність трансформаторної підстанції, кВА;
 $K_{ДП}$ – коефіцієнт додаткового перевантаження трансформаторів.

Тоді:

$$S_{TP} \geq \frac{S_{ТП}}{2 \cdot K_{ДП}} = \frac{341}{2 \cdot 1,14} = 149,5 \text{ (кВ}\cdot\text{А)}$$

Уточнюємо тип та номінальну потужність трансформаторів з урахуванням їх перевантажувальної здібності $S_{TP\text{ ном}} \geq S_{TP}$.

Таким чином, потужність кожного з трансформаторів може бути знижена від 250 кВ·А до 160 кВ·А.

4.5 Техніко-економічне порівняння роботи силових трансформаторів

Визначимо приведені втрати у трансформаторі за формулами [69, 70]:

$$\Delta P'_X = \Delta P_X + K_E \Delta Q_X, \quad (4.13)$$

$$\Delta P'_K = \Delta P_K + K_E \Delta Q_K, \quad (4.14)$$

де ΔP_X , ΔP_K – втрати трансформатора у режимах Х.Х. та К.З. вибираємо з табл. 4.3, кВт;

K_E – коефіцієнт економічного еквіваленту реактивної потужності, він залежить від потужності енергосистеми РЕС, та звичайно складає:

$$K_E = 0,05 \text{ кВт / квар};$$

ΔQ_X – реактивні втрати трансформатора у режимі Х.Х:

$$\Delta Q_X = \frac{S_{НОМ} \cdot I_X \%}{100}. \quad (4.15)$$

ΔQ_K – реактивні втрати трансформатора у режимі К.З:

$$\Delta Q_K = \frac{S_{НОМ} \cdot U_K \%}{100}, \quad (4.16)$$

тоді:
$$\Delta Q_X = \frac{S_{НОМ} \cdot I_X \%}{100} = \frac{160 \cdot 2,4}{100} = 3,84 \text{ (кВт)},$$

$$\Delta Q_K = \frac{S_{НОМ} \cdot U_K \%}{100} = \frac{160 \cdot 4,5}{100} = 7,20 \text{ (кВт)},$$

$$\Delta P'_X = \Delta P_X + K_E \Delta Q_X = 0,8 + 0,05 \cdot 3,84 = 1,19 \text{ (кВт)},$$

$$\Delta P'_K = \Delta P_K + K_E \Delta Q_K = 2,7 + 0,05 \cdot 7,20 = 3,06 \text{ (кВт)}$$

Потужність, при якій економічно виправдано відключати від паралельної роботи один з двох трансформаторів визначають за формулою:

$$S_{ЕК} = S_{НОМ} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P'_X}{\Delta P'_K}}, \quad (4.17)$$

де $S_{НОМ}$ – номінальна потужність одного трансформатора, кВ·А.

Тоді:

$$S_{EK} = 160 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{1,19}{6,06}} = 100,3 \text{ (кВ}\cdot\text{А)}$$

Коефіцієнт навантаження двох трансформаторів $m = 2$ при цьому складає:

$$S\% = \frac{S_{EK}}{m \cdot S_{НОМ}} \cdot 100\%, \quad (4.18)$$

тоді:

$$S\% = \frac{100,3}{2 \cdot 160} \cdot 100 = 31,3\%.$$

Таким чином, при навантаженні підстанції менш ніж $S\% = 31,3\%$ один з трансформаторів можна відключити.

За графіком добового навантаження (рис. 4.1) робимо висновок, що на протязі доби один з двох трансформаторів можна відключити у перебігу $\sum t = 6$ годин, що складає:

$$\Delta T_{MAX\%} = \frac{\sum t}{24} \cdot 100\%, \quad (4.19)$$

тоді:

$$\Delta T_{MAX\%} = \frac{6}{24} \cdot 100 = 25,0 (\%)$$

При цьому тривалість використання розрахункової активної потужності на протязі року зменшиться і складає:

$$T'_{MAX} = T_{MAX} \cdot \frac{100 - \Delta T_{MAX\%}}{100}, \quad (4.20)$$

тоді:

$$T'_{MAX} = 5000 \cdot \frac{100 - 25,0}{100} = 3750 \text{ (год)}$$

де T_{MAX} – річний фонд годин роботи підприємства, для цеху з виробництва твердого біопалива $T_{MAX} = 5000$ годин.

4.6 Вибір перерізу жил та марки кабелю

Визначаємо розрахунковий струм ТП до компенсації реактивної потужності [69, 70]:

$$I_P = \frac{1000 \cdot S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (4.21)$$

де S_P – повна розрахункова потужність ТП без урахування компенсації реактивної потужності, кВ·А:

$$S_P = \sqrt{(P_P + P_{OCB})^2 + Q_P^2}, \quad (4.22)$$

тоді:

$$S_P = \sqrt{(300 + 30)^2 + 186^2} = 388 \text{ (кВ·А)}$$

$$I_P = \frac{388 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 587 \text{ (А)}$$

Вибираємо кабель АВРГ- чотирьохжильний з алюмінієвими жилами і полівінілхлоридною ізоляцією прокладений у землі. За таблицею знаходимо стандартний переріз жил кабелю:

$$S_K = 150 \text{ мм}^2, \text{ струм } I_{ДОП} = 335 \text{ А.}$$

Тоді кількість паралельних кабельних ліній m складає:

$$m = I_P / I_{ДОП} = 587 / 335 = 2,0 \text{ (од.)}$$

Перевіряємо вибраний переріз жил кабелю на допустиму втрату напруги:

$$\Delta U \% = \frac{10^5 \cdot (P_P + P_{OCB})}{U_{НОМ}^2} \cdot R_L, \quad (4.23)$$

$$R_L = \rho \cdot \frac{L}{S_O}, \quad (4.24)$$

де ρ – питомий погонний опір алюмінію, $\rho = 0,032 \text{ Ом мм}^2/\text{м}$;

L – довжина кабелю, $L = 120 \text{ м}$;

S_O – загальний переріз жил паралельних кабелів, $S_O = S_K \cdot m = 150 \cdot 2 = 300 \text{ мм}^2$.

Тоді:

$$R_L = 0,032 \cdot \frac{120}{300} = 0,013 \text{ (Ом)},$$

$$\Delta U \% = \frac{10^5 \cdot (300 + 30)}{380^2} \cdot 0,013 = 2,76 \text{ (\%)}$$

4.7 Річні витрати електроенергії та їх вартість

Річна витрата електроенергії на виробництво продукції та освітлення підприємства складає [69, 70]:

$$W_A = (P_P + P_{OCB}) \cdot T_{MAX}, \quad (4.25)$$

$$W_A = (300 + 30) \cdot 5000 = 1500000 \text{ (кВт·год)}$$

Вартість електроенергії складає:

$$S_0 = d_0 \cdot W_A, \quad (4.26)$$

де d_0 – тариф на електроенергію, $d_0 = 6$ грн/кВт·год,
тоді:

$$S_0 = 6 \cdot 1500000 = 9000000 \text{ (грн)}$$

Розрахунки по економії електроенергії на підприємстві.

Розрахунковий струм лінії живлення ТП після компенсації реактивної потужності складає:

$$I'_P = \frac{1000 \cdot S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1000 \cdot 341}{\sqrt{3} \cdot 380} = 517 \text{ (А)}$$

а струм лінії живлення зменшиться на:

$$\Delta I_P \% = \frac{I_P - I'_P}{I_P} \cdot 100\% = \frac{587 - 517}{587} \cdot 100 = 11,93 \text{ (\%)}$$

що зменшить вартість втрат електроенергії в лінії живлення.

Втрати електроенергії в лінії живлення складають:

- до компенсації реактивної потужності навантаження підприємства:

$$W_L = 3 \cdot R_L \cdot I_P^2 \cdot T_{MAX} \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 0,013 \cdot 587^2 \cdot 5000 \cdot 10^{-3} = 67191 \text{ (кВт·год)}$$

- після компенсації реактивної потужності навантаження підприємства:

$$W'_L = 3 \cdot R_L \cdot I'^2_P \cdot T_{MAX} \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 0,013 \cdot 517^2 \cdot 5000 \cdot 10^{-3} = 52121 \text{ (кВт·год)}$$

Втрати електроенергії у трансформаторах складають:

- при паралельній роботі двох трансформаторів у перебігу T_{MAX} :

$$W_{TP} = 2 \cdot \Delta P'_K \cdot T_{MAX} = 2 \cdot 3,06 \cdot 5000 = 30600 \text{ (кВт·год)},$$

- при паралельній роботі двох трансформаторів у перебігу T'_{MAX} :

$$W'_{TP} = 2 \cdot \Delta P_K \cdot T'_{MAX} = 2 \cdot 2,7 \cdot 3750 = 20250 \text{ (кВт·год)}$$

Витрати електроенергії на освітлення складають:

- для ламп розжарювання:

$$W_{OCB} = q \cdot P_P \cdot T_{MAX} = 0,10 \cdot 300 \cdot 5000 = 150000 \text{ (кВт·год)}$$

- для люмінесцентних ламп:

$$W'_{OCB} = q' \cdot P_P \cdot T_{MAX} = 0,04 \cdot 300 \cdot 5000 = 60000 \text{ (кВт·год)}$$

де q , q' - коефіцієнти, для ламп розжарювання $q = 0,1$; для люмінесцентних ламп – у залежності від їх типу, $q' = 0,035 \dots 0,06$.

Результати розрахунків по економії електроенергії зведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4. – Витрати та економія електроенергії

Споживачі	Втрати електроенергії, кВт·год.		Економія електроенергії, кВт·год.
	До впровадження заходів по економії	Після впровадження заходів по економії	
Кабельна лінія	$W_L = 67191$	$W'_L = 52121$	$\Delta W_L = 15070$
Трансформатори	$W_{TP} = 30600$	$W'_{TP} = 20250$	$\Delta W_{TP} = 10350$
Освітлення	$W_{OCB} = 150000$	$W'_{OCB} = 60000$	$\Delta W_{OCB} = 90000$
Всього			$\Delta W = 115420$

Загальна річна економія електроенергії на підприємстві за розрахунками складає $\Delta W = 115420$ кВт·год, а річна вартість зекономленої електроенергії дорівнює:

$$\Delta S_0 = d_0 \cdot \Delta W = 6 \cdot 115420 = 692520 \text{ (грн)}$$

що складає:

$$\Delta S\% = \frac{\Delta S_0}{S_0} \cdot 100\% = \frac{692520}{9000000} \cdot 100 = 7,7 \text{ (\%)}$$

від річної вартості електроенергії $S_0 = 9000000$ грн.

Висновки

1. Розрахункова повна потужність електричної підстанції підприємства складає $S_{ТП} = 341$ кВ·А, яку можливо забезпечити двома силовими трансформаторами типу ТМ160/10-0,4 з номінальною потужністю кожного $S_{НОМ} = 160$ кВ·А.

2. Компенсацію реактивної потужності підприємства можливо здійснювати двома конденсаторними установками КС2-0,4-67-3У3 з номінальною реактивною потужністю $Q_{НОМ} = 50$ квар кожна.

3. Впроваджені заходи до компенсації реактивної потужності, зниження номінальної потужності силових трансформаторів та відключення їх в години зниження споживання електроенергії на підприємстві, вибору раціонального перерізу жил кабельних ліній живлення та заміна ламп розжарювання на люмінесцентні енергозберігаючі лампи. Ці заходи дають щорічну економію електроенергії на суму $\Delta S_0 = 692520$ грн/рік, що складає $\Delta S\% = 7,7 \text{ \%}$ від річної вартості електроенергії, яка складає $S_0 = 9000000$ грн.

Розділ 5 Охорона праці

Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Аналізуючи технологічну схему виробництва твердого біопалива (паливних гранул з соломи) бачимо, що у процесі роботи можуть виникнути наступні потенційно небезпечні й шкідливі виробничі фактори [71, 72]:

- рухливі частини технологічного обладнання (ножовий подрібнювач тюків соломи, молоткова дробарка, прес-гранулятор, конвеєри, транспортери, норії, пневмопроводи, підвісна монорейкова система (кран-балка з автоматичним захватом);
- конструкції, які руйнуються (це вікна та двері у цеху);
- рухомі матеріали (вихідна сировина, готова продукція, що переміщується по самопливах, конвеєрах, транспортерах, пневмопроводах);
- підвищена запиленість повітря робочої зони будівлі (ГДК пилу становить 2-6 мг/м³);
- підвищена температура поверхні обладнання (молоткова дробарка, кондиціонер, прес-гранулятор, охолоджувальна колонка);
- підвищений рівень вібрації на робочому місці (ножовий подрібнювач тюків соломи, молоткова дробарка, прес-гранулятор); 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, охолоджувальна колонка); норма 15-21 °С;
- підвищений рівень шуму на робочому місці (ножовий подрібнювач тюків соломи, молоткова дробарка, прес-гранулятор, 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);

					КРБ.ТЗіК.1.679-03.5.3						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Прутіян С.С.			Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»			Лім.	Арк.	Аркушів	
Керівник		Бордун Т.В.								119	5
Консульт.		Бордун Т.В.						ОНТУ 2026			
Зав.каф.		Макаринська А.В.									
Н.контр.											

- 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, транспортне обладнання, аспіраційні установки, молоткова дробарка, ножовий подрібнювач тюків соломи);
- 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 цеху 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, технологічне і транспортне обладнання розміщено на площадках);
- 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 вібруючих 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 підшві);

– 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, віброізованих від підлоги і інших конструкцій будівель (ножовий подрібнювач тюків соломи, молоткова дробарка, вентилятор, прес-гранулятор) [71, 72].

Забезпечення нормованих показників мікроклімату та чистоти повітря

Для забезпечення нормативних показників мікроклімату та чистоти повітря в робочій зоні проєктом передбачені наступні заходи [71, 72]:

– 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 (молоткова дробарка, 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).

Проєктом 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, проєктом 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 стекла 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.

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, норій, бункерів та іншого технологічного обладнання.

У приміщеннях виробничого корпусу цеху 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 легкоскридних конструкцій [71, 72].

Заходи із пожежовибухонебезпеки

Цех з виробництва твердого біопалива відноситься до пожежовибухонебезпечних виробництв категорії «Б». Проєктом передбачено захист від блискавки на даху будівлі виробничого корпусу з заземленням; установку 5 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 (ножового подрібнювача тюків соломи, молоткової дробарки, преса-гранулятора) [71, 72].

Захист працюючих від ураження електричним струмом

Виробничі приміщення цеху з виробництва твердого біопалива за показниками електронебезпеки відносяться до категорії приміщень з підвищеною небезпекою. Для захисту працюючих від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції проєктом передбачені наступні заходи:

- недосяжність струмоведучих частин – прокладання їх на висоті 2,5 метра від рівня підлоги; кабель в жолобах із заземленням;
- захисне заземлення корпусів електрообладнання і елементів електроустановок, які можуть бути під напругою (все технологічне обладнання яке живиться електроенергією, а також усі металеві конструкції;
- блокування, написи, плакати, засоби індивідуального захисту (діелектричні килимки, «Стій», «Напруга», «Небезпечно»);
- захист від статичної електрики (паста для змазування рук) [71, 72].

Розроблений комплекс заходів з охорони праці та техніки безпеки для цеху ТОВ «Золочів Інвест» повністю нівелює шкідливий вплив специфічних факторів виробництва біопалива. Реалізація запропонованих рішень щодо вентиляції, нормованого освітлення, вибухо- та електробезпеки створює надійне й безпечне робоче середовище на кожному етапі технологічного процесу.

Розділ 6 Оцінка економічної ефективності будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»

6.1 Розрахунок необхідної суми інвестицій

З метою отримання альтернативного виду твердого біопалива власного виробництва ТОВ «Золочів Інвест» необхідні грошові кошти для вкладення як в основні фонди, так і в оборотні кошти – інвестиції.

Загальна сума інвестицій (I) складається з [73]:

– первісної вартості впроваджуваного обладнання ($PB_{об}$); первісної вартості будівельних робіт ($PB_{буд}$); додаткових оборотних коштів, які знадобляться підприємству у разі збільшення обсягу виробництва продукції (ΔOK).

$$I = PB_{об} + PB_{буд} + \Delta OK \quad (6.1)$$

Інвестиції в основні фонди є первісною вартістю запропонованого до впровадження обладнання та будівельних робіт.

До складу первісної вартості впроваджуваного обладнання ($PB_{об}$) входять вартість його придбання ($B_{пр}$), транспортні витрати на доставку (T_p), заготівельно-складські витрати (Z_c) та витрати на монтаж обладнання (M_n):

$$PB_{об} = 1,2 \times (B_{пр} + T_p + Z_c + M_n) \quad (6.2)$$

де $T_p = 8 \%$ від вартості придбання обладнання;

$Z_c = 2 \%$ 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. 6.1.

					КРБ.ТЗіК.1.679-03.5.3			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Прутіян С.С.			Будівництво цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест»	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник		Бордун Т.В.					124	10
Консульт.		Басюркіна Н.Й.				ОНТУ 2026		
Зав.каф.		Макаринська А.В.						
Н.контр.								

Таблиця 6.1 – Кошторисно-фінансовий розрахунок вартості придбання та монтажу впровадженого обладнання

Обладнання	Кількість одиниць	Вартість обладнання, тис. грн. з ПДВ		
		одиниці	загальна	монтаж
1	2	3	4	5
Монорейкова система (кран-балка)	1	2616,670	2 616,670	261,667
Ножовий подрібнювач тюків соломи V-mix FixPlus, BVL (Німеччина)	1	3641,742	3 641,742	364,174
Каменеуловлювач SEP 01-00-a, Industry Prof (Латвія)	2	134,215	268,430	26,843
Молоткова дробарка HM 1300-1000, Jensen Gelting (Німеччина)	1	3770,000	3 770,000	377,000
Кондиціонер KD 450-1800, Jensen Gelting (Німеччина)	1	908,555	908,555	90,856
Прес-гранулятор Salmatec Maxima 900, Salmatec (Німеччина)	1	12215,954	12215,954	1221,595
Охолоджувальна колонка VK 24x24 KL-P, Geelen Counterflow (Німеччина)	1	1565,268	1 565,268	156,527
Просіювальна машина CRYLOC-47-31, Ottevanger (Нідерланди)	1	894,122	894,122	89,412
Гідравлічний пол, Industry Prof (Латвія)	1	3048,063	3 048,063	304,806
Система автоматизації	1	6195,580	6 195,580	619,558
Магнітна плита СПМ 220/630, (Україна)	1	103,000	103,000	10,300
Фільтр MPP, Industry Prof (Латвія)	1	2036,805	2 036,805	203,681
Циклон СК 1600, Industry Prof (Латвія)	1	670,000	670,000	67,000
Вентилятор, (Україна)	2	240,157	480,314	48,031
Транспортер (стіл) IP 25170-10, Industry Prof (Латвія)	1	385,955	385,955	38,596
Транспортер IP 25171-a, Industry Prof (Латвія)	1	1588,799	1 588,799	158,880

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
Транспортер під нахилом SF 01-00-а, Industry Prof (Латвія)	1	1473,138	1 473,138	147,314
Конвеєр VBD-350, Industry Prof (Латвія)	1	617,835	617,835	61,784
Транспортер Z-подібний KSK 800-00-0, Industry Prof (Латвія)	1	1520,853	1 520,853	152,085
Живильник CSC 2-2-2525, Industry Prof (Латвія)	1	283,416	283,416	28,342
Транспортер КТА 350-00-0а, Industry Prof (Латвія)	1	625,812	625,812	62,581
Транспортер КТА-350, Industry Prof (Латвія)	1	640,552	640,552	64,055
Транспортер DCC IP-2520, Industry Prof (Латвія)	1	616,262	616,262	61,626
Конвеєр SC 1-13-2527, Industry Prof (Латвія)	1	604,937	604,937	60,494
Конвеєр SC 1-11-2522, Industry Prof (Латвія)	1	334,712	334,712	33,471
Норія EL 2-7, Industry Prof (Латвія)	1	839,616	839,616	83,962
Норія EL 2-12, Industry Prof (Латвія)	1	850,326	850,326	85,033
Всього			49097,7	4909,8

Додатково розрахуємо вартість бункерів (10 % від вартості основного обладнання)

$$ПВ_{\text{бунк}} = 49097,7 \times 0,10 = 4909,8 \text{ (тис. грн.)}$$

Витрати на транспортування та зберігання обладнання:

$$T_p = 49097,7 \times 0,08 = 3927,8 \text{ (тис. грн.)}$$

$$З_c = 49097,7 \times 0,02 = 982,0 \text{ (тис. грн.)}$$

$$ПВ_{\text{об}} = 1,2 \times (49097,7 + 4909,8 + 4909,8 + 3927,8 + 982,0) = 76592,52 \text{ (тис. грн.)}$$

Розрахунок інвестицій у будівництво проводимо на основі методу питомих капітальних вкладень. Питомі капітальні вкладення на будівництво 1 м² виробничої будівлі заводу складають 32 000 грн. Додатково необхідно врахувати капітальні витрати на проведення комунікацій (20 % від інвестицій на

будівництво). Враховуючи загальну площу виробничої будівлі 648 м² інвестиції на будівництво становлять:

$$\text{ПВ буд} = 648 \times 32000 \text{ грн/кв.м.} \times 1,2 / 1000 = 24883,2 \text{ (тис. грн)}$$

Підприємству знадобляться оборотні кошти. Обсяг оборотних коштів визначають за формулою:

$$\text{ОК} = \text{ОВ} \times \frac{T_{\text{об}}}{360}, \quad (6.3)$$

де ОК – оборотні кошти підприємства;

ОВ – обсяг виробництва продукції за рік;

$T_{\text{об}}$ – тривалість 1 обороту оборотних коштів.

$$\text{ОК} = 99247,1 \times 45/360 = 12405,9 \text{ (тис. грн)}$$

$$I = 76592,52 + 24883,2 + 12405,9 = 113881,6 \text{ (тис. грн)}$$

6.2 Розрахунок виробничої програми

Розрахунок виробничої програми підприємства представимо у вигляді табл. 6.2, 6.3.

Таблиця 6.2 – Розрахунок планового обсягу виробництва підприємства

	Показники	Значення
1	Виробнича потужність підприємства, т/добу	120
2	Плановий фонд робочого часу підприємства, діб	330
3	Коефіцієнт використання виробничої потужності	0,8
4	Плановий обсяг виробництва на рік, тис. т	31,68

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

Таблиця 6.3 – Виробнича програма підприємства

Вид продукції	Частка, %	Обсяг виробництва, т
Паливні гранули з соломи пшеничної	100	31680
Всього	100	31680

6.3 Розрахунок собівартості продукції

Матеріальні витрати. Витрати на сировину та матеріали

Розраховуємо калькуляцію витрат на сировину табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Витрати на сировину на 1 т паливних гранул

Назва інгредієнту	У рецепті, %	Ціна 1 т інгредієнту, грн	Вартість інгредієнту
			в 1 т гранульованого палива, грн
Солома пшенична	100	250,0	250,0
Всього	100		250,0

Загальні витрати на сировину представлені у табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Розрахунок загальних витрат на сировину

Вид продукції	Обсяг виробництва, т	Витрати на сировину на 1 т	Загальні витрати на сировину
Солома пшенична	31680	250,0	7920,0
Всього	31680	250,0	7920,0

Додаткові витрати на паливо й енергію

Витрати на енергію у зв'язку із зміною обладнання в результаті будівництва цеху можна розрахувати за формулою [73]:

$$E = N \times P_{\text{річ}} \times \Gamma_{\text{доб}} \times K_c \times \frac{m}{1000} \quad (6.4)$$

де N – сумарна потужність електродвигунів обладнання;

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

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

K_c – коефіцієнт використання потужності електродвигунів;

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

$$E = 530 \times 330 \times 24 \times 1 \times 6/1000 = 25185,6 \text{ (тис. грн)}$$

Витрати на паливо в зв'язку з організацією процесу гранулювання соломи розраховуємо за допомогою табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Розрахунок додаткової вартості палива

Показники	Гранулювання
1	2
1. Річний обсяг гранулювання, тис. т	31,68
2. Норма витрачання умовного палива на гранулювання 1 тонни твердого біопалива, кг	12
3. Річна потреба в умовному паливі, т	380,2
4. Вид натурального палива	газ

1	2
5. Коефіцієнт переводу умовного палива в натуральне	0,88
6. Річна потреба в натуральному паливі, т (або куб. м)	334,6
7. Вартість 1 тонни (або 1 куб. м) натурального палива, грн	24000
8. Вартість річної потреби натурального палива, тис. грн	8030,4

Загальні витрати на паливо та енергію:

$$B_{\text{пе}} = 25185,6 + 8030,4 = 33216 \text{ (тис. грн)}$$

Загальні матеріальні витрати:

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

$$MB = 7920 + 33216 = 41136 \text{ (тис. грн)}$$

Витрати на оплату праці

По проєкту для роботи підприємства необхідно 2 виробничі зміни на добу.
Всього 4 зміни працівників (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 – 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
Начальник зміни	1	6	166,1	2080	345488
Крановщик	1	5	141,5	2082	294320
Всього основна заробітна плата	2				639808
Додаткова заробітна плата (20 %)					127961,6
Всього основна і додаткова заробітна плата,					767769,6

Витрати на оплату праці на одну зміну – 767769,6 грн

Кількість змін – 2×2

Загальні витрати на оплату праці виробничого персоналу 3071078,4 грн

Відрахування на соціальні заходи

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

$$B_{\text{СЗ}} = 3071,078 \times 0,22 = 675,637 \text{ (тис. грн)}$$

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 [73]:

$$\Delta A_{\text{буд(обл)}} = (ПВ_{\text{буд(обл)}} - БВ_{\text{буд(обл)}}) * H_a / 100, \quad (6.5)$$

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

$БВ_{\text{буд}}$ та $БВ_{\text{обл}}$ – 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 ($H_a = 20 \%$).

$$A_{\text{обл.}} = 76592,52 / 1,2 \times 0,2 = 12765,4 \text{ (тис. грн)}$$

$$A_{\text{буд.}} = 24883,2 / 1,2 \times 0,05 = 1036,8 \text{ (тис. грн)}$$

$$A_{\text{заг.}} = 12765,4 + 1036,8 = 13802,2 \text{ (тис. грн)}$$

Відрахування на ремонт будівель, споруд ($PM_{\text{буд}}$) та обладнання ($PM_{\text{обл}}$) необхідно визначити у розмірі 10 % від амортизаційних відрахувань будівель, споруд та обладнання відповідно:

(6.6)

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

$$PM_{\text{обл.}} = 76592,52 \times 0,1 = 7659,3 \text{ (тис. грн)}$$

$$PM_{\text{буд.}} = 24883,2 \times 0,1 = 2488,3 \text{ (тис. грн)}$$

$$PM_{\text{заг.}} = 7659,3 + 2488,3 = 10147,6 \text{ (тис. грн)}$$

Загальні витрати за статтею «Амортизація» складають:

$$13802,2 + 10147,6 = 23949,8 \text{ (тис. грн)}$$

Додаткові інші витрати

Інші витрати можна прийняти на рівні 5 % від матеріальних витрат підприємства

$$В_{\text{інші}} = 41136 \times 0,05 = 2056,8 \text{ (тис. грн)}$$

Усі статті собівартості продукції наведено в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Розрахунок виробничих витрат підприємства

Елементи економічних витрат	Сума витрат, тис. грн	
	Всього, тис. грн	на 1 т, грн
1. Матеріальні витрати	41136	1298,5
у тому числі: сировина та матеріали	7920	250
паливо та енергія	33216	1048,5
2. Витрати на оплату праці	3071,08	96,9
3. Відрахування на соціальні заходи	675,64	21,3
4. Амортизація основних фондів	23949,8	756
5. Інші витрати	2056,8	64,9
Всього витрат (собівартість виробленої продукції)	70889,32	2237,7

Загальна величина виробничих витрат (окрім витрат на сировину) складає 62969,32 тис. грн. Розрахуємо повну собівартість окремих видів продукції (табл. 6.9).

Таблиця 6.9 – 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 з соломи пшеничної	31680	250	7920	62969,32	1987,7	2237,7
Всього	31680		7920	62969,32		

6.4 Розрахунок річного обсягу реалізованої продукції та прибутку від реалізації продукції

Розрахунок річного обсягу виробництва та суми прибутку проведемо в табл. 6.10. Рівень рентабельності продукції приймаємо в межах 40 %, щоб забезпечити конкурентоспроможну ціну на даний вид продукції та такий розмір прибутку, який дозволить підприємству окупити інвестовані кошти [73].

Таблиця 6.10 – 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 з соломи пшеничної	31680	2237,7	40	3132,8	70890,3	99247,1	28356,8
Всього	31680				70890,3	99247,1	28356,8

Таким чином, річний обсяг виробленої та реалізованої продукції становитиме 99247,1 тис. грн, а прибуток – 28356,8 тис. грн на рік.

6.5 Оцінка економічної ефективності інвестицій

Вихідними даними для оцінки економічної ефективності інвестицій у будівництво є показники, що містяться в табл. 6.11. Прибуток від реалізації продукції розраховують як різницю між виручкою від реалізації продукції та повною її собівартістю.

Таблиця 6.11 – Вихідні дані для оцінки економічної ефективності інвестицій

Показники	Значення
1. Річний обсяг реалізованої продукції, тис. грн	99247,1
2. Повна собівартість річного обсягу реалізованої продукції, тис. грн	70890,3
3. Прибуток від реалізації продукції, тис. грн	28356,8
4. Чистий прибуток підприємства, тис. грн	23252,6
5. Амортизація основних фондів, нематеріальних активів та інших позаоборотних активів, тис. грн	13802,2
6. Сума інвестицій у будівництво, тис. грн	113881,6

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

Чистий прибуток розрахуємо за формулою:

$$\text{ЧП} = \text{П} \times 0,82 \quad (6.7)$$

Враховуємо 18 % податок на прибуток.

$$\text{ЧП} = 28356,8 \times 0,82 = 23252,6 \text{ (тис. грн)}$$

Термін окупності розрахуємо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = I : (\text{ЧП} + A) \quad (6.8)$$

$$T_{\text{ок}} = 113881,6 : (23252,6 + 13802,2) = 3,1 \text{ (роки)}$$

Висновок: проведені техніко-економічні розрахунки підтверджують економічну доцільність реалізації проєкту будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест». Загальний обсяг інвестиційних вкладень, необхідних для впровадження проєкту, становить 113 881,6 тис. грн, з яких основна частина спрямовується на придбання технологічного і транспортного обладнання та виконання будівельно-монтажних робіт.

Отримані результати свідчать про достатній рівень економічної ефективності проєкту, що обумовлено наявністю значної сировинної бази, зростанням попиту на тверде біопаливо та перспективами розвитку біоенергетичного сектору України. Розрахований строк окупності інвестицій становить 3,1 року, що відповідає прийнятним показникам для проєктів у сфері відновлюваної енергетики та свідчить про інвестиційну привабливість запропонованого рішення.

Таким чином, реалізація проєкту дозволить не лише забезпечити ефективне використання біомаси та відходів агропромислового виробництва, а й сприятиме підвищенню економічної ефективності діяльності підприємства, створенню додаткової доданої вартості та зміцненню позицій ТОВ «Золочів Інвест» на ринку твердого біопалива.

Висновки та технічні пропозиції

За результатами розробки проєкту обґрунтовано доцільність будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест», що відкриває нові напрями діяльності для підприємства в межах концепції безвідходного виробництва. Переведення зерносушильних комплексів із дороговартісного природного газу на власні паливні гранули з соломи дозволить знизити собівартість послуг сушіння, зменшити екологічне навантаження та оптимізувати внутрішній енергетичний баланс агрохолдингу.

При розробці схеми технологічного процесу виробництва твердого біопалива передбачено наступні технологічні лінії: лінія підготовки сировини (соломи), лінія гранулювання, лінія відвантаження готової продукції. Відвантаження готової продукції здійснюється у розсипному вигляді на автотранспорт.

Для забезпечення чистоти повітря, протипожежних та противибухових заходів встановлено локальні фільтри ZEO-FC-1000, ZEO-FC-800 і циклони.

Впроваджено заходи до компенсації реактивної потужності, зниження номінальної потужності силових трансформаторів та відключення одного з них в години зниження споживання електроенергії на підприємстві, вибору раціонального перерізу жил кабельних ліній живлення та встановлення люмінесцентних енергозберігаючих ламп.

Реалізація запропонованих рішень з охорони праці створює надійне й безпечне робоче середовище на кожному етапі технологічного процесу виробництва твердого біопалива.

Проведені техніко-економічні розрахунки підтверджують економічну доцільність реалізації проєкту будівництва цеху з виробництва твердого біопалива на ТОВ «Золочів Інвест». Загальний обсяг інвестиційних вкладень, необхідних для впровадження проєкту, становить 113 881,6 тис. грн. Отримані результати свідчать про достатній рівень економічної ефективності проєкту, що обумовлено наявністю значної сировинної бази, зростанням попиту на тверде біопаливо та перспективами розвитку біоенергетичного сектору України. Розрахований строк окупності інвестицій становить 3,1 року, що відповідає прийнятним показникам для проєктів у сфері відновлюваної енергетики та свідчить про інвестиційну привабливість запропонованого рішення.

Список літератури

1. Morone P., Cottoni L., Giudice F. Biofuels: Technology, economics, and policy issues // Handbook of Biofuels Production. Amsterdam: Elsevier, 2023. P. 55–92. DOI: 10.1016/B978-0-323-91193-1.00012-3.
2. International Energy Agency. Share of renewable electricity generation by technology, 2000–2028: вебсайт. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-renewable-electricity-generation-by-technology-2000-2028> (дата звернення: 23.03.2026).
3. Economic outlook. Biofuels dashboard 2023: вебсайт. URL: <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/biofuels-dashboard-2023> (дата звернення: 23.03.2026).
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p> (дата звернення: 23.03.2026).
5. Avdieieva L., Makarenko A., Turchyna T., Dekusha H. Analysis of the development of the biofuel sector in Ukraine // European Science. 2024. DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-021.
6. Konechenkov A. Renewable Energy Sector of Ukraine Before, During, and After the War / ed. by V. Omelchenko. 2022. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny> (дата звернення: 24.03.2026).
7. Стратегія розвитку біоенергетики в Україні: вебсайт. URL: <https://uabio.org/bioenergy-transition-in-ukraine/> (дата звернення: 23.03.2026).
8. Коломієць Т. В. Розвиток виробництва біопалива в Україні під час воєнного стану // Економіка та суспільство. 2024. Вип. 63. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-63-55.
9. Zorkin A. Ukraine can replace 30% of diesel with its own biofuel. Better Regulation Delivery Office. 2022. URL: <https://brdo.com.ua/en/analytics/ukrayina-mozhe-zaminyty-30-dyzelyu-vlasnym-vyroblenym-biopalyvom/> (дата звернення: 24.03.2026).
10. IEA Bioenergy: Countries' Report – update 2024. Implementation of bioenergy in the IEA Bioenergy member countries. Paris: IEA Bioenergy ExCo, 2024. URL: <https://www.ieabioenergy.com> (дата звернення: 24.03.2026).

11. Проєктування вуглецево-нейтральної енергосистеми України: збільшення використання біопалива й біомаси в Україні. Женева: ЄЕК ООН, 2023. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-08/UNECE_RES_Bio_2023_FINAL%20Final%28UA%29.pdf (дата звернення: 24.03.2026).
12. Hoang A. T., Pandey A., Huang Z. et al. Biofuels: an option for agro-waste management // Environmental Sustainability of Biofuels. Amsterdam : Elsevier, 2023. P. 27–47.
13. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 24.03.2026).
14. Калетнік Г. М., Пришляк Н. В. Розвиток галузі біопалив як детермінанта сталого розвитку України // Економіка АПК. 2021. № 2. С. 71–81.
15. Оновлені дані щодо енергетичного потенціалу агробіомаси в Україні: вебсайт. SAF Україна. 2020. URL: <https://saf.org.ua/news/1121/> (дата звернення: 24.03.2026).
16. Томашук І. В., Хаєцька О. П. Вплив аграрного сектору економіки на сталий розвиток сільських територій // Економіка та суспільство. 2022. № 40. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-1>.
17. Roadmap for Bioenergy Development in Ukraine until 2050. Київ: Біоенергетична асоціація України, 2020. 49 р. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/uabio-position-paper-26-en.pdf> (дата звернення: 25.03.2026).
18. Аналіз публічних закупівель паливних гранул і брикетів. Київ: Біоенергетична асоціація України, 2023. URL: <https://uabio.org/materials/14601/> (дата звернення: 25.03.2026).
19. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / за ред. Г. Г. Гелетухи. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с.
20. Драгнєв С. В. Технології та обладнання для виробництва гранул та брикетів з біомаси. Київ: UABIO, 2024. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/05/9-Dragnyev-Tehnologiyi-ta-obladnannya-dlya-vyrobnytstva-granul-ta-bryketiv-z-biomasy.pdf> (дата звернення: 25.03.2026).
21. Можливості використання альтернативного енергетичного потенціалу деревообробної галузі України. Київ: Національний інститут стратегічних досліджень, 2025. URL:

<https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/mozhlyvosti-vykorystannya-alternatyvnoho-enerhetychnoho-potentsialu> (дата звернення: 25.03.2026).

22. USDA Foreign Agricultural Service. Wood Pellets Annual: European Union. The Hague, 2025. 18 p. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Wood+Pellets+Annual_The+Hague_European+Union_E42025-0004 (дата звернення: 25.03.2026).

23. Eurostat. Imports of biofuels by partner country: dataset NRG_TI_BIO : вебсайт. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TI_BIO/ (дата звернення: 25.03.2026).

24. ТОВ «ЗОЛОЧІВ ІНВЕСТ»: відомості про підприємство. URL: https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/43137397/ (дата звернення: 25.03.2026).

25. Золочів Інвест (Хмільницький елеватор): вебсайт. URL: <https://elevatorist.com/karta-elevatorov-ukrainy/elevator/38-pao-hmelnitskiy-elevator> (дата звернення: 25.03.2026).

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. 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.

29. 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.

30. Trachuk A. Analysis of the potential and perspectives of the development of biomass technologies in Ukraine. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2024. № 1. С. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2024.297589>

31. Железна Т. Аналіз структури енергетичного потенціалу біомаси України та напрямків його використання. International Science Journal of

Engineering & Agriculture. 2026. Т. 5, № 2. С. 103–112. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20260502.10>

32. International Renewable Energy Agency (IRENA), *Global energy transformation*, IRENA 2018, 76 p. ISBN 978-92-9260-059-4.

33. B. Mola-Yudego, et al., “Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe: the role of forests and fast grow-ing plantations,” *BIOFUELS*, 2017.

34. Бурлака С. А., Гуменюк Ю. В., Галушак О. О. Потенціал використання соломи зернових культур як біопалива. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2020. № 6 (153). С. 57–64. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-153-6-57-64>

35. Agu O. S., Tabil L. G., Mupondwa E., Emadi B. Torrefaction and pelleting of wheat and barley straw for biofuel and energy applications // *Frontiers in Energy Research*. 2021. Vol. 9. Article 699657. DOI: 10.3389/fenrg.2021.699657. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2021.699657> (дата звернення: 27.03.2026).

36. Dula M., Kraszkiewicz A., Parafiniuk S. Combustion efficiency of various forms of solid biofuels in terms of changes in the method of fuel feeding into the combustion chamber // *Energies*. 2024. Vol. 17, № 12. Article 2853. DOI: 10.3390/en17122853. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/12/2853> (дата звернення: 27.03.2026).

37. Barmina I., Valdmanis R., Zake M. Wheat straw combustion and co-firing for clean heat energy production // *Chemical Engineering Transactions*. 2016. Vol. 52. P. 919–924. DOI: 10.3303/CET1652154. URL: <https://www.aidic.it/cet/16/52/154.pdf> (дата звернення: 27.03.2026).

38. Nath B. та ін. Enhancement of wheat straw pellet quality for bioenergy through additive blending // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2025. DOI: 10.1080/10962247.2024.2447480. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2024.2447480> (дата звернення: 28.03.2026).

39. С. Бурлака, О. Галушак, і Ю. Гуменюк, «Дослідження течії палива в розпилювачі форсунок при використанні спиртових добавок в емульгованих паливах,» *Вісник машинобудування та транспорту*, т. 11, № 1, с. 18-27, 2020.

40. Ю. В. Гуменюк, «Стратегія розвитку зернопродуктового підкомплексу АПК для забезпечення продовольчої без-пеки країни та

комплексного розвитку сільського господарства,» *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. № 2, с. 147-152, 2019.

41. «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.

42. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Ярош Я. Д., Чуба В. В. Biomass of Ukraine for biofuel production // *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2018. Vol. 4, No. 3. P. 293–300. DOI: 10.22034/GJESM.2018.03.004.

43. Stolarski M. J., Krzyżaniak M., Załuski D. та ін. Characteristics and Changes in the Properties of Cereal and Rapeseed Straw Used as Energy Feedstock // *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 5. Article 1243. DOI: 10.3390/en17051243. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/5/1243> (дата звернення: 29.03.2026).

44. Gismatulina Y. A., Budaeva V. V., Sakovich G. V. та ін. Evaluation of Chemical Composition of *Miscanthus × giganteus* Depending on Plantation Age and Soil Conditions // *Plants*. 2022. Vol. 11, No. 20. Article 2791. DOI: 10.3390/plants11202791. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/20/2791> (дата звернення: 29.03.2026).

45. Szufa S., Piersa P., Adrian Ł. та ін. Sustainable Drying and Torrefaction Processes of *Miscanthus × giganteus* for Use as a Pelletized Solid Biofuel and Biocarbon Carrier // *Molecules*. 2021. Vol. 26, No. 4. Article 1014. DOI: 10.3390/molecules26041014. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/4/1014> (дата звернення: 29.03.2026).

46. Obernberger I., Thek G. The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets. London : Earthscan, 2010. 592 p. URL: [Routledge \(видання книги\)](#) (дата звернення: 30.03.2026).

47. Basu P. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. 3rd ed. London : Academic Press, 2018. 582 p. URL: [Google Books \(бібліографічний запис\)](#) (дата звернення: 30.03.2026).

48. Jenkins B. M., Baxter L. L., Miles T. R., Miles T. R. Combustion Properties of Biomass // *Fuel Processing Technology*. 1998. Vol. 54. P. 17–46.

49. Vassilev S. V., Baxter D., Andersen L. K., Vassileva C. G. An Overview of the Chemical Composition of Biomass // *Fuel*. 2010. Vol. 89, No. 5. P. 913–933.

50. McKendry P. Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of Biomass // Bioresource Technology. 2002. Vol. 83, No. 1. P. 37–46.
51. Kaletnik H. M. Biofuels: Food, Energy and Environment Challenges of the XXI Century. Vinnytsia : LLC «Nilan-LTD», 2019. 252 p.
52. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А. Перспективи використання аграрної біомаси для виробництва енергії в Україні // Промислова теплотехніка. 2014. Т. 36, № 4. С. 58–67.
53. Тверде біопаливо: технологічні вимоги, властивості компонентів та технологія виробництва. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8366-tverde-biopalyvo-tekhnohichni-vymohy-vlastyvosti-komponentiv-ta-tekhnohiiia-vyrobnytstva.html> (дата звернення: 30.03.2026).
54. ДСТУ EN 15234-1:2013. Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. (дата звернення: 30.03.2026).
55. ДСТУ EN 15234-2:2013. Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 2. Пелети деревні для непромислового використання. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. (дата звернення: 30.03.2026).
56. ДСТУ EN 15234-3:2013. Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 3. Брикети деревні для непромислового використання. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. (дата звернення: 30.03.2026).
57. ДСТУ 7134:2009. Лущиння соняшникове пресоване гранульоване. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. (дата звернення: 30.03.2026).
58. ISO 17225-1:2021. Solid Biofuels – Fuel Specifications and Classes – Part 1: General Requirements. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. (дата звернення: 30.03.2026).
59. ISO 17225-6:2021. Solid Biofuels – Fuel Specifications and Classes – Part 6: Graded Non-Woody Pellets. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. (дата звернення: 30.03.2026).
60. 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: 30.03.2026).

61. Європейські стандарти на якість пелет. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/9243/> (дата звернення: 31.03.2026).
62. ISO 17225-6:2021. *Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 6: Graded non-woody pellets*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO), 2021.
63. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів. Одеса: Друкарський дім, 2011. 448 с.
64. 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. Луїна; за ред. А.В. Макаринської; Каф. технології зерна і комбікормів. Одеса: ОНТУ, 2022 р. 155 с.
65. Контроль якості та безпека продукції в галузі (комбікормова галузь): Підручник/ [під. заг. ред. проф. Б.В. Єгорова] 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.
66. Рекомендації щодо компонування та розрахунків аспіраційних установок. URL: <https://www.metallum.com.ua/ua/blog/rekomendaczii-po-raschetu-aspiraczionnyix-ustanovok/rekomendaczii-po-komponovke-i-raschetam-aspiraczion> (дата звернення: 31.03.2026).
67. Правила проектування та налагодження аспіраційних і пневмотранспортних установок підприємств по збереженню та переробці зерна /О.І. Гапонюк, Є.А. Дмитрук, В.І. Квітинський, О.Н. Гоф, Н.М. Опря / Зернова столиця, Одеса-Київ. 2014р. с. 130.
68. Гапонюк О.І. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту «Вентиляційні установки» при проектуванні або реконструкції підприємств по збереженню і переробці зерна для студ.-дипломників спец. 6.051701 та 7.05170101 ден. та заоч. форм навчання [Електронний ресурс] /О.І. Гапонюк, Г.А. Гончарук, А.В. Ульяницький. О.: ОНАХТ, 2014. 28 с.
69. Монтік П.М. Електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник. Львів: «Новий світ – 2000», 2007. 500 с.
70. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту «Електрозабезпечення та енергозбереження» для студентів професійного

напряму 7.091701 усіх форм навчання / Укладачі: П.М. Монтік, Галіулін А.А., Є.П. Штепа. Одеса: ОНАХТ, 2020. 15 с.

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

72. Управління охороною праці [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спец. «Цивільна безпека», освіт. програми «Охорона праці» / В. В. Березуцький; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків, 2021. 412 с.

73. 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.