

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЗД-24м
спеціальності 183 – «Технології захисту
навколишнього середовища»

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Несса В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД
«09» Васильківський І.В.

(прізвище та ініціали)

Опонент: к.х.н., доцент кафедри ЕХТЗД
«09» Сидорук Т.І.

(прізвище та ініціали)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕХТЗД

к.т.н., професор Іщенко В.А.

(прізвище та ініціали)

«09» 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Галузь знань 18 – Виробництво і технології
Спеціальність 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»
Освітньо-професійна програма – Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕХТЗД
к.т.н., професор
В.А. Іщенко
(підпис)
« 24 » 09 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу студенту
Нессі Вікторії Русланівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ»

керівник роботи Васильківський Ігор Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по ВНТУ від «10» 09 2025 року № 2

2. Термін подання студентом роботи «09» 12 2025 року

3. Вихідні дані до роботи:

Характеристика енергетичного потенціалу рослинних відходів в Україні (додаток Б).

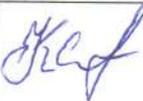
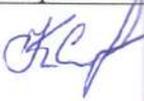
4. Зміст текстової частини

1. Логістика енергетичного використання рослинних відходів.
2. Оцінка енергетичних ресурсів рослинних відходів.
3. Удосконалення логістики виробництва теплової енергії із рослинних відходів.
4. Техніко-економічне обґрунтування встановлення котла по спалюванню рослинних відходів.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Способи виробництва енергії з біомаси.
2. Технології спалювання рослинних відходів (біомаси).
3. Схеми забезпечення виробництва теплової та електричної енергії.
4. Принципова логістична схема для агровідходів.
5. Кінематична схема лінії грануляції соломи ЛГБМ-2000.
6. Шнековий прес-гранулятора ППМ-2000, поздовжній розріз.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
4	Декан факультету менеджменту та інформаційної безпеки, к.е.н., доцент кафедри підприємництва, логістики та менеджменту Краєвська Алла Станіславівна		

7. Дата видачі завдання « 24 » 09 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		При- мітка
		початок	закінчення	
1	Дослідити основні аспекти використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні.	24.09.2025	1.10.2025	
2	Провести оцінку енергетичних ресурсів рослинних відходів та логістику їх використання в Україні та ЄС.	2.10.2025	29.10.2025	
3	Дослідити технологічний процес гранулювання рослинних відходів та розробити рекомендації для його вдосконалення.	30.10.2025	10.11.2025	
4	Розробка природоохоронних заходів і рекомендацій для поліпшення використання рослинних відходів при виробництві теплової та електричної енергії.	11.11.2025	15.11.2025	
5	Техніко-економічне обґрунтування котла для спалювання рослинних відходів.	16.11.2025	30.11.2025	
6	Підготовка висновків, додатків, списку використаних джерел. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	1.12.2025	5.12.2025	
7	Підготовка презентації та доповіді до захисту МКР	6.12.2025	10.12.2025	

Студент

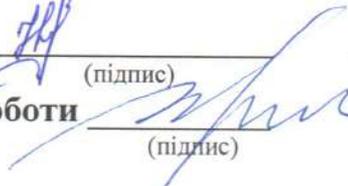


(підпис)

Несса В Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Васильківський І. В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 620.92

Несса В. Р. Наукове обґрунтування екологічної безпеки використання біомаси для виробництва енергії в Україні. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища, освітня програма – Технології захисту навколишнього середовища. Вінниця: ВНТУ, 2025. 99 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 26 назв; рис. 52; табл. 20.

У магістерській кваліфікаційній роботі проаналізовано основні джерела утворення і накопичення біомаси відходів рослинного походження. Описано технологічний процес і обладнання переробки біомаси рослинних відходів у пелети та їх використання для виробництва теплової енергії.

Удосконалена логістика переробки біомаси рослинних відходів для виробництва енергії, та запропоновані природоохоронні заходи, які дозволяють підвищити кількість виробленої енергії біомаси і рівень екологічної безпеки у поводженні із сільськогосподарськими відходами. Розроблене техніко-економічне обґрунтування встановлення котла по спалюванню рослинних відходів.

Ілюстративна частина складається із 6 ілюстрацій.

Ключові слова: енергія біомаси, біогазовий реактор, біогаз, рослинні відходи, переробка рослинних відходів, логістика переробки енергетичних відходів, пелети, виробництво теплової енергії, енергетичні господарства.

ABSTRACT

UDC 620.92

Nessa V. R. Scientific justification of the environmental safety of the use of biomass for energy production in Ukraine. Master's qualification work in the specialty 183 - Environmental protection technologies, educational program - Environmental protection technologies. Vinnytsia: VNTU, 2025. 99 p.

In Ukrainian. Bibliography: 26 titles; Fig. 52; Table 120.

The master's qualification work analyzes the main sources of formation and accumulation of biomass waste of plant origin. The technological process and equipment for processing biomass of plant waste into pellets and their use for the production of thermal energy are described.

The logistics of processing biomass of plant waste for energy production are improved, and environmental protection measures are proposed that allow increasing the amount of biomass energy produced and the level of environmental safety in the management of agricultural waste. A feasibility study for the installation of a boiler for burning plant waste has been developed.

The graphic part consists of 6 illustrations.

Keywords: biomass energy, biogas reactor, biogas, plant waste, plant waste processing, logistics of energy waste processing, pellets, thermal energy production, energy farms.

ВІДГУК

наукового керівника на магістерську кваліфікаційну роботу
студентки денної форми навчання групи ТЗД-24м
Несси Вікторії Русланівни
на тему «Наукове обґрунтування екологічної безпеки використання
біомаси для виробництва енергії в Україні»

Протягом останнього часу сталися значні зміни в енергетичній галузі України, включаючи сфери використання відновлюваних джерел енергії, а також індивідуального та централізованого тепlopостачання. Все більшого значення набувають питання енергетичної безпеки України, зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв, перш за все - природного газу.

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи дипломниця Несса Вікторія Русланівна на підставі проведених власних аналітичних досліджень, літературного та інтернет-пошуку запропонувала структурну схему модульного вузла виговлення пелет в конструкції зернозбирального комбайна, яка дозволяє суттєво спростити логістику переробки рослинних агровідходів (соломи) для подальшого їх використання в якості біопалива.

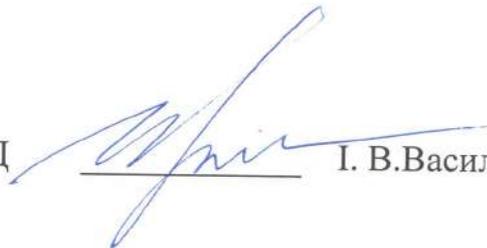
В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи дипломник Несса В.Р. проявила сумлінність, активність, творчість, інноваційний підхід до справи.

Дипломниця Несса В.Р. характеризується виключно з позитивного боку, коректна, старанна, працелюбна, відповідальна і наполеглива у досягненні мети, користується повагою серед студентів та викладачів.

Робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує оцінку «А».

Керівник роботи,

к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД



І. В. Васильківський

ВІДГУК ОПОНЕНТА
на магістерську кваліфікаційну роботу студентки денної форми навчання
2 курсу із спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»
Несси Вікторії Русланівни
на тему «Наукове обґрунтування екологічної безпеки використання
біомаси для виробництва енергії в Україні»

Магістерська кваліфікаційна робота виконана згідно до завдання, відповідає темі, містить 6 листів ілюстративного матеріалу і пояснювальну записку із 99 сторінок.

1. Актуальність теми, наявність замовлення проекту підприємством організацією

У магістерській кваліфікаційній роботі зроблений ретельний аналіз методів і засобів переробки рослинних відходів та запропонована структурна схема модульного вузла виготовлення пелет в конструкції зернозбирального комбайна, яка дозволяє суттєво спростити логістику переробки рослинних агровідходів (соломи) для подальшого їх використання в якості біопалива.

2. Достатність вихідних даних на БКР, наявність обґрунтування вироблених рекомендацій

В роботі представлена достатня кількість вихідних даних: загальна характеристика рослинних відходів України, способи їх переробки і використання в якості біопалив для заміщення природного газу. Розроблені рекомендації є змістовними і обґрунтованими.

3. Наявність багатоваріантного аналізу проектних рішень в основному розділі, спрямованого на пошук оптимального рішення з урахуванням останніх досягнень науки і техніки, техніко-економічного обґрунтування оптимального варіанту.

В процесі розробки був проведений аналіз методів і засобів для переробки біомаси рослинних відходів (агровідходів).

4. Глибина обґрунтування прийнятих рішень, ступінь врахування факторів безпеки життєдіяльності тощо

Рекомендації, подані в роботі відповідають поставленим задачам, розглянуті рішення характеризуються достатньою глибиною обґрунтування.

5. Рівень пророблення основного рішення (аналіз, технічні розрахунки тощо), достатність глибини пророблення основного рішення для використання на практиці

У магістерській кваліфікаційній роботі зроблено достатній аналіз різних варіантів вирішення проблеми переробки рослинних відходів. Розроблена в роботі схема рекомендується для практичного використання.

6. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень

Магістерська кваліфікаційна робота має високий пізнавальний і навчальний рівень, а також характеризується значними результатами, отриманими в процес аналітичних досліджень відомих логістичних і технічних систем переробки відходів.

7. Наявність у пояснювальній записці обґрунтування усіх проектних рішень стиль її написання (обґрунтовальний чи описовий), відповідність оформлення до вимог діючих стандартів

Пояснювальна записка оформлена відповідно до діючих стандартів, рішення та рекомендації подані обґрунтовано.

8. Повнота відображення графічних матеріалів основного змісту дипломної роботи, відповідність графічних матеріалів конкретному об'єкту дослідження вимогам діючих стандартів

Графічні матеріали відображають зміст роботи, а оформлення відповідає діючим стандартам.

9. Практична цінність роботи, можливість її реалізації

Магістерська кваліфікаційна робота має практичну цінність, так як містить структурну схему модульного вузла виготовлення пелет із відходів рослинного походження.

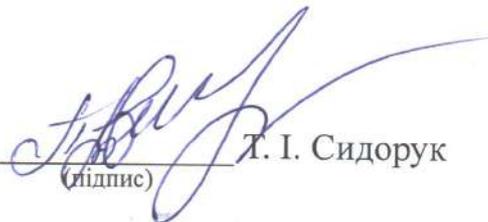
10. У магістерській кваліфікаційній роботі можна відмітити такі недоліки

В роботі не приведена принципова схема розробленого модульного вузла виготовлення пелет.

Магістерська кваліфікаційна робота у цілому виконана на високому рівні заслуговує на оцінку « відмінно ».

Опонент

к.х.н., доцент кафедри ЕХТЗД



Т. І. Сидорук

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЛОГІСТИКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ.....	7
1.1 Визначення рослинних відходів.....	7
1.2 Розвиток біоенергетики в ЄС та Україні.....	8
1.3 Використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні.....	13
1.4 Прогноз розвитку біоенергетики в Україні до 2030 р.....	17
2. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ.....	22
2.1 Оцінка енергетичного потенціалу.....	22
2.2 Логістичні схеми постачання деревної та агробіомаси.....	25
2.2.1 Особливості логістики деревних відходів.....	25
2.2.2 Використання агровідходів в Україні сьогодні.....	26
2.2.3 Логістика використання відходів рослинництва (агровідходів).....	28
2.3 Організаційно-технічні рішення по постачанню рослинних відходів.....	29
2.3.1 Продукування рослинних відходів.....	30
2.3.2 Збирання рослинних відходів.....	32
2.4 Лінія гранулювання рослинних відходів – ЛГБМ-2000.....	41
2.5 Робота шнекового пресу-гранулятора ППМ-2000.....	44
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИКИ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ІЗ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ.....	46
3.1 Енергетичний потенціал рослинних відходів сільського господарства...	46
3.2 Технології спалювання рослинних відходів.....	47
3.2.1 Конструкція котлів для рослинних відходів.....	49
3.2.2.Спалювання соломи зернових культур.....	54
3.2.3 ТЕЦ на біомасі.....	57
3.3 Схеми забезпечення виробництва теплової та електричної енергії.....	58
3.4 Використання енергетичних культур.....	61
3.5 Проектування лісного енергетичного господарства.....	68

3.6 Екологічний аналіз біоенергетичних технологій.....	71
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОТЛА ДЛЯ СПАЛЮВАННЮ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ.....	76
4.1 Котли для спалювання соломи.....	77
4.1.1 Виробництво солomosпалювальних котлів в Україні.....	79
4.1.2 Економічні показники опалення соломою.....	79
4.2 Розрахунок ефективності встановлення котла по спалюванню соломи	79
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89
Додаток А. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	92
Додаток Б. Характеристика енергетичного потенціалу рослинних відходів в Україні за 2022 р.....	93
Додаток В. Акт впровадження результатів магістерської кваліфікаційної роботи.....	94
Додаток Д. Ілюстративна частина.....	95

ВСТУП

Актуальність. Україна має розвинутий сектор сільського господарства, зокрема рослинництва, який щорічно генерує великий обсяг різноманітних рослинних відходів та залишків. Відходи поділяються на первинні, тобто ті, що утворюються безпосередньо при збиранні врожаю сільськогосподарських культур, і вторинні – такі, що генеруються при обробці врожаю на підприємствах. Первинні відходи включають солому зернових та інших культур, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника (стебла, стрижні, кошики і т. ін.). Вторинні відходи – це лушпиння соняшника, лушпайка гречки, рису, жом цукрового буряку і тому подібне. Частина відходів та залишків використовується на потреби самого сільського господарства (органічне добриво, підстилка та корм тварин), частина – іншими секторами економіки, а решта біомаси залишається незадіяною і часто утилізується (спалюється в полі, вивозиться на звалище) без принесення користі товаровиробникам. Значну частину біомаси, що не використовується, видається доцільним залучити до виробництва енергії. При цьому важливим є питання яку саме частку відходів та залишків сільського господарства можна використовувати на енергетичні потреби без негативного впливу на родючість ґрунтів [1].

Найбільш динамічно розвивається використання деревини у вигляді дров, відходів деревообробки, тріски та гранул, спалювання лушпиння соняшника. Поступово зростає інтерес до енергетичного використання соломи зернових та відходів і залишків кукурудзи, енергетичних культур.

Україна має значний об'єм біомаси доступної для виробництва енергії, основними складовими якого є відходи рослинного походження: сільськогосподарські, різні види деревної біомаси та спеціально вирощувані енергетичні культури. Але для кінцевого використання цього потенціалу необхідно розробити надійну систему постачання біомаси, починаючи з вирощування, збору і закінчуючи постачанням на об'єкти теплоенергетики.

Отже, для ефективного використання доступного енергетичного потенціалу рослинних відходів в Україні необхідно удосконалення технологічний процес їх переробки.

Метою роботи є удосконалення логістики переробки біомаси рослинних відходів для виробництва енергії в Україні.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

1. Дослідити основні аспекти використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні.
2. Провести оцінку енергетичних ресурсів рослинних відходів та логістику їх використання в Україні та ЄС.
3. Дослідити технологічний процес гранулювання рослинних відходів та розробити рекомендації для його вдосконалення.
4. Розробка природоохоронних заходів і рекомендацій для поліпшення використання рослинних відходів при виробництві теплової та електричної енергії.
5. Розробка техніко-економічного обґрунтування котла для спалюванню рослинних відходів.

Об'єктом дослідження є процес переробки рослинних відходів, створених в агропромисловому комплексі, екологічна та економічна ефективність введення встаткування та отримання енергії з рослинних відходів в організації сільськогосподарського виробництва.

Предмет дослідження - рослинні відходи сільськогосподарського виробництва.

Наукова новизна.

1. Удосконалена логістика переробки рослинних відходів для виробництва енергії, що дозволило врахувати рівень екологічної безпеки у поводженні із сільськогосподарськими відходами.
2. Вперше розроблена експериментальна методика проектування лісничого енергетичного господарства для умов лісотеплової зони України та Вінницької

області.

Практичне значення. Результати проведених досліджень доцільно використовувати в практиці виробничої діяльності сільськогосподарських та теплогенеруючих підприємств для оптимізації управління в галузі охорони навколишнього природного середовища на території м. Вінниці та області.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота виконувалась відповідно науковому напрямку кафедри ЕХТЗД, зокрема, госптематики, законів України: «Про охорону навколишнього природного середовища» №1268-ХІІ від 26.06.91 і Регіональної екологічної бюджетної програми 2024-2025 років.

Методи дослідження. Використано методи комплексного, системного науково-обґрунтованого аналізу, а також методи математичної статистики та кореляційного аналізу.

Особистий внесок автора. Автором визначено основні завдання роботи, обрано та опановано методи їх вирішення, підібрано та опрацьовано літературні джерела, здійснено аналіз і теоретичне обґрунтування зібраного матеріалу, його узагальнення та формулювання висновків. Акт впровадження результатів магістерської кваліфікаційної роботи у навчальний процес представлений у додатку В.

Публікації. Викладені у МКР положення доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції: «Енергоефективність в галузях економіки України (2025)», Міжнародні науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)» а також у щорічних науково-технічних конференціях ВНТУ.

Подяки. Автор вдячний директору департаменту агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів Вінницької обласної військової адміністрації Сідорову Олегу Васильовичу за допомогу і підтримку у проведенні експериментальних досліджень логістики енергетичного використання рослинних відходів.

1 ЛОГІСТИКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ

1.1 Визначення рослинних відходів

Рослинні відходи – це відходи лісопереробної галузі та відходи сільського господарства. При заготівлі лісу та подальшій його переробці з відходами втрачається близько 50% деревини. Ця біомаса у вигляді тирси, листя, гілок вивозиться на полігони, де гниє або спалюється на місці, таким чином погіршуючи екологічний стан довкілля. У сільськогосподарському виробництві основними залишками біомаси є солома та сіно.

Рослинні відходи є частиною біомаси до яких відносяться: відходи рослинництва, сільського господарства, харчової промисловості, домашнього господарства та відходи комунального господарства. Джерелом рослинних відходів є також відходи деревини в лісовому господарстві, деревообробній та целюлозно-паперовій промисловості. Для виробництва біомаси рослинного походження використовуються також спеціальні енергетичні культури, що дають швидкий приріст маси (верба, тополя, платан), або певних сортів трав'янистих рослин (міскантус, просо, сорго та ін.). До енергетичних культур також можна віднести ріпак, соняшник для виробництва рідких моторних палив. З метою енергетичного використання може вирощуватись і кукурудза та сорго як для виробництва твердого біопалива так і біогазу (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Класифікація рослинних відходів для енергетичних потреб

Сторона утворення	Група походження	Сторона споживання
Деревина, відходи деревини, вторинна деревина, відновлювальна деревина	Деревні палива	Тверді: необроблена деревина, тирса тріска, гранули Рідкі: чорний луг, метанол, піролізні смоли Газоподібні: продукти газифікації та піролізу
Відходи агрокультур, відходи тваринництва, відходи переробки агропродукції, енергетичні культури	Агропалива	Тверді: солома, стебла, лушпиння, енергетичні трави Рідкі: етанол, метанол, піролізні смоли, жом, олії Газоподібні: біогаз, продукти газифікації та піролізу

Біомасу рослинних відходів можна використовувати в енергетичних цілях шляхом безпосереднього спалювання (деревини, соломи, стічних відкладень), а також у переробленому вигляді рідких (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) або газоподібних біопалив (біогаз з відходів сільського господарства та рослинництва (рис. 1.1). Конверсія біомаси в інші види енергоносіїв або кінцеву енергію (теплову або електричну) може відбуватись фізичними, хімічними і біохімічними методами.

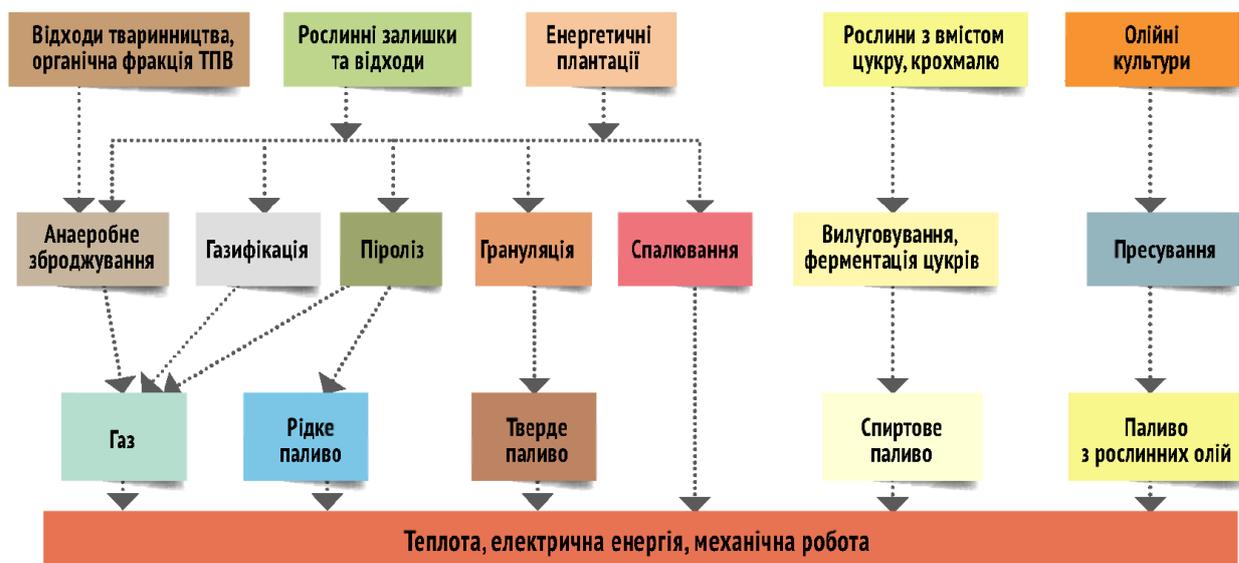


Рисунок 1.1 - Способи виробництва енергії з біомаси

1.2 Розвиток біоенергетики в ЄС та Україні

Узагальнені дані 2020 року по структурі споживання первинних енергоресурсів в Україні, ЄС, США і світі в цілому, а також їх прогноз на 2030 р. наведені в таблиці 1.2. Аналіз цих даних дозволяє зробити кілька важливих висновків. Частка природного газу в Україні є невиправдано високою - близько 43%, що майже в 2 рази вище, ніж, наприклад, в ЄС. При цьому внесок відновлюваних джерел енергії в Україні невиправдано малий - 1,6%, що в 6 разів нижче, ніж у Євросоюзі. Більш того, напрямки розвитку різних секторів енергетики України, запропоновані в проекті оновленої Енергетичної стратегії до 2030 року, також не збігаються з тенденціями в енергетиці ЄС. Новим варіантом

Стратегії до 2030 року заплановано зростання використання вугілля з 27,9% до 30% і атомної енергії - з 17,9% до 22,5%. Крім того, Євросоюз має намір в 2,5 рази збільшити внесок ВДЕ до 2030 року (з 9,8% до 25%), а в Україні заплановано набагато повільніший розвиток цього сектора (з 1,6% до 5,7%). За даними 2020 р. Україна має показник по частці ВДЕ в загальному енергетичному балансі в 6 разів нижче, ніж в ЄС. До 2030 року цей показник покращиться лише трохи, і Україна буде мати його в 4,4 рази нижче, ніж в Євросоюзі. Відновлювані джерела енергії наразі відіграють значну роль у світовій енергетиці. За даними 2022 р. їх внесок до валового кінцевого енергоспоживання (ВКЕ) становить більше 18%, в тому числі біомаса - 14% ВКЕ або 76% загального внеску всіх ВДЕ (Рис. 1.2). В Європейському Союзі ситуація схожа: частка відновлюваних джерел у валовому кінцевому енергоспоживанні складає 15% (2023 р.), в тому числі біомаса - близько 9% ВКЕ або 62% загального внеску всіх ВДЕ. В окремих країнах ЄС частка біомаси від усіх відновлюваних джерел коливається від 30-40% (Люксембург, Кіпр, Ірландія) до 80-95% (Естонія, Латвія, Литва, Угорщина, Польща, Фінляндія).

Таблиця 1.2 - Структура споживання первинних енергоресурсів, % [1-5]

Енергоносії	2020				2030	
	Світ в цілому	Україна*	ЄС	США	Україна**	ЄС
Природний газ	20,9	42,6	25,1	25,2	28	24
Нафта	32,9	10,0	35,1	36,1	14,5	33
Вугілля	27,1	27,9	15,9	23,0	30	7
Уран	5,8	17,9	13,5	9,8	22,5	11
ВДЕ	13,1	1,6	9,8	5,6	5,7	25

* За даними енергетичного балансу України за 2010 р., складеного Державною службою статистики України [5].

** На відміну від загальносвітової практики, енергобаланс України в 2030 р. передбачає крім п'яти перерахованих енергоносіїв наявність істотної частки «інших» джерел енергії незрозумілого походження (25,8 млн. т у.п. в базовому сценарії, або 10,8 % загального енергоспоживання).

Також до енергобалансу включено «теплову енергію доквілля» (8 млн. т у.п. у базовому сценарії), але механізм її розрахунку є непрозорим. Тому наведені

цифри по частці окремих енергоносіїв розраховувалися як відношення їх внеску до загального енергоспоживання (238,1 млн. т у.п. в базовому сценарії) за винятком зазначених 25,8 млн. т у.п. від «інших» джерел енергії і 8 млн. т у.п. від «теплової енергії доквілля», так що їх сума складає 100%. Частка великої гідроенергетики включена в ВДЕ.

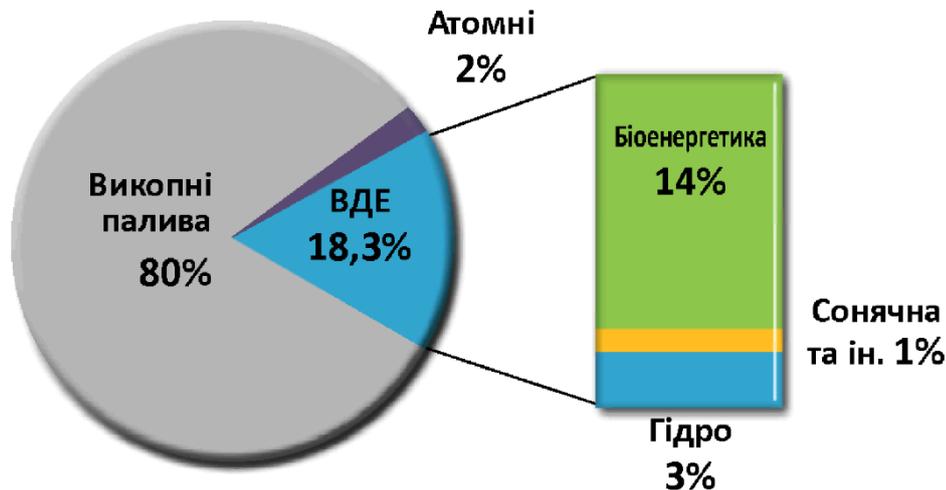


Рисунок 1.2 - Структура валового енергоспоживання ВДЕ.

Європейський Союз успішно рухається до досягнення мети 2020 року з відновлюваної енергетики – 20% енергії з ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні. За останні 10 років цей показник зріс з 8% до 14%. Три країни (Швеція, Болгарія та Естонія) вже виконали свої національні цілі 2020 року (Таблиця 1.3).

На сьогодні обсяги споживання біомаси для виробництва енергії в Європейському Союзі становлять понад 120 млн. т н.е./рік, а до 2020 року валове кінцеве споживання біомаси має зрости до 138 млн. т н.е./рік. Основним видом біомаси, що використовується, є тверда біомаса. Її частка в загальному обсязі споживання незмінно становить близько 70% [6-9].

Внесок біомаси до валового кінцевого енергоспоживання ЄС вже перевищив 8%, а до 2020 року має зрости до 14%. В окремих країнах-лідерах рівень розвитку біоенергетики значно вище середньоевропейського. Так, в Фінляндії частка біомаси в кінцевому енергоспоживанні становить 28%, в Латвії – більше 27%, в Швеції та Естонії – близько 26% (для порівняння – в Україні

1,78%) (Рис. 1.4). Австрія та Естонія на сьогодні вже практично виконали свої зобов'язання 2025 року щодо внеску біомаси у валове кінцеве енергоспоживання (Табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Динаміка досягнення мети ЄС щодо внеску ВДЕ до валового кінцевого енергоспоживання

Країни ЄС	2020 р.	Індикативна траєкторія досягнення мети 2020 року			2025 р.
		2021-2022	2022-2023	2023-2024	
ЄС-28	14,1%	н.д.	н.д.	н.д.	20%
Бельгія	6,8%	5,4%	7,1%	9,2%	13%
Болгарія	16,3%	11,4%	12,4%	13,7%	16%
Чеська Республіка	11,2%	8,2%	9,2%	10,6%	13%
Данія	26,0%	20,9%	22,9%	25,5%	30%
Німеччина	12,4%	9,5%	11,3%	13,7%	18%
Естонія	25,8%	20,1%	21,2%	22,6%	25%
Ірландія	7,2%	7,0%	8,9%	11,5%	16%
Греція	13,8%	10,2%	11,9%	14,1%	18%
Іспанія	14,3%	12,1%	13,8%	16,0%	20%
Франція	13,4%	14,1%	16,0%	18,6%	23%
Хорватія	16,8%	14,8%	15,9%	17,4%	20%
Італія	13,5%	8,7%	10,5%	12,9%	17%
Кіпр	6,8%	5,9%	7,4%	9,5%	13%
Латвія	35,8%	34,8%	35,9%	37,4%	40%
Литва	21,7%	17,4%	18,6%	20,2%	23%
Люксембург	3,1%	3,9%	5,4%	7,5%	11%
Угорщина	9,6%	6,9%	8,2%	10,0%	13%
Мальта	1,4%	3,0%	4,5%	6,5%	10%
Нідерланди	4,5%	5,9%	7,6%	9,9%	14%
Австрія	32,1%	26,5%	28,1%	30,3%	34%
Польща	11,0%	9,5%	10,7%	12,3%	15%
Португалія	24,6%	23,7%	25,2%	27,3%	31%
Румунія	22,9%	19,7%	20,6%	21,8%	24%
Словенія	20,2%	18,7%	20,1%	21,9%	25%
Словаччина	10,4%	8,9%	10,0%	11,4%	14%
Фінляндія	34,3%	31,4%	32,8%	34,7%	38%
Швеція	51,0%	42,6%	43,9%	45,8%	49%
Великобританія	4,2%	5,4%	7,5%	10,2%	15%

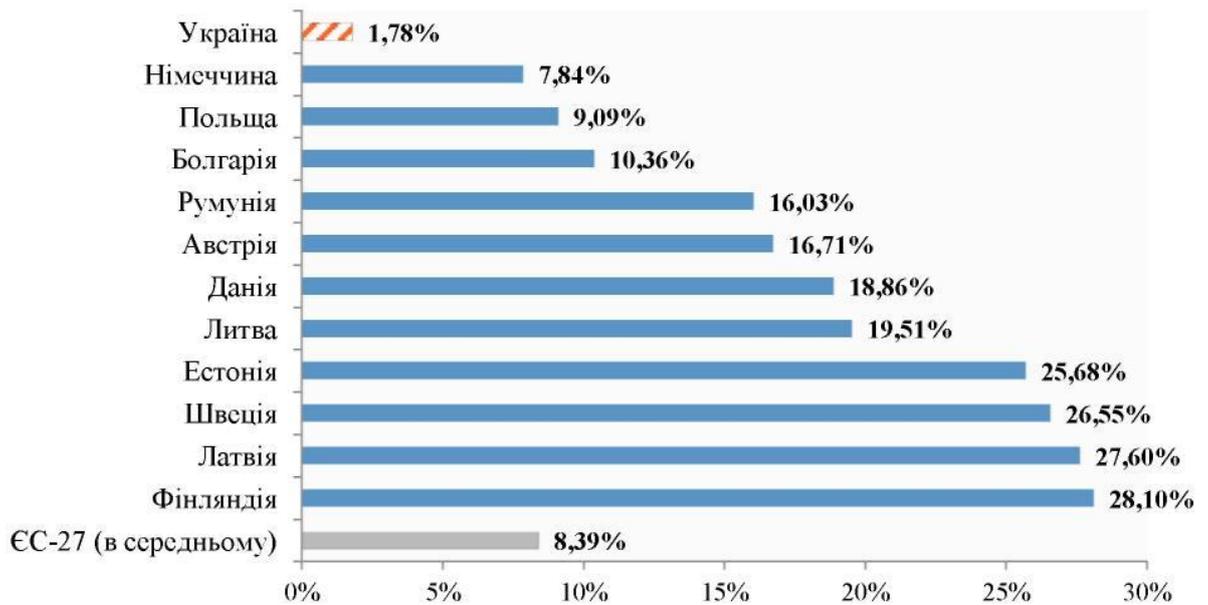


Рисунок 1.4 - Частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні деяких країн ЄС і в Україні, 2022 р.

В Євросоюзі проводились дослідження питання енергетичного застосування рослинних відходів. За їх результатами, на енергетичні потреби можна використовувати 25-50% врожаю соломи, а решта біомаси має залишитися на полях. Виробництво енергії з соломи активно розвивається в Данії, Швеції й більшості країн Центральної Європи. На енергетичні потреби там щорічно використовується від 5% до 20% виробленої соломи. Дослідження, виконані для умов США показали, що для виробництва енергії/біопалив можна використовувати 30-60% загального обсягу соломи та відходів виробництва кукурудзи на зерно. В Україні є надлишок соломи, який можна залучити до паливно-енергетичного балансу. Співвідношення зернової частини врожаю та незернової (соломи) становить приблизно 1:1, тому річні обсяги утворення соломи близькі до загального виробництва зернових культур в Україні. Виробництво зернових і зернобобових культур в Україні становить порядку 40-50 млн. т на рік з врожайністю 25-30 ц/га. Врожай 2023 року склав 78 млн тонн. Для України оптимальний обсяг соломи, яку можна використовувати на теплові потреби, за нульового балансу гумусу становить близько 40%. За попередніми підрахунками, в Україні на енергетичні цілі є можливість щорічно

використовувати до 10 млн. т соломи зернових і близько 7 млн. т соломи ріпаку [6-9]. Використання рослинних відходів дозволить Україні позбутися газової залежності і забезпечити енергетичні потреби за рахунок використання власних, швидко відновлюваних енергетичних ресурсів рослинного походження. Враховуючи, встановлені значення теплоти згоряння природного газу та ряду рослинних відходів приведені в таблиці 1.4, перспективним є використання соломи в якості альтернативного енергетичного палива.

Таблиця 1.4 - Теплота згоряння палив [10-17]

Теплота згоряння	Одиниці вимірювання	МДж, (ккал)
Газ природний, при 20°C 101,325 кПа	м ³	31,8; (7600)
Солома	кг	15,7; (3750)
Пелети із соломи	кг	14,51; (3465)
Лушпиння соняшнику, сої	кг	17,00; (4060)
Кукурудза-початок (W>10%)	кг	14,65; (3500)
Свіжозрубана деревина (W=50...60%)	кг	8,12; (1940)
Висушена деревина (W=20%)	кг	14,24; (3400)
тріска	кг	10,93; (2610)
тирса	кг	8,37; (2000)
Пелета деревна	кг	17,17; (4100)

Отже, використання тільки 10 млн. т соломи для енергетичних потреб дає щорічну економію 5 млрд. м³ природного газу.

1.3 Використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні

Незважаючи на низький рівень розвитку відновлюваної енергетики сьогодні, Україна має хороші передумови для майбутнього розвитку цього напрямку, в першу чергу сектора біоенергетики. Україна володіє великим потенціалом біомаси, доступної для виробництва енергії. Основними складовими цього потенціалу є відходи сільського господарства, відходи деревини, а в перспективі - енергетичні культури, вирощування яких почало

активно розвиватися останні роки [6, 7]. Енергетичний потенціал біомаси в Україні за 2022 р. представлений в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Енергетичний потенціал біомаси в Україні за 2022 р.

Вид біомаси	Всього утворюється, млн. т	% від загальної кількості	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	32	20	3,17
Солома ріпаку	2,9	70	0,96
Відходи виробництва кукурудзи на зерно	34	52	8,59
Відходи виробництва соняшника	17	67	5,55
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	9,7	77*	0,99
Деревна біомаса	3,9	89*	1,87
Бюдизель	-	-	0,35
Біоетанол	-	-	2,36
Біогаз із гною	-	-	0,35
Біогаз з полігонів ТПВ	-	-	0,26
Біогаз стічних вод	-	-	0,09
Енергетичні культури:			
- тополя, міскантус, верба та ін.	20	85	10,30
- ріпак (солома)	3,2	70	1,13
- ріпак (бюдизель)	-	-	0,77
- кукурудза (біогаз)	-	-	1,10
Торф	-	-	0,4
Всього	-	-	38,24

* в середньому

Величина енергетичного потенціалу біомаси змінюється по роках і залежить, головним чином, від врожайності основних сільськогосподарських культур (пшениця, кукурудза, соняшник та ін.). За останні 10 років коливання енергетичного потенціалу склали від 25 до 38 млн. т у.п./рік (1000 куб.м природного газу = 1,16 т у.п.=0,812 т н.е. (н.е. – нафтовий еквівалент; у.п. – умовне паливо)).

В Україні невиправдано високою є частка природного газу в енергобалансі (близько 43%). У проекті оновленої Енергетичної стратегії заплановано зниження споживання газу в Україні, зокрема для виробництва теплової енергії. Так, загальне зниження споживання природного газу в 2030 р. складе близько 8 млрд. м³ (14%) від рівня 2010 р. Із 27 млрд. м³ газу, що були використані для

теплопостачання (дані 2010 р.), до 2030 року є можливим та необхідним (таблиця 1.6):

- 1/3 замінити біопаливами (9 млрд. м³/рік);
- 1/3 заощадити за рахунок утеплення будівель, енергозбереження при виробництві, транспортуванні та споживанні теплової енергії (9 млрд. м³/рік);
- 1/3 залишити для цілей теплопостачання, переважно у великих містах (9 млрд. м³/рік).

Наразі на енергетичні потреби в Україні використовується лише близько 10% загального потенціалу біомаси - 2,7 млн. т у.п./рік (таблиця 1.7). Головним чином це деревна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (загалом 86% всього річного обсягу використання біомаси), та лушпиння соняшника (8%). Найменш активно застосовуються рослинні відходи - 94 тис. т соломи на рік, що становить <1% економічного потенціалу соломи в Україні.

Таблиця 1.6 - Можливості скорочення споживання природного газу при виробництві теплової енергії в Україні

Сектори споживання	Споживання газу для теплопостачання, млрд. м ³ /рік			
	2020	2030		
	Споживання ПГ	Споживання ПГ	Економія ПГ	Заміщення ПГ біомасою
ЖКГ	8	4,0	2,0	2,0
Населення	17	4,0	6,5	6,5
Бюджетна сфера	1	0,4	0,3	0,3
ТЕЦ	1	0,6	0,2	0,2
Всього	27	9	9	9

На сьогодні в Україні працюють більше 4 тис. сучасних котлів на деревині, більше 100 котлів на соломі й близько 70 котлів на лушпинні соняшника. Є кілька ТЕЦ на твердій біомасі: 1 - на деревині в системі ЦТ, 3 - на лушпинні соняшника на підприємствах масложирової галузі.

Населення використовує тисячі пічок та побутових котлів на дровах та деревних гранулах. Загальна потужність зазначеного біоенергетичного обладнання становить більше 3650 МВт_т та 14 МВт_е (табл.1.8).

Для заміщення 1000 м³ природного газу, за умови однакової ефективності котельного обладнання, необхідно використати таку кількість палива:

Дрова, у повітряно-сухому стані	кг	2520
	м ³	5-6,3
Гріска деревна, вологість 40%	кг	3340
	м ³	11-14
Стружка деревна, вологість 7-15%	кг	2270
	м ³	16-21,6
Гирса деревна, вологість 33-38%	кг	2960
	м ³	17,4
Гранули з дерева	кг	1970
	м ³	3-3,6
Гранули з соломи	кг	2200
	м ³	4-4,4
Гранули з лушпиння соняшника	кг	1890
	м ³	3-3,4
Солома зернових в тюках	кг	2360
	м ³	13-26

1.4 Прогноз розвитку біоенергетики в Україні до 2030 р

Для додаткового заміщення 5,27 млрд. м³/рік природного газу біомасою до 2020 р. відповідно до цілей затвердженого Національного плану дій з ВДЕ необхідно впровадження 12485 МВт_т +756 МВт_е в побутовому секторі, ЖКГ, бюджетній сфері, у промислових та комерційних споживачів (таблиця 1.9).

Для забезпечення необхідним обсягом палива всіх запланованих до впровадження біоенергетичних установок потрібне широке залучення відходів сільського господарства (соломи, стебел кукурудзи/соняшника) та енергетичних культур до паливно-енергетичного балансу України. Крім того, доведеться збільшити обсяги рубок - від поточних 55-60% річного приросту деревини в Україні до 85-90% річного приросту, як це практикується зараз в країнах ЄС.

Загальне заміщення ПГ біомасою для ЖКГ та бюджетної сфери у 2020 р. оцінюється у 3,32 млрд. м³/рік. На другому місці по очікуваним обсягам заміщення природного газу знаходиться населення (2,23 млрд. м³ у 2020 р.), найменший обсяг заміщення у 2020 р. прогнозується у промисловості та комерційних споживачів (1,66 млрд. м³ у 2020 р.). Динаміку відповідного росту

потужності біоенергетичного обладнання по секторах, скорочення споживання ПГ, викидів та створення нових робочих місць представлено на рисунку 1.5-1.8.

Таблиця 1.9 - Впровадження додаткового біоенергетичного обладнання для виробництва енергії в Україні до 2030 р. (у порівнянні з 2022 р.)

Сектор / Тип обладнання	Кількістод.	Встановлена потужність, МВтт (+ МВте)	Заміщення ПГ, млрд. м3/рік
Населення:			
Побутові котли на дровах та деревних гранулах 10-50 кВт _т	30000	900	0,36
Перехід населення з індивідуальних до систем помірно ЦТ: Котли на соломі/стеблах 1-10 МВт	1300	2600	1,05
Всього, населення	31300	3500	1,41
ЖКГ та бюджетна сфера:			
Котли на деревині 0,5-10 МВт _т	560	280	0,11
Котли на соломі/стеблах 1-10 МВт	1500	3750	1,52
ТЕЦ на деревині	9	270 (+54)	0,11
ТЕЦ на соломі/стеблах	50	1770 (+300)	0,72
ТЕЦ на біомасі енергетичних культур	50	1770 (+300)	0,72
Всього, ЖКГ та бюджетна сфера	2169	7840 (+654)	3,18
Промислові та комерційні споживачі:			
Котли на соломі/стеблах 0,1-1 МВтт	1190	595	0,45
Котли на лушпинні соняшника	5	40	0,03
ТЕЦ на деревині	10	300 (+60)	0,11
ТЕЦ на лушпинні соняшника	7	210 (+42)	0,08
Всього, промислові / комерційні споживачі	1212	1145 (+102)	0,68
ВСЬОГО	34681	12485 (+ 756)	5,27

Виключно важливим є питання забезпечення необхідним обсягом палива всіх запланованих до впровадження біоенергетичних установок. Оцінку розподілу біопалив за видами представлено на рисунку 1.9. З даних рисунку видно, що для досягнення поставлених цілей найближчими роками потрібне широке залучення відходів сільського господарства (соломи, стебел кукурудзи/соняшника) та енергетичних культур до паливно-енергетичного

балансу країни. Прогнозується, що у 2030 р. для виробництва енергії буде використовуватися близько 0,82 млн. т у.п. біомаси енергокультур. Для умов України найбільш придатними для вирощування (з метою отримання твердого біопалива) є верба, міскантус й тополя. Для отримання необхідної кількості біопалива з енергокультур під їх вирощування має бути задіяне загалом понад 118 тис. га у 2030 р. Це складатиме лише порядку 3% вільної площі сільськогосподарських земель в Україні (див. рисунок 1.10).

Ресурси деревної біомаси для енергетичних цілей в Україні є відносно обмеженими і вже зараз активно використовуються. З огляду на це у представленій концепції розвитку теплової біоенергетики запланований відносно невеликий ріст потужності обладнання на деревині у порівнянні з іншими видами біомаси (в першу чергу, відходами сільського господарства). Тим не менш, у 2030 р. це обладнання потребуватиме понад 3 млн. у.п. деревного палива, що у 1,5 разів більше за наявний наразі потенціал.

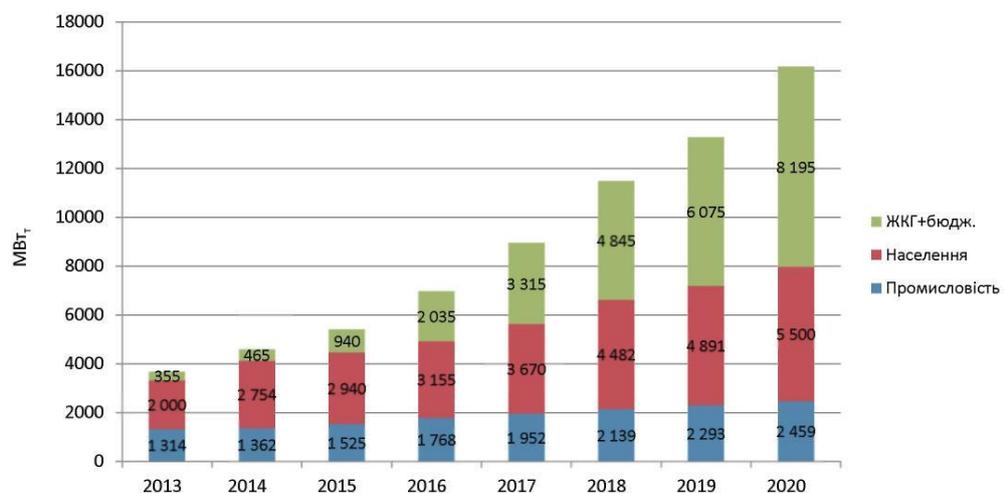


Рисунок 1.5 - Динаміка росту потужності біоенергетичного обладнання в Україні

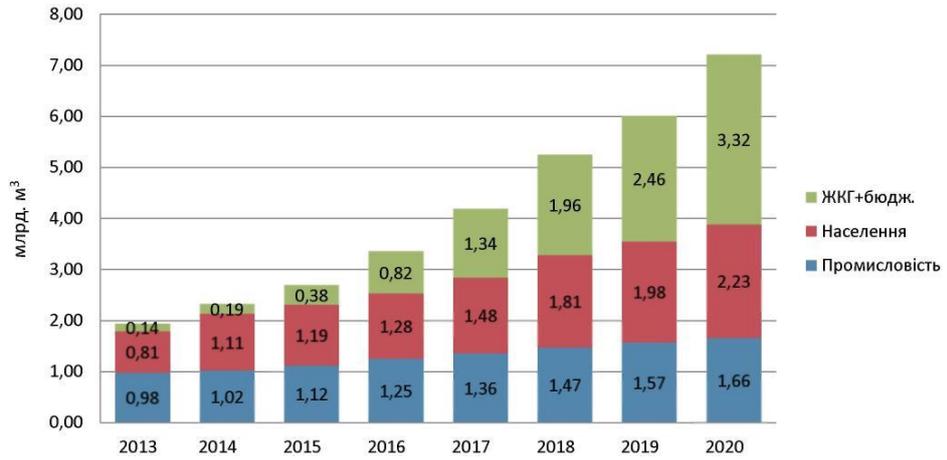


Рисунок 1.6 - Динаміка скорочення споживання природного газу за рахунок біомаси в Україні

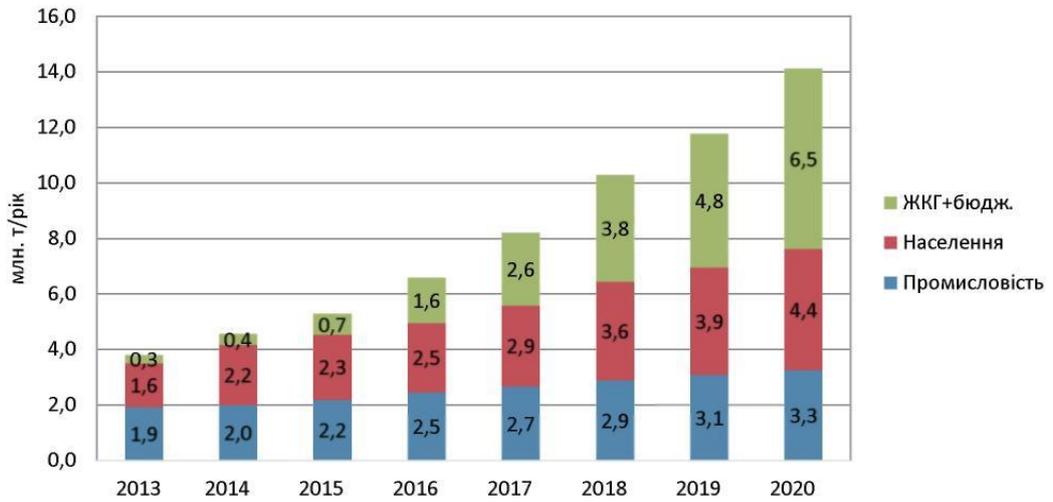


Рисунок 1.7 - Скорочення викидів CO₂ при заміщенні природного газу біомасою в Україні

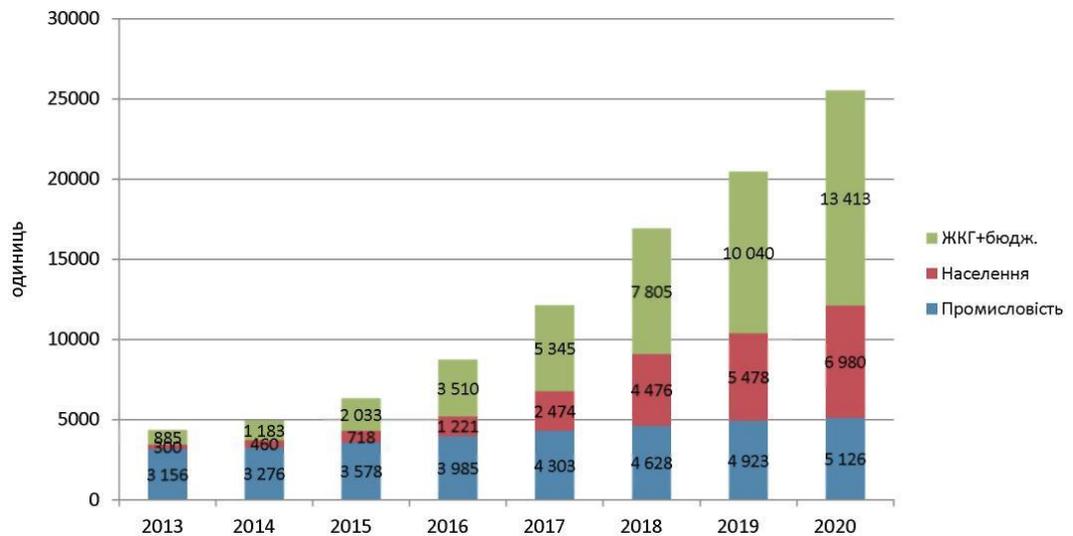


Рисунок 1.8 - Динаміка створення нових робочих місць за рахунок впровадження біоенергетичного обладнання в Україні.

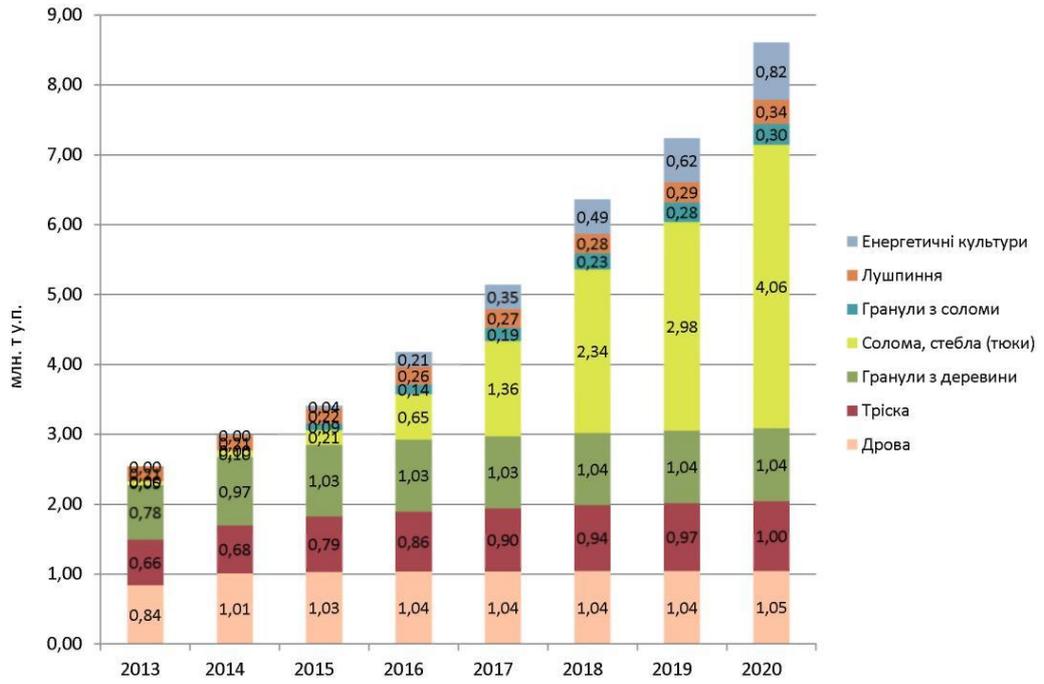


Рисунок 1.9 - Структура біопалив для виробництва теплової енергії в Україні

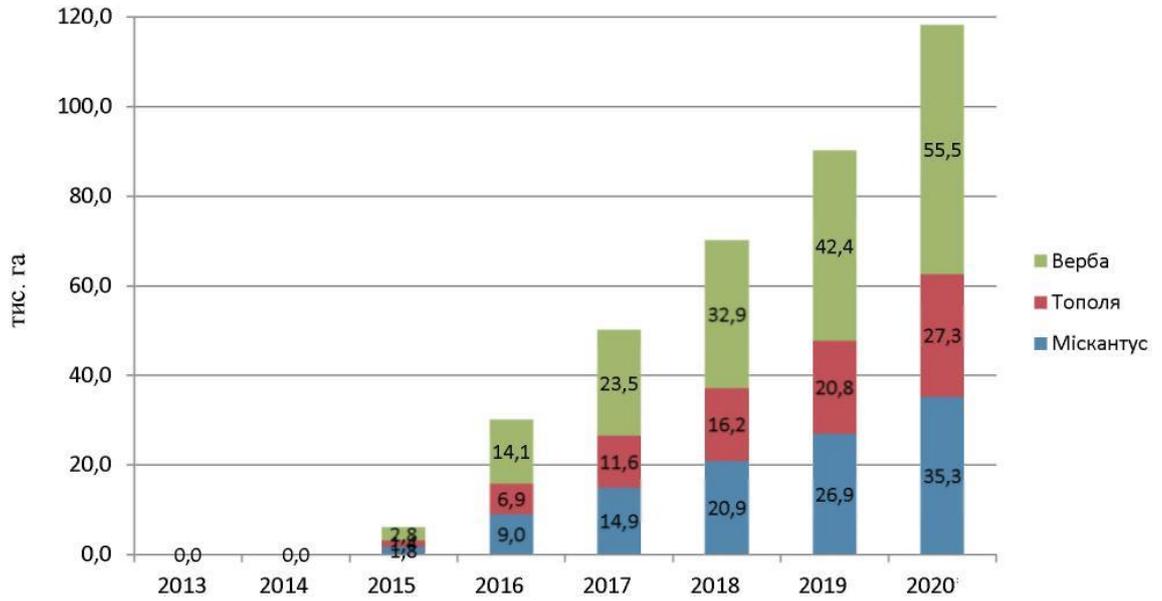


Рисунок 1.10 - Площа під вирощування енергетичних культур в Україні

2. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

2.1 Оцінка енергетичного потенціалу

Висновки щодо доступного енергетичного потенціалу біомаси ґрунтуються на теоретичній оцінці виходячи з статистичних даних по рівню сільськогосподарського виробництва (урожайності основних культур, структури сільського господарства, коефіцієнту утворюваних відходів), рівню лісистості регіону, інтенсивності рубок головного користування та відходів деревини, що утворюються на деревообробних підприємствах, рівню заготівлі дров у даному регіоні, та загальній потужності виробників біопалива рослинного походження (гранул, брикетів), деревообробних та переробних підприємств та інших підприємств, що використовують біомасу, в т.ч. для енергетичних потреб (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 - Біопалива рослинного походження

Деякі узагальнені дані щодо енергетичного потенціалу біомаси всіх областей України можна знайти у статтях та аналітичних записках Біоенергетичної асоціації України та Інституту відновлюваної енергетики НАНУ. З методикою оцінки теоретично досяжного енергетичного потенціалу біомаси можна ознайомитись в документі, погодженому Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України. На рисунках нижче (2.2 і 2.3)

представлений енергетичний потенціал біомаси для 2022 року. Очевидно, що найбільший потенціал деревної біомаси доступний у найбільш лісистих північних та північно-західних районах України - Житомирська, Львівська, Рівненська, Київська області, а також гористі ділянки Карпат і Криму. Найбільший наявний потенціал агробіомаси доступний у центральних, південних та південно-східних районах України, де розвинуте сільське господарство і харчовий переробний сектор. Загальний потенціал деревної біомаси у 2013 р. склав 1378 тис. т н.е., агробіомаси - 8039 тис. т н.е. Слід мати на увазі, що потенціал деревної біомаси залежить від рівня розвитку деревообробної промисловості в регіоні, а також від рівня рубок деревини, що наразі становить приблизно 50 % від щорічного приросту. Для агробіомаси основним фактором, що впливає на потенціал, є щорічна урожайність агрокультур, що суттєво коливається в залежності від кліматичних умов кожного року. Крім того, вбачаючи тенденцію росту урожайності в Україні в найближчі роки, потенціал агробіомаси також зростатиме.

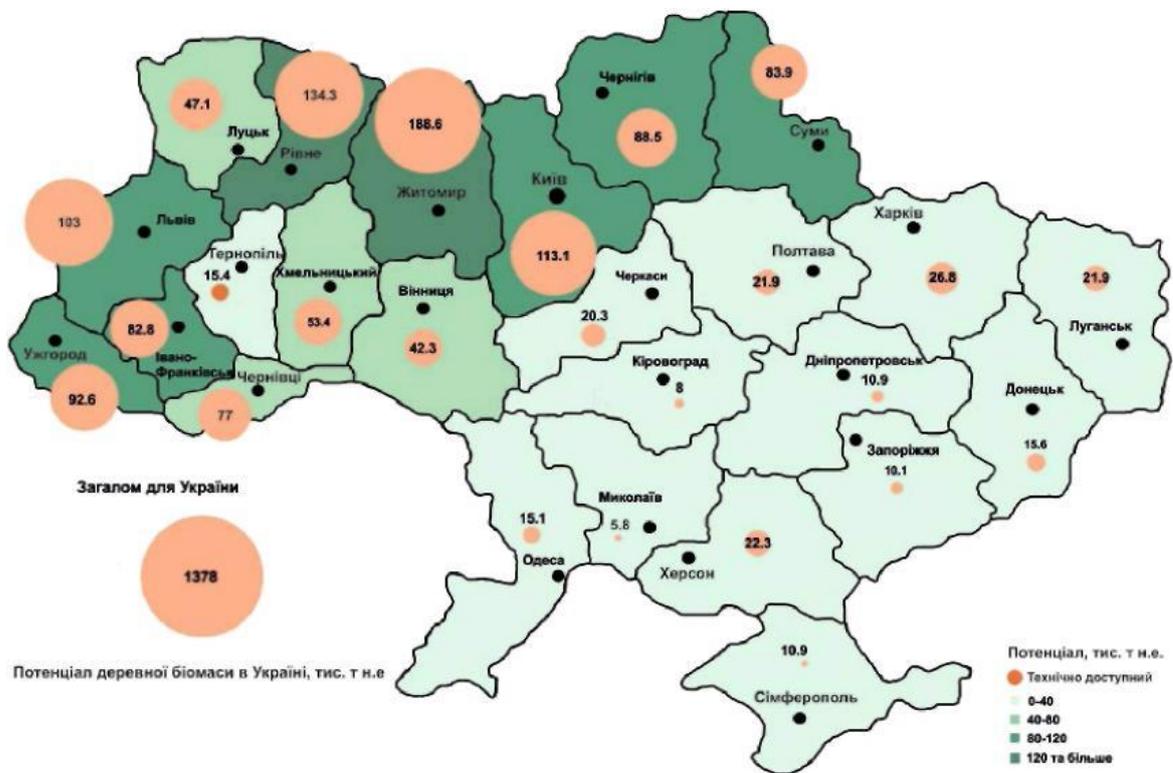


Рисунок 2.2 – Потенціал деревної біомаси в Україні, 2022.

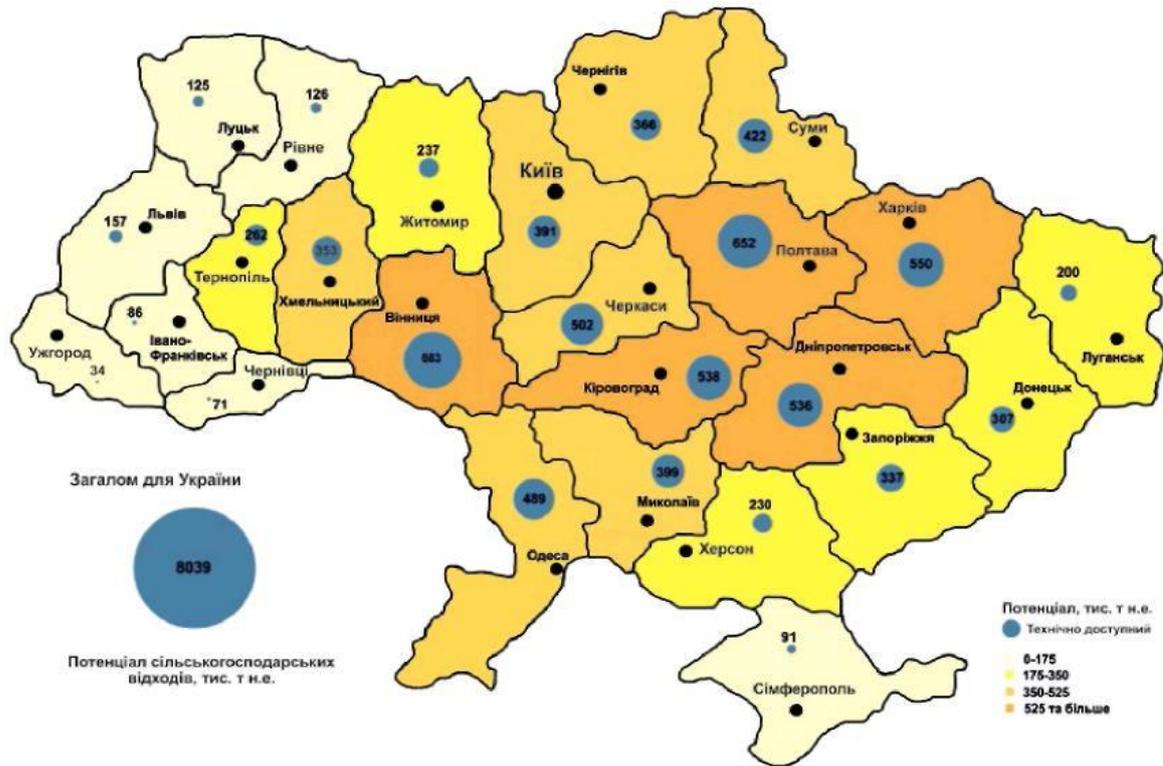


Рисунок 2.3 – Потенціал агробіомаси в Україні, 2022.

Оцінка наявного фактичного потенціалу на окремій території базується на оперативному опитуванні всіх можливих постачальників біопалива. Такими постачальниками на території збору палива можуть бути: державні лісові господарства та приватні підприємства; агрохолдинги; фермерські господарства, виробники пелет та брикет з біомаси; деревообробні підприємства, підприємства переробки с/г продукції, тваринницькі комплекси, підприємства харчової та обробної промисловості тощо.

Державні лісові господарства наразі проводять аукціони з продажу всіх видів деревини, тому потенційному споживачеві деревної біомаси в енергетичних цілях необхідно брати в них участь. Іншим варіантом є безпосереднє звернення до керівництва таких компаній з запитом на кількість біомаси, що може бути поставлена на енергетичний об'єкт.

Сільськогосподарські підприємства наразі не досить активно виконують тюкування соломи через відсутність попиту на тюковану солому.

2.2 Логістичні схеми постачання деревної та агробіомаси

В залежності від виду біомаси та типу її ущільнення відрізняються і логістичні схеми за якими здійснюється постачання біомаси на енергетичний об'єкт. Основними елементами будь-якої логістичної схеми є 4 складові: заготівля біомаси, завантаження/розвантаження, транспортування, складування.

В біоенергетиці зазвичай вважається, що транспортування біомаси/біопалив автотранспортом (окрім гранул/брикетів) є доцільним на відстань в межах близько 100-150 км. Це пов'язано, в першу чергу, з невеликою насипною щільністю палива, що може призвести до ситуації, коли перевозиться великий обсяг біомаси з малим енергетичним вмістом. Наприклад, насипна щільність дров складає 200-250 кг/м³, тюків – 120-200 кг/м³, тріски - 100-200 кг/м³. Для порівняння, насипна щільність гранул складає 600-850 кг/м³. Як наслідок, - велика кількість ходок (або одиниць) транспортного засобу, що викликає високі транспортні витрати і суттєво підвищує кінцеву вартість палива.

2.2.1 Особливості логістики деревних відходів.

При використанні біомаси у вигляді деревної тріски з відходів ведення лісогосподарської діяльності, перш за все, необхідно визначити відповідне місце для їх подрібнення. Найчастіше застосовують наступні технології подрібнення: безпосередньо у лісі; на проміжному (буферному) складі; перевезення відходів у нижній склад з подальшим його подрібненням; пакетування відходів (рис.2.4).

Подрібнення деревини - дуже важлива операція, що визначає всі наступні технологічні рішення та формування ціни на тріску. Вибір подрібнювачів достатньо широкий, їх виготовляють для роботи з різними приводами та встановленням на різних машинах. Конкретні організаціо-технічні рішення представлені у розділі 2.4.



Рисунок 2.4 – Принципова схема логістики тріски

2.2.2 Використання агровідходів в Україні сьогодні

Зібрана солома зернових культур використовується за різними напрямками (Рис. 2.5): на потреби тваринництва (підстилка та грубий корм худобі), як органічне добриво, для вирощування грибів у закритому ґрунті, а також на енергетичні потреби (спалювання в котлах, виробництво гранул/брикетів). Невикористаний залишок, який загалом по країні являє собою доволі великий об'єм, часто спалюється на полях, що є офіційно забороненим в Україні і шкідливим для оточуючого середовища та ґрунту.



Рисунок 2.5 - Утворення та використання соломи в Україні

Солома як органічне добриво застосовується для утворення гумусу у верхньому шарі ґрунту. Гумус – органічна частина ґрунту, яка утворюється в результаті розкладу рослинних і тваринних решток і продуктів життєдіяльності організмів. Підтримання належного балансу гумусу сприяє біологічній активізації ґрунту а також його протиерозійному захисту.

Треба зазначити, що внаслідок недостатнього застосування мінеральних добрив протягом останніх 20 років, суттєвого зменшення внесення органічних добрив (рис.2.6) та спалювання соломи в полях, відбулося істотне зменшення вмісту та запасів гумусу в ґрунтах. У середньому протягом 2000-2012 рр. вносили менш ніж 1 т/га органічних добрив, тоді як мінімальна їхня норма для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу, залежно від ґрунтово-кліматичної зони, має становити від 8 до 14 т/га. На сьогоднішній день втрати гумусу спостерігаються в усіх кліматичних зонах України. При існуючій структурі посівних площ у цілому по країні щорічні втрати гумусу становлять 0,6-0,7 т/га. За результатами агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, кожних 5 років ґрунти України втрачають у середньому 0,05% гумусу.



Рисунок 2.6 - Приклади спалення соломи на полях в Україні

2.2.3 Логістика використання відходів рослинництва (агровідходів).

Використання соломи як палива можливе у вигляді тюків різного розміру та у вигляді неущільненої січки. Збір соломи з поля повинен відбуватися відразу після збору урожаю зернових, щоб не заважати основній діяльності по сівозмінам. Принципова логістична схема для агровідходів представлена на рисунку 2.7.

Для формування тюків з соломи використовують прес-підбирачі, що дозволяють отримати щільні та заданої форми й потрібних розмірів прямокутні тюки або циліндричні рулони. Прес-підбирачі великогабаритних тюків мають незаперечні переваги перед іншими конструкціями машин, а саме: висока продуктивність, менші затрати праці, краще використання вантажопідйомності транспортних засобів, площ складських приміщень, підвищення продуктивності навантажувачів.

Визначення способу доставки біомаси базується на можливостях постачальника, економічній доцільності та вимог до технологічного процесу споживача. Зазвичай, більшість видів біопалива рослинного походження, а саме сипку біомасу (тріска, тирса, стружки, обрізки, гранули, торф), перевозять самоскидами або іншим наявним автотранспортом. У залежності від організації процесів прийому біомаси, її розвантаження та подачі на склад необхідно визначити вимоги до транспортних засобів, а саме: габаритних розмірів, вантажопідйомності, радіусів розворотів, способу розвантаження (заднє чи бокове), самовивантаження чи необхідність додаткового технічного оснащення. Слід зазначити, що використання спеціалізованої техніки, наприклад, трісковозів, завдяки їх спеціалізованості на перевезенні саме тріски, збільшеній вантажопідйомності, зменшує періодичність доставки, час на операції розвантаження, а отже, і ціну біопалива.

Особливістю транспортування гранул різного походження є можливість їх перевезення у великих мішках (біг бегах) вагою 1-1,5 т будь-яким зручним для цієї мети транспортом (зручність транспортування, захист палива від оточуючого середовища, покращена якість палива - утворюється менше дрібної фракції

(пилу) при транспортуванні, мішки можуть бути використані повторно), а також спеціалізованим транспортом - грануловозами.

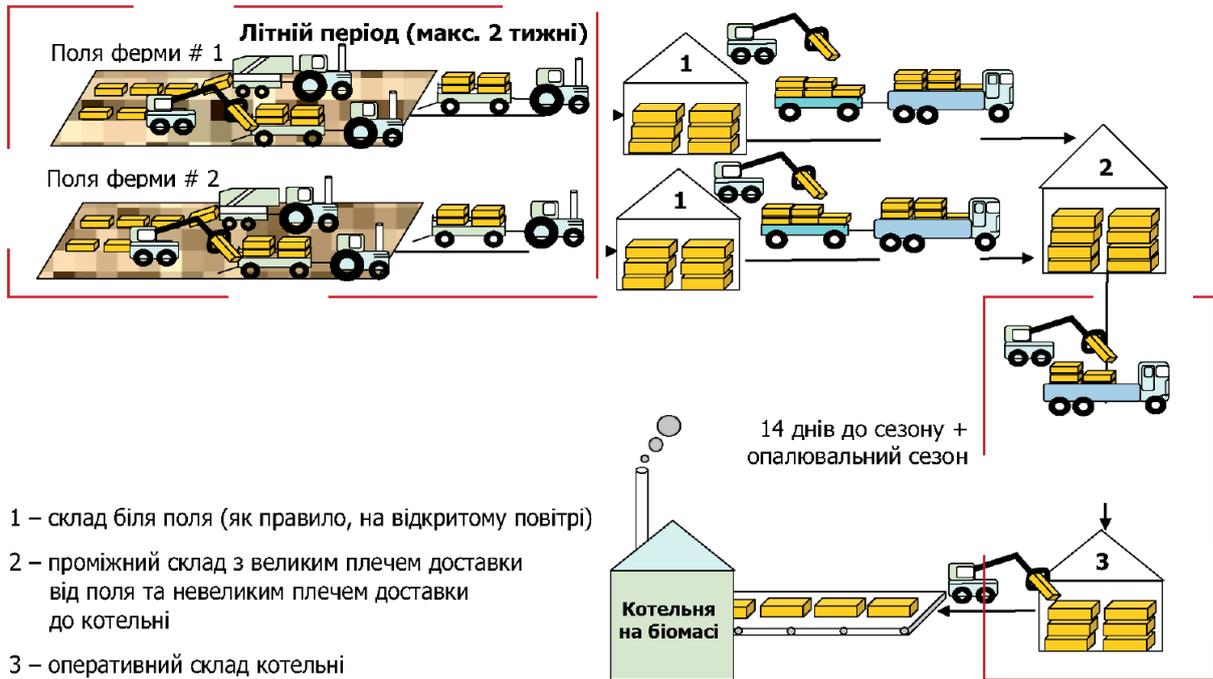


Рисунок 2.7 – Принципова логістична схема для агровідходів

2.3 Організаційно-технічні рішення по постачанню рослинних відходів

Первинні відходи включають солому зернових, зернобобових, відходи виробництва кукурудзи на зерно та соняшника. Вони утворюються безпосередньо в процесі збору врожаю відповідних сільськогосподарських культур. Вторинні відходи - це відходи, які утворюються в процесі переробки врожаю на профільних підприємствах (наприклад, лущиння соняшника, лущайки рису, жом цукрового буряка, тощо).

В процесі збирання врожаю зернова частина культури відділяється від стеблової, і солома за допомогою зернозбиральних комбайнів, косарок та граблів вкладається у валки. Частина соломи залишається у вигляді стерні на полі, потім вона приорується у ґрунт. Тюкування соломи прес-підбирачем виконується в тих випадках, коли агропідприємство має конкретні плани щодо використання тюків. Зібрана солома використовується на потреби тваринництва (підстилка та грубий корм для худоби), як органічне добриво, для вирощування грибів у закритому

грунті, на енергетичні потреби. Невикористаний залишок, фактично спалюється на полях (що є офіційно незаконним в Україні у відповідності до Кодексу адміністративного судочинства).

2.3.1 Продукування рослинних відходів.

Основним джерелом продукування рослинних відходів є зернозбиральні комбайни (рис.2.8) призначені для обмолоту зернових, бобових культур та інших дрібнонасінних культур прямим і роздільним комбайнуванням. В залежності від культури яку ми збираємо – пшениця, ріпак, ячмінь, соняшник, кукурудза або соя комбайн обладнується різними жатками та пристосуваннями для збирання даної культури.



Рисунок 2.8 - Будова зернозбирального комбайну

Жатка зрізає стеблову масу. Далі маса по похилій камері зі швидкістю 3 м/с надходить до молотильного апарату, де прискорюється молотильним барабаном до швидкості 15 м/с і обмолочується під дією ударів бичів і протягуванням її у вузькому зазорі між бичами барабана і підбарабання. Зазор між барабаном і підбарабанням залежить від культури, яка збирається і умов збирання (суха маса чи забур'янена або підвищеної вологості). Зазор підбарабання може

регулюватись як на вході так і на виході. В процесі роботи необхідно, щоб в зоні обмолоту вимолотилось 100% зерна, а виділилось із соломи (відсепарувалось) приблизно 90% зерна, в найкращому випадку молотарка відсепаровує 75 – 85% зерна, яке проходить через комірки підбарабання і падає на стрясну дошку (також, має назву грохот або підготовлювальна дошка). Разом із зерном на стрясну дошку надходить половина і незначна частина битих колосків і стебел.

Решта солом'яної маси (грубий ворох) із молотарки йде на соломотряс де сепарується (відділяється) від соломи зерно, яке не встигло виділитись на молотарці. Процес виділення зерна ґрунтується на переміщенні маси і розпушуванні її в результаті зустрічних ударів, що наносяться клавішами соломотрясу по масі.

Відсепароване зерно разом з дрібними частинками вороху просипається через жалюзійні отвори у клавішах на скатну дошку і транспортується до системи очистки (стрясної дошки). Солома сходить з клавіш і потрапляє до подрібнювача.

За час руху по підготовлювальній дошці ворох розшаровується за вагою: легкі домішки (солома, половина) впливають на гору, а важкі (зерно, колоски) – опускаються вниз. В кінці грохота встановлено пруткові подовжувачі, які затримують легку масу зверху, а зерно присипається крізь їх зазори і потрапляє одразу на решета очистки. Та маса, яка затрималась на подовжувачі продувається вентилятором системи очистки і видувається за межі комбайну, що зменшує навантаження на основні решета.

Ворох, який не видувся на подовжувачі надходить на верхнє жалюзійне решето, де величина відкривання жалюзі залежить від культури, що збирається. Вентилятор очистки створює повітряний потік, який продуває решета очистки. Частота обертів вентилятора встановлюється відповідно до виду культури, що збирається і величини відкриття верхнього решета. Відрегульований повітряний потік, відбираючи легкі домішки (полову, частинки соломи), виносить їх за решета комбайну.

Зернова суміш (зерно, частини колосків і стебел), що пройшла через верхнє решето, потрапляє (просипається) на нижнє. Величина відкривання його жалюзі менша, ніж верхнього, і розрахована таким чином, щоб через його отвори проходило лише зерно. Пройшовши через отвори нижнього жалюзійного решета, зерно падає на скатну дошку і надходить у зерновий шнек, звідки надходить до зернового бункера. Та частина маси, яка не пройшла крізь зазори нижнього решета, має невимолочені колоски та їх побиті частини, надходить у колосовий шнек, який подає її в молотильний апарат комбайна на повторний обмолот.

Дана система обмолоту (молотильний барабан + соломотряс) найкраще пристосована до європейських умов збирання і при правильній налазці комбайн показує відмінні показники якості обмолоту та сепарації сільськогосподарських культур при мінімальних втратах. Технологічна схема зернозбирального комбайна представлена на рис.2.9.

2.3.2 Збирання рослинних відходів.

В Україні на сьогоднішній день найбільш розповсюдженим методом збору соломи є потоковий спосіб (рис. 2.10), при якому подрібнена зернозбиральним комбайном солома збирається у змінні причепа і вивозиться до місця скиртування (при відсутності причепа солома розкидається по полю).

Після цього солома зберігається у великих стогах, як правило не накритих. Такий спосіб зберігання призводить до її надмірного зволоження внаслідок дії опадів та сильних вітрів.

При застосуванні соломи як палива використовуються переважно великі прямокутні тюки. В процесі збирання врожаю зернова частина відділяється від стеблової й за допомогою зернозбиральних комбайнів, косарок та граблів солома вкладається у валки (рис. 2.11-2.12) для формування щільних тюків. Збір соломи з поля повинен відбуватися відразу після збору урожаю зернових, що унеможливить збільшення вологості в наслідок випадання опадів, та дозволить відразу приступити до операцій по обробці ґрунту (підготовка для вирощування врожаю зернових в наступному році). Згідно типових сівозмін господарств, збір

соломи з полів може тривати не більше 14 днів після закінчення збору урожаю зернових.

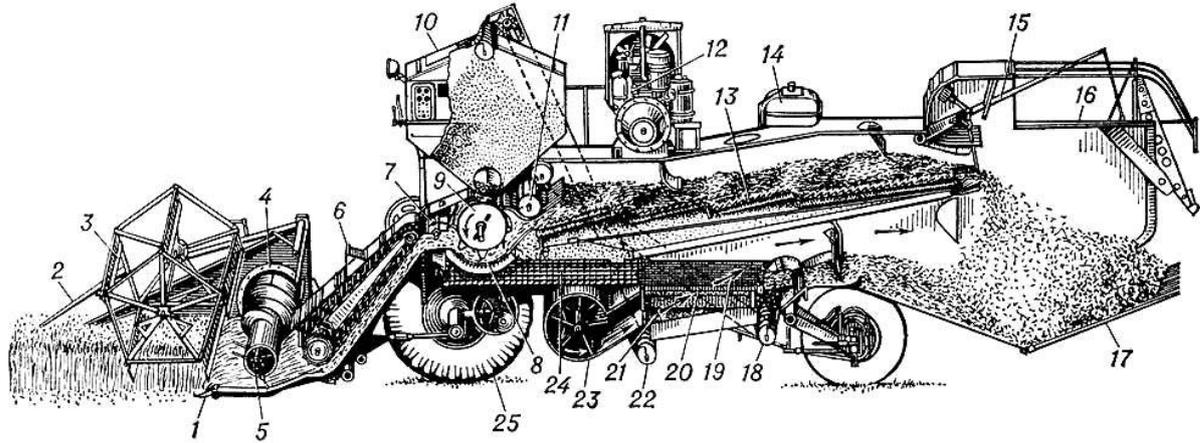


Рисунок 2.9 - Пристрій і технологічна схема комбайна: 1 - ріжучий апарат; 2 - подільники; 3 - мотовило; 4 - шнековий транспортер; 5 - пальчиковий механізм; 6 - похилий транспортер; 7 - приймальник; 8 - підбарабання; 9 - молотильний барабан; 10 - бункер; 11 - відбійний бітер; 12 - двигун; 13 - соломотряс; 14 - паливний бак; 15 - соломонабиватель; 16 - соломонакопичувач; 17 - відкидне днище накопичувача; 18 - колосовий шнек; 19 - верхнє решето очищення; 20 - нижнє решето очищення; 21 - скатна дошка; 22 - шнековий зерновий транспортер; 23 - вентилятор; 24 - транспортна дошка; 25 - ведуче колесо.

Збір соломи з поля повинен відбуватися відразу після збору урожаю зернових, що унеможливить збільшення вологості внаслідок випадання опадів, та дозволить відразу приступити до операцій по обробці ґрунту.



Рисунок 2.10 – Потокове збирання соломи



Рисунок 2.11-2.12 – Формування та укрупнення валків

Для формування тюків соломи використовують прес-підбирачі (рис. 2.13), що дозволяють отримати щільні прямокутні тюки або циліндричні рулони заданої форми і потрібних розмірів. Прес-підбирачі великогабаритних тюків мають незаперечні переваги перед іншими конструкціями машин, а саме: висока продуктивність, менші затрати праці, краще використання вантажопідйомності транспортних засобів, площ складських приміщень, підвищення продуктивності навантажувачів. Провідні машинобудівні фірми світу John Deere, Challenger, Hesston, Vicon, Claas і Krone та інші пропонують понад 20 моделей прес-підбирачів великогабаритних тюків, які різняться між собою площею перетину пресувальної камери, кількістю ходів поршня, конструкційним виконанням робочих органів (Таблиця 2.1).

Великі тюки мають різні габарити: шириною 0,5...1,2 м, висотою 0,7...1,27 м, довжиною 2,0...3,0 м. Щільність тюків становить близько 130-200 кг/м³ і залежить від типу сировини, щільності валків, швидкості пресування та типу підбирача. Для спалювання найчастіше використовують великі тюки (1,2x1,3x2,4 м) вагою 400-500 кг, що робить їх транспортування, складування та зберігання економічно доцільним.

Таблиця 2.1 – Характеристика великих тюків соломи

Характеристика тюків	Типи прес-підбирачів					
	CLAAS ,drant ~3200	Massey Ferguson MF 2160	New Holland BB9080	KRONE BiG Pack 1270	Challenge r LB24B	CASE
Ширина, мм	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Висота, мм	700	700	900	700	700	700
Довжина, мм	1000- 3000	1000- 2700	1000- 2600	1000-2700	1000- 2700	1000- 2600
Паспортна щільність пресування,	160-200	160-200	160-200	160-200	160-200	160-200

Вантаження тюків можна організувати різними способами. Великі прямокутні та циліндричні тюки навантажуються фронтальним завантажувачем, тракторами-вантажниками, телескопічними навантажувачами та механічними підбирачами-укладачами тюків (рис. 2.14). Телескопічний навантажувач найкраще підходить для розвантаження, оскільки досягає висоту штабелів, в яких зберігаються тюки соломи. Для завантаження найчастіше застосовують фронтальні завантажувачі, оскільки для цього достатньо прикріпити насадку на трактор, що є в наявності. В залежності від обладнання фронтального завантажувача та його вантажопідйомності, вантажної потужності та стійкості, завантажувач може нести одночасно один або кілька тюків. При заготівлі великих об'ємів тюкованої соломи використовують сучасні автоматичні підбирачі тюків. Поєднання в одній установці функції збору, транспортування та розвантаження тюків дозволяє максимально ефективно й з великою продуктивністю організувати процес логістики заготівлі. Такими автоматизованими підбирачами можна перевозити за ходку до 12 тюків. Це дає змогу зібрати тюки розкидані на полі та звести їх до місця завантаження вантажного автопоїзду або безпосередньо до проміжного складу.

Загальний вигляд підбирачів тюків в процесі збирання, транспортування і розвантаження зображено на рис. 2.15.



Рисунок 2.13 - Прес-підбирачі тюків провідних виробників світу



Рисунок 2.14 - Навантаження тюків фронтальним навантажувачем.

Для перевезення тюкованої соломи широко використовуються переобладнані вантажівки або вантажні причепа. Розмір завантаження складає від 6 до 18 тюків. При перевезенні на великі відстані автомобіль часто буксирує два причепа, так що розмір одного завантаження досягає 24 тюків за одну ходку. В залежності від відстані між складом і енергетичним об'єктом доставка палива також може здійснюватись або трактором, або вантажним автотранспортом. Якщо перевезення здійснюється трактором, то швидкість транспортування є досить низькою. Отже, потенціал перевезення також значно нижче у порівнянні з перевезенням вантажним транспортом, і зі збільшенням відстані ця різниця стає більш суттєвою.

При перевезенні довгомірними вантажними автомобілями (рис. 2.16), як правило, завантажуються 12 тюків на платформу автомобіля і 12 на причеп-платформу. Завантаження відбувається у 2-3 яруси. При незначних відстанях широко застосовують навантаження до 16-20 тюків на автотранспорт. Розвантаження на паливному складі відбувається за допомогою фронтального/телескопічного навантажувача або спеціальних кранів (рисунок 2.17).



Рисунок 2.15 – Спеціалізовані підбирачі великих прямокутних тюків соломи

Для транспортування тюків соломи на невеликі відстані також можна використовувати трактор зі спеціальним причепом, що здійснює самозавантаження тюків соломи. Такі причепа дозволяють перевозити до 12 великих тюків соломи. Причіп призначений для підбору, транспортування та складування прямокутних тюків довжиною до 2,5 м. Варто зазначити, що

перевезення соломи таким обладнанням можливо здійснювати на проміжний склад, який буде знаходитись на території агровиробника.



Рисунок 2.16 - Перевезення великих тюків соломи



Рисунок 2.17 - Розвантаження тюків з вантажівки на складі

Солома, призначена для спалювання, повинна зберігатися в умовах, що забезпечують її захист від замокання, гниття, займання. Солому можна зберігати як у закритих приміщеннях, так і на вулиці (рис.2.18-2.19). Зберігання у закритих приміщеннях дозволяє підтримувати вологість соломи на одному рівні, запобігає гниттю. Великі склади соломи мають питоме навантаження на площу складу 1,5-2,5 т/м². Важливо забезпечити вільний доступ до соломи для спрощення зберігання та процесів її навантаження і розвантаження. Для операцій з великими тюками потрібен трактор з фронтальним навантажувачем. Крім того, у приміщенні має бути достатньо вільного місця для маневрів

розвантажувача/навантажувача. Необхідний контроль вологості та протипожежної безпеки.



Рисунок 2.18-2.19 - Зберігання тюкованої соломи під навісом і на критому складі.

Зберігання на вулиці є значно дешевшим, але у більшості випадків цей спосіб підходить лише для короткочасного зберігання. При зберіганні на відкритому повітрі існує ризик підвищення вологості соломи (особливо її верхнього шару) до рівня, що перевищує допустимий для спалювання в енергетичних установках (17-20%). Також солону можна зберігати під плівковим покриттям (рис. 2.20), але це не рекомендується за умов вітряного клімату. Як альтернатива, солону можна загорнути у плівку, що розтягується і є вітростійкою (рис. 2.21).

Стебла кукурудзи і соняшника також є відходом виробництва відповідних сільськогосподарських культур. Наразі переважна більшість аграрних підприємств застосовує технологію збору кукурудзи, при якій стебла та качани подрібнюються й розкидаються по полю, їх збір при цьому неможливий. Для можливості реалізації збору стебел кукурудзи необхідно замінювати насадку комбайну. Для реалізації можливості збору качанів необхідно застосовувати технологію збирання кукурудзи, що передбачає обмолот качанів не на полі, а у стаціонарних умовах. Наразі лише насінневі заводи збирають кукурудзу зі стаціонарним обмолотом качанів на підприємстві.



Рисунок 2.20-2.21 - Зберігання тюкованої соломи на відкритому повітрі під захисною плівкою та загорнутою у плівку.

Для енергетичного застосування стебел кукурудзи необхідно виконувати їх тюкування. В Україні на даний час таке обладнання відсутнє, а стебла та стрижні кукурудзи як паливо майже не використовуються, хоча їх можна вважати перспективним енергетичним ресурсом з великим потенціалом. Досвід використання показує понаднормове зношення елементів комбайнів.

Стебла соняшника мають вологість понад 50%, що є негативним фактором для їх застосування в якості палива. Згідно використовуваної в країні технології збору соняшника, стебла залишаються на полі, а пізніше подрібнюються та приорюються в ґрунт. Технологія збору стебел соняшника в Україні не розвинена, тому в якості біопалива їх можна розглядати лише на перспективу.

Сировинна база соняшникового лушпиння формується на олійноекстракційних заводах чи оліє-жирових комбінатах. Лушпиння соняшника в якості палива вже зараз дуже активно застосовується в Україні - спалюється в котлах, розташованих на підприємствах масложирової галузі, крім того, з нього виробляються гранули/брикети. На сьогоднішній день об'єми використання лушпиння в Україні оцінюються приблизно у 500 000 т/рік (заміщуючи при цьому понад 200 млн. м³/рік природного газу).

2.4 Лінія гранулювання рослинних відходів – ЛГБМ-2000

ЛГБМ-2000 призначена для переробки сухої біомаси на паливні гранули (пелети). Лінія з незначними переробками налаштовується на будь-які види біомаси: солома будь-яких культур, тирса, стружка, макуха, сухий силос, торф і т.д. Лінія дозволяє переробити більше 750 тон біомаси за 1 місяць роботи. За наявності достатній кількості сировини лінія окупається менш ніж за один рік (рис.2.22).



Рисунок 2.22 - ЛГБМ-2000

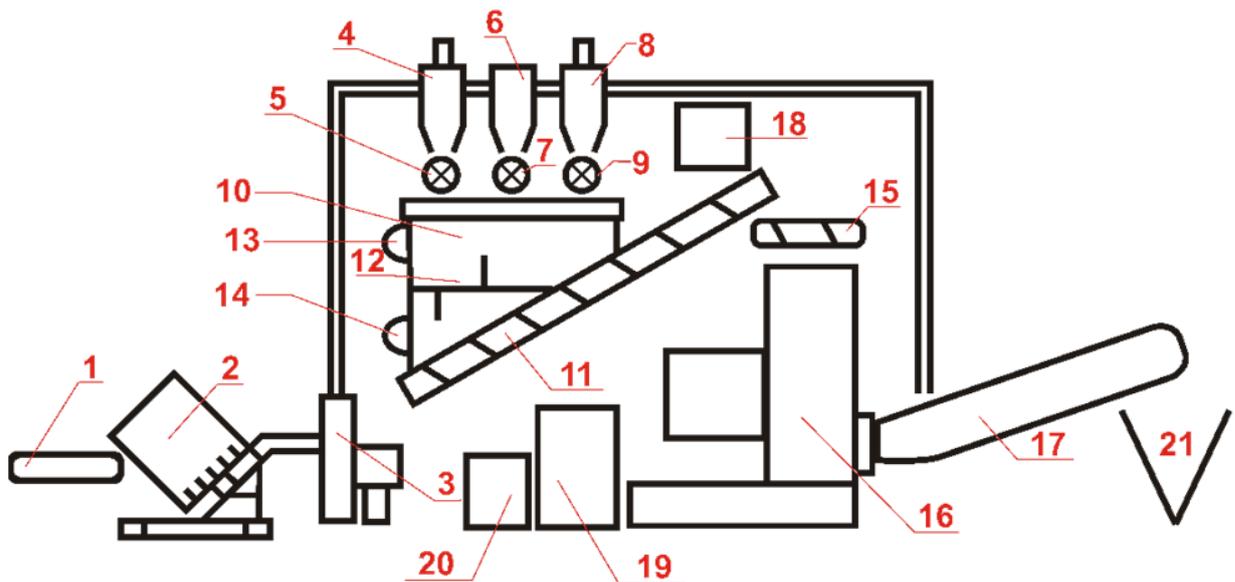
Переваги лінії ЛГБМ-2000:

- Продуктивність лінії вельми висока – до 2000 кг/год при гранулюванні соломи в тюках (рулонах) або насипом;
- Оснащена сучасною шафою керування, яка не допускає перевантажень лінії і запобігає аварійній ситуації;
- Оригінальна конструкція системи подачі біомаси в гранулятор, що забезпечує стійкість режиму грануляції;
- Оригінальна конструкція транспортера — охолоджувача гранул, в якому при пропусканні повітря гранули охолоджуються, а не кондиційні гранули

повертаються назад в систему подачі в гранулятор. Це дає можливість отримувати гранули найвищої якості;

- Легко монтується, легко перенастроюється на різні види біомаси.

Сумарна потужність всіх установлених двигунів в агрегатах лінії складає 215 кВт. Максимальна споживана потужність лінії не перевищує 160 кВт/год. Кінематична схема лінії грануляції соломи ЛГБМ-2000 представлена на рисунку 2.23.



Кінематична схема лінії грануляції соломи

- | | | |
|---|---|--|
| 1. транспортер тюків | 8. циклон активний 11 кВт для охолодження суміші з шлюзовим затвором 9. | 16. прес-гранулятор ППМ-2000 |
| 2. подрібнювач соломи ПС-30 «Торнадо» | 10. бункер преса з шнековим дозатором 11. | 17. транспортер охолоджувач |
| 3. молоткова дробарка | 12. ворошилка | 18. ємність для води |
| 4. циклон активний 7,5 кВт з шлюзовим затвором 5. | 13. датчик верхнього рівня | 19. шафа керування лінією |
| 6. циклон пасивний молоткової дробарки з шлюзовим затвором 7. | 14. датчик нижнього рівня | 20. шафа керування подрібнювачем соломи ПС-30 |
| | 15. шнек кондиціонер | 21. бункер готової продукції з наповнювачем мішків |

Рисунок 2.23 - Кінематична схема лінії грануляції соломи ЛГБМ-2000

Процес виробництва гранул із соломи складається з таких стадій:

1. Подрібнення тюків соломи;
2. Перемелювання солом'яної маси;
3. Кондиціонування та витримка солом'яного борошна;
4. Гранулювання;
5. Охолодження та сушка гранул;
6. Вивантаження та упаковка готової продукції.

1. Подрібнення тюків соломи.

Рулони (тюки) соломи природної вологості 14 — 22% за допомогою механічних навантажувачів укладаються на транспортер. У процесі руху рулонів по транспортеру оператор вручну відділяє соломку від синтетичного шпагату, яким рулон пов'язаний. Рулон подається в Торнадо (Подрібнювач соломи ПС-30), де солома подрібнюється до фракцій розміром до 3 см.

2. Перемелювання солом'яної маси.

Під дією повітряного потоку від Торнадо біомаса надходить в молоткову дробарку ДМ-2000, де подрібнюється до розмірів 2 – 5 мм.

3. Кондиціонування та витримка солом'яного борошна.

Після молоткової дробарки солом'яна мука за рахунок пневмоподачі потрапляє в активний циклон, де відбувається відділення солом'яного борошна від повітря. Далі солом'яна мука з допомогою шлюзового затвора подається в бункер прес-гранулятора. У пасивному циклоні проходить подальше відділення частинок солом'яного борошна після активного циклону від повітря і завантаження його за допомогою шлюзового затвора в бункер прес-гранулятора. Шлюзові затвори перешкоджають попаданню повітря в бункер.

4. Гранулювання.

Бункер прес-гранулятора призначений для накопичення солом'яного борошна і дозованої подачі в прес-гранулятор ППМ-2000, за допомогою вбудованого шнека. Бункер обладнаний ворушилкою та двома датчиками: верхнього і нижнього рівня біомаси. Шнек-дозатор направляє солом'яне борошно в прес-гранулятор через шнек-кондиціонер, в якому для збільшення міцності гранул передбачена можливість зволоження солом'яною борошна з встановлених форсунок. Солом'яне борошно подається в пресувальну камеру гранулятора зверху вниз вільним потоком і розподіляється рівномірно по робочій поверхні матриці за рахунок її обертання і регульованого направляючого пристрою. На матриці утворюється шар біомаси, по якому рухаються ущільнюючого його ролики. Матриця має отвори (пресувальні канали)

діаметром 6 – 12 мм, в яких відбувається формування гранул тиском, створеним при проходженні солом'яного борошна між матрицею і роликками. Кількість задіяних пресувальних каналів матриці, кількість роликків у грануляторі і привідна потужність двигуна гранулятора безпосередньо відбиваються на його продуктивності.

5. Охолодження та сушка гранул.

Через вихідний отвір прес-гранулятора готові гранули подаються в транспортер — охолоджувач, де відбувається їх охолодження і очищення від некондиційних гранул і дрібної фракції. Дрібна фракція, зібрана пилоуловлювальними пристроями, подається в циклон, потім через шлюз в бункер, роблячи процес безперервним і безвідходним.

6. Вивантаження та упаковка готової продукції.

Очищені і охолоджені гранули по транспортеру потрапляють в бункер-накопичувач, який обладнаний спеціальним наповнювачем пакувальних мішків (біг-бегів).

2.5 Робота шнекового пресу-гранулятора ППМ-2000

На рисунку 2.24 зображений пропонується шнековий прес, поздовжній розріз. Шнековий прес працює наступним чином. Частинки подрібненого сировини через приймальну зону 2 подаються на приводний пресує шнек 6, який переміщує подрібнену деревину з приймальної зони 2 в зону 3 стиснення пресованої маси. Під час переміщення пресованої маси по зонах стиснення 3 і формування 4 відбувається розігрівання маси за рахунок тепла, що виділяється від внутрішнього тертя маси. Під дією сил стиснення і температури природна сполука, що входить до складу сировини, пластифікується і пов'язує окремі частинки сировини. При цьому під дією високої температури поверхню брикету карбонізується, утворюючи захисну оболонку. Склад і кількість природного сполучного залежить від типу сировини, а також від його вологості і фракції,

тому режим брикетування підбирають для кожного типу сировини індивідуально.

Спосіб дозволяє виготовляти брикети з різної рослинної сировини, регулюючи температуру термообробки і зусилля пресування.

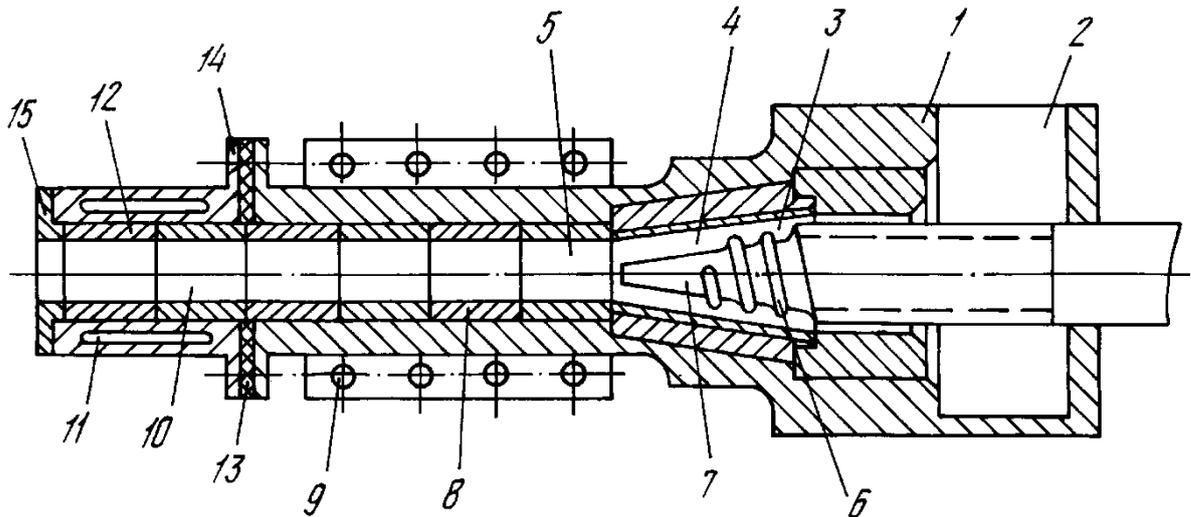


Рисунок 2.24 - Шнековий прес-гранулятора ППМ-2000, поздовжній розріз

Сформований брикет із зони 4 формування проходить в зону 5 витримки. Зона 5 витримки брикетів обігривається нагрівачем 9. Із зони 5 витримки, брикети поступають в зону 10 охолодження мундштук. За рахунок циркуляції в порожнині мундштука охолоджуючої рідини зовнішні поверхні брикету охолоджуються до температури 40-95°C. Це перешкоджає інтенсивному паро і газоутворення в зовнішніх шарах брикетів при виході їх з преса, сприяє підвищенню міцності і водостійкості поверхневих шарів одержуваної продукції.

З УДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИКИ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ІЗ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

3.1 Енергетичний потенціал рослинних відходів сільського господарства

Ґрунтуючись на рекомендованих частках рослинних відходів, доступних для виробництва енергії, виконаємо розрахунок потенціалу відповідних видів біомаси за даними виробництва відповідних сільськогосподарських культур у 2022 році. Результати розрахунку представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Енергетичний потенціал рослинних відходів сільського господарства (2022 рік)

Вид біомаси	Врожай с/г культур, млн. т	Загальний обсяг відходів (теоретичний потенціал), млн. т.	Частка відходів на енергетичні потреби	Енергетичний потенціал			
				млн. т	W, %	Q _{n^p} , МДж/кг	млн. т у.п.
Солома зернових культур	зернові (без кукурудзи): 32,1	30,6	30%	9,2	20	14,5	4,5
Відходи виробництва кукурудзи на зерно: всього, у т.ч.*	кукурудза: 30,9	40,2	40%	16,1	50	8	4,4
- стебла (з листям)		30,3		12,1			3,3
- стрижні		5,6		2,2			0,6
Відходи виробництва соняшника: всього, у т.ч.	соняшник: 11,0	20,9	40%	8,3	60	6	1,7
- стебла (з листям)		14,3		5,7			1,2
- кошики		6,6		2,6			0,5
Всього	74,0	91,8		33,6			10,6

* Інша частина відходів – обгортка качана з ніжкою.

З даних таблиці 3.1 видно, що в перерахунку на умовне паливо найбільший енергетичний потенціал мають солома зернових культур (4,5 млн. т у.п.) й відходи виробництва кукурудзи на зерно (4,4 млн. т у.п.). Потенціал пожнивних решток

соняшника – 1,7 млн. т у.п. Сумарний енергетичний потенціал становить 10,6 млн. т у.п. або в натуральних тонах – 33,6 млн. т.

Якщо порівняти ці результати з попередніми оцінками потенціалу всіх видів біомаси, доступних для виробництва енергії в Україні (30-35 млн. т у.п./рік), то видно, що рослинні відходи сільського господарства у вигляді соломи зернових культур, відходів виробництва кукурудзи на зерно і соняшника складають близько третини загального потенціалу.

3.2 Технології спалювання рослинних відходів

Технологічні рішення для виробництва теплової енергії з рослинних відходів залежать від масштабу та призначення теплогенеруючих установок, а також виду біомаси, що використовується як паливо.

Технології спалювання рослинних відходів (рис. 3.1) розділяють на три основні типи: спалювання в шарі, пилове спалювання, спалювання в псевдозрідженому стані, а також комбінований тип - сумісне спалювання біомаси з іншими паливами.

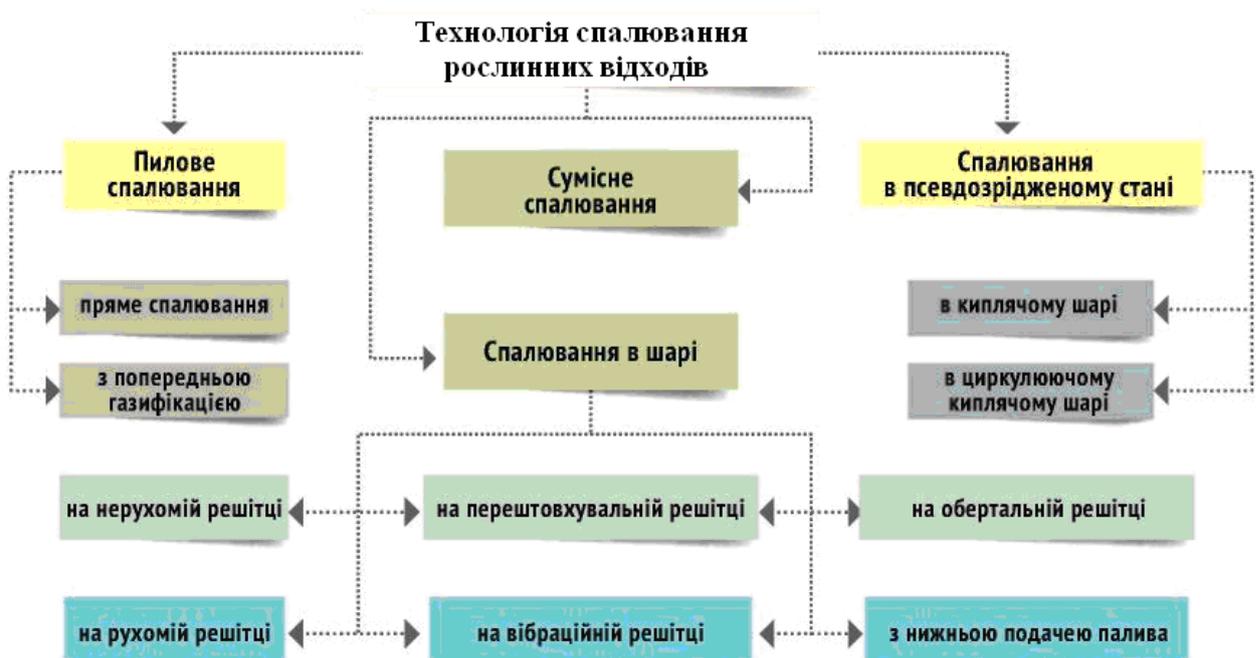


Рисунок 3.1 – Технології спалювання рослинних відходів (біомаси)

Котел, призначений для спалювання в шарі включає: паливну решітку на якій відбувається процес горіння, паливоживильний пристрій (механічний, гідравлічний чи пневматичний), систему подачі повітря та видалення золи. Первинне повітря подається під решітку і через отвори проникає в шар палива, де викликає процес газифікації горючих газів. Вторинне повітря подається над шаром палива (в зону окислення) й супроводжує процес згорання. Зола, що утворилась в процесі спалювання періодично видаляється шляхом струшування, зскрібання, зрушення або чищення.

Технологія спалювання в псевдозрідженому шарі передбачає спалювання свіжого палива в суміші розігрітого інертного матеріалу та золових часток. Завдяки великій швидкості первинного повітря, яке рухається крізь решітку, частинки палива та інертного матеріалу утримуються в завислому стані, що створює ефект зрідження. При такій технології відбувається рівномірне підведення повітря до горючої речовини, інтенсивний теплообмін між частками інертного матеріалу та палива, що призводить до ефективної газифікації. В залежності від організації руху суміші та конструктивного виконання установки розділяють на спалювання в киплячому шарі та в циркулюючому киплячому шарі.

Технологія пилового спалювання придатна для спалювання палив з малим розміром частинок (до 20 мм). Суміш палива з первинним повітрям потрапляє через пальник в топку котла, де відбувається горіння й остаточне доокислення вторинним повітрям. Невелика частина золи, що утворюється під час спалювання, виноситься з димовими газами, а основна маса в твердому чи рідкому стані видаляється з нижньої частини топкової камери. Незважаючи на те, що пряме спалювання БМ являє собою найстаршу й найбільш розвинену технологію одержання енергії із БМ, дотепер є потенціал для її подальшого розвитку з погляду збільшення ККД і поліпшення екологічних характеристик. Основними технологіями спалювання деревної БМ, що наразі використовуються: спалювання в пальниках ретортного типу, спалювання на решітках, спалювання

у вихоровій топці, спалювання в обертовій печі, спалювання в киплячому шарі, спалювання в циркулюючому киплячому шарі та ін.

3.2.1 Конструкція котлів для рослинних відходів.

Водогрійні котли на біомасі дозволяють опалювати як окрему квартиру, так і цілий будинок, а також кілька будинків при їх застосуванні в галузі централізованого теплопостачання. Крім того, такі котли можуть використовуватись для отримання гарячої води на побутові потреби. Котли на біомасі можуть бути як з природною, так і примусовою циркуляцією теплоносія (води), а також з природною або примусовою подачею повітря та відведенням димових газів. Для опалення непобутових приміщень (склади, гаражі, промислові цехи, тощо), а також для забезпечення процесу сушки, можуть використовуватись повітряні нагрівачі на біомасі, в яких тепло від топки передається не воді, що циркулює в замкненому контурі, а повітрю, що подається вентилятором через поверхні теплообміну.

Водогрійні котли на дровах (рис. 3.2) можуть використовуватись як для опалення окремих будинків, так і в системах централізованого теплопостачання.

Найпростішими є котли на дровах, в яких зразу відбувається горіння всього об'єму палива (Рис. 3.2, а). В більш сучасних конструкціях (Рис. 3.2, б-в) спалювання відбувається в дві стадії - спочатку відбувається газифікація твердого палива, а потім спалювання піролізного газу в окремій камері, що розміщена збоку чи знизу від камери, де знаходиться паливо, та вигорання коксозольного залишку на решітці. Така конструкція дозволяє досягати більшого коефіцієнту корисної дії та кращих екологічних показників (зменшення викидів твердих частинок та оксиду вуглецю). Котли на дровах рідко проектуються на теплову потужність понад МВт, оскільки при більшій потужності ускладнюється їх обслуговування, пов'язане з ручною працею.

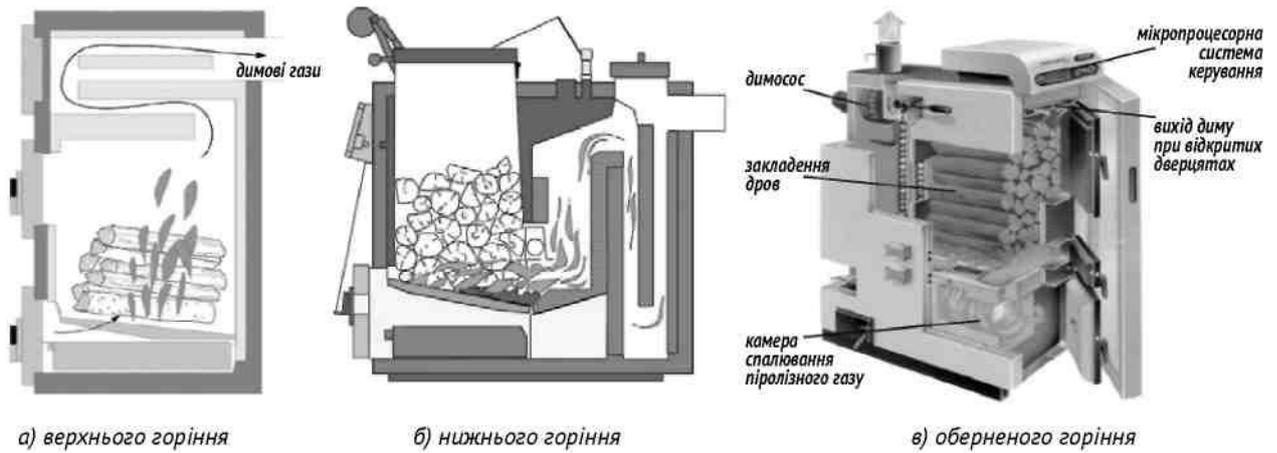


Рисунок 3.2 – Конструкції котлів на дровах

Спалювання сипучих деревних відходів та гранул реалізується, як правило, в котлах з автоматичною подачею палива та його спалюванням в спеціальному пальнику чи реторті з нижньою або верхньою подачею в котлах потужністю до 1 МВт (рис. 3.3, а), або з використанням похило-перештовхувальної решітки в котлах потужністю від 200 кВт до 20 МВт (рис. 3.3, б). При спалюванні твердих біопалив, з різним фракційним складом, підвищеним вмістом золи, сумішей різних видів палив, використовують котли з киплячим (при тепловій потужності більше 10 МВт) або циркулюючим киплячим шаром (більше 20 МВт).

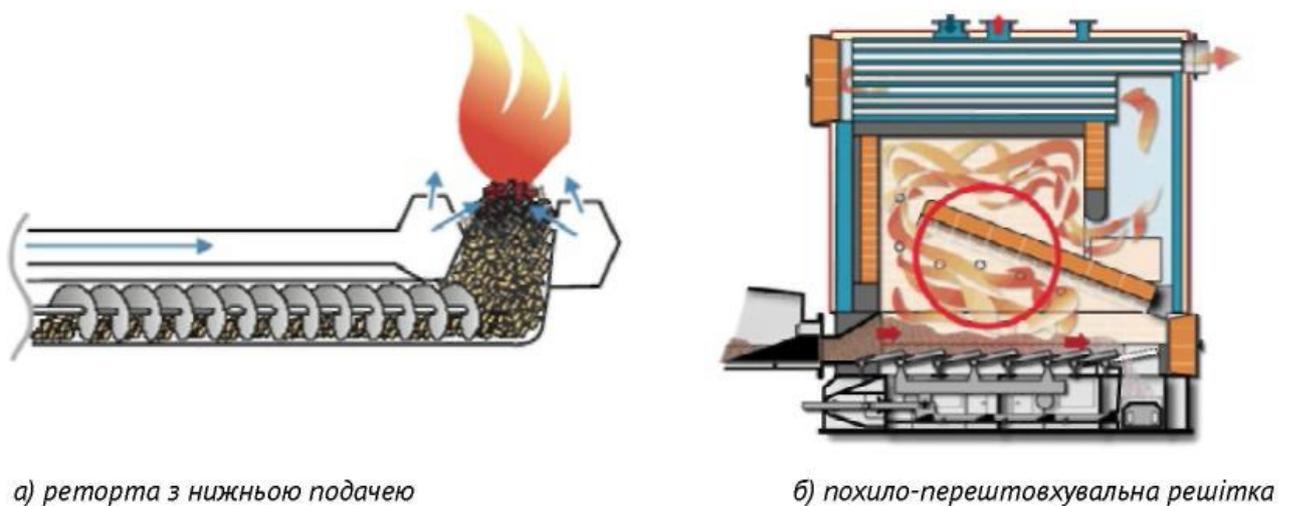


Рисунок 3.3 – Способі спалювання сипкого палива

Солома як паливо використовується в котлах або лих тюків (Рис. 3.4, а) та безперервного спалювання, теплогенераторах для періодичного спалювання із попереднім подрібненням тюків (рис. 3.4, б).



а) спалювання цілих циліндричних тюків



б) спалювання подрібненої соломи.

Рисунок 3.4 – Спалювання соломи

Найбільш розповсюдженими видами біомаси для використання в житлово-комунальному господарстві та бюджетній сфері є деревне паливо у вигляді дров, гранул, брикетів або тріски.

Основні елементи теплогенеруючих установок при використанні деревної тріски показані на рис. 3.5.

При використанні гранул, як правило, паливний склад може бути замінений вертикальним металевим силосом, що займає значно менше місця та завантажується з машини-грануловоза шляхом пневмоподачі, за допомогою шнекового транспортера або норії. Невисокі накопичувальні бункери можуть завантажуватись ковшовим навантажувачем або безпосередньо з біг-бегів. Котел на гранулах може бути встановлений як вподачі, так і у вигляді окремої модульної котельні в існуючій котельні (рис. 3.6, а), при наявності вільного місця для розміщення обладнання паливоподачі, так і у вигляді окремої модульної котельні (рис. 3.6, б).

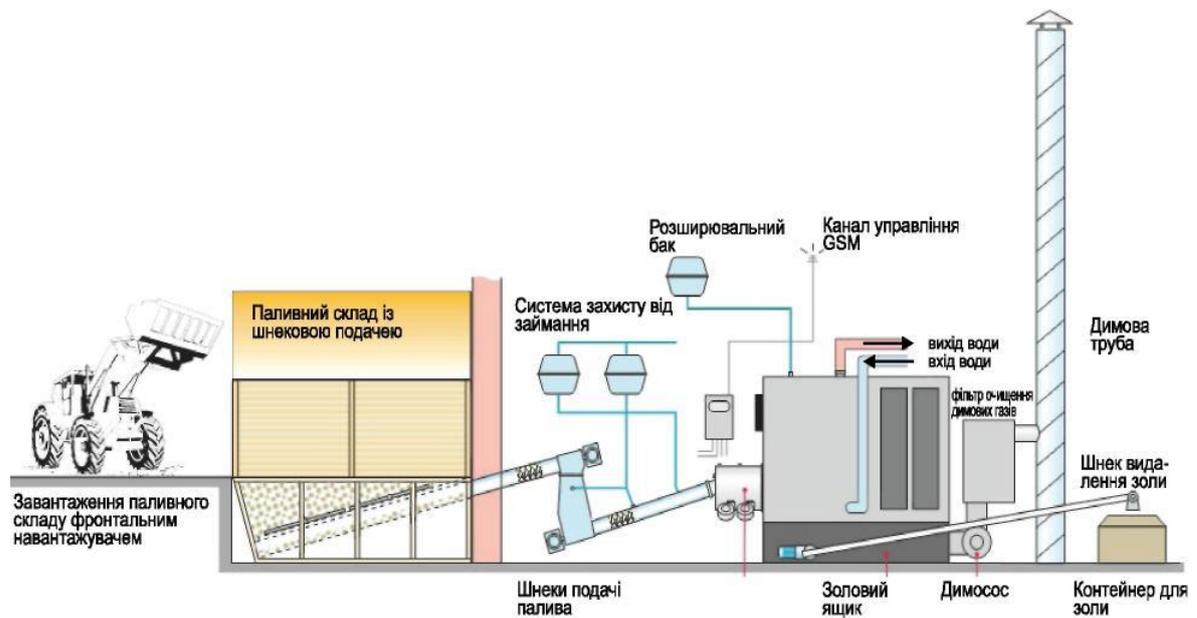
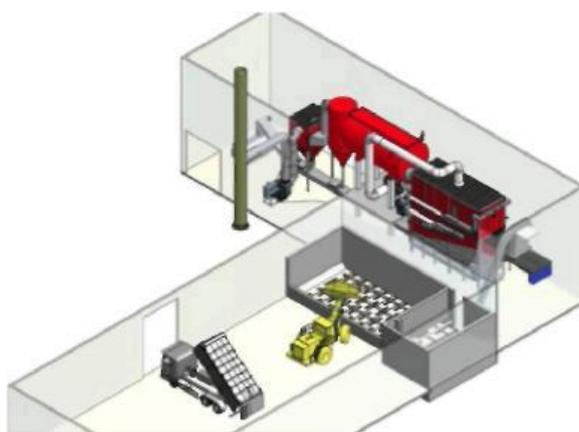


Рисунок 3.5 – Основні елементи котельні на біомасі



а) компонування котла та паливного складу



б) модульна котельня на гранулах

Рисунок 3.6 - Варіанти впровадження котлів на біомасі.

Для попередження конденсації на теплообмінних поверхнях вологи з димових газів, що може спричинити корозію, важливим є підтримання температури зворотної води, що поступає в котел, не нижче рекомендованої заводом-виробником (зазвичай 55-60°C).

Твердопаливні котельні рекомендується оснащувати водяним баком-акумулятором (як запас теплоти та захист від перегріву), в якому знаходиться запас нагрітої води, що використовується для компенсації добової

нерівномірності споживання тепла. Як правило, на кожен кВт встановленої теплової потужності котла необхідно 10 л об'єму бака акумулятора.

Забезпечення стабільної роботи котла при зміні погодних умов досягається підбором такої його потужності, що забезпечувала б якомога довшу його роботу із стабільною продуктивністю (в базовому режимі). Пікові теплові навантаження при цьому забезпечуються котлами на газовому або рідкому паливі, що підключені до системи опалення паралельно до котлів на біомасі. Встановлена теплова потужність котлів на біомасі при цьому може складати від 40 до 70% розрахункового теплового навантаження споживачів, що більш точно може бути визначено техніко-економічним обґрунтуванням, враховуючи сезонну величину та тривалість теплових навантажень, вид паливної біомаси та вартість котельного обладнання на біомасі та пікового (на газовому чи рідкому паливі).

Важливим є підтримання температури зворотної води, що поступає в котел, не нижче тої, що рекомендована заводом-виробником (зазвичай 55-60 °С), для попередження конденсації на теплообмінних поверхнях вологи з димових газів, що може спричинити корозію. Для цього також застосовується контур рециркуляції – підмішування частини прямої води до зворотної для підвищення її температури.

Для очищення димових газів від твердих часток найчастіше використовуються циклони (мультициклони), що дозволяють виконати вимоги щодо дозволеного рівня концентрацій твердих часток та загального рівня викидів. В деяких випадках додатково застосовуються рукавні фільтри, або електрофільтри (для теплогенеруючих установок великої потужності). У таблиці 3.2 показано, від чого залежить вибір того чи іншого типу очисного обладнання та чим визначається така необхідність.

Процес спалювання в затиснутому шарі використовується для створення ефективних топок, що дозволяють спалювати широку гаму відходів, біомаси, неякісного вугілля та інших видів крупнофрак- ційного твердого палива.

Таблиця 3.2 – Вимоги до очисного обладнання

Тип обладнання	Ступінь очистки	Вимоги по твердим частинкам, мг/нм ³
Циклон	60...80%	Для котлів з валовим викидом частинок до 500 г/год включно не більше 150 мг/нм ³
Мультициклон	70...90%	
Рукавний фільтр	85.95%	Для котлів з валовим викидом частинок більше 500 г/год включно не більше 50 мг/нм ³
Електрофільтр	93.99%	

При спалюванні в затиснутому шарі горіння палива відбувається при високому теплонапруженні дзеркала горіння та високому градієнті швидкостей окиснювача. Дрібнодисперсне винесення із затиснутого шару та горючі гази мають температуру samozapalювання. Тому високоефективним форсованим процесом спалювання майже всіх видів твердого палива є двостадійний процес, що полягає з основного процесу горіння в затиснутому шарі та процесу допалювання газової фази та винесення (дрібних часток палива та коксу) у режимі samozapalювання в потоці.

Процес допалювання може проводитися в топковій камері діючого устаткування. Цей двостадійний процес дозволяє створювати прості пальникові пристрої для спалювання крупнофракційного твердого палива, що дозволяє ефективно та швидко спалювати тверде паливо (деревну тріску, тирсу, гранули, побутове сміття, вугілля та ін.) незалежно від його фракційності та реакційної здатності. Розмір частинок палива повинен бути в межах 10-50 мм, вологість до 60%, зольність - до 10%.

3.2.2.Спалювання соломи зернових культур.

В середньому для України рекомендуються такі частки теоретичного потенціалу (тобто загального обсягу утворення) рослинних відходів для використання в енергетичних цілях: для соломи зернових культур – до 30%, для відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника – до 40%. З урахуванням цих рекомендацій енергетичний потенціал відповідних видів біомаси оцінюється

у 33,6 млн. т або 10,6 млн. т у.п. (за даними 2022 року). Це складає близько третини загального енергетичного потенціалу біомаси в Україні.

У Вінницькій області великий потенціал для перероблення в біореакторах має солома, що залишається від зернових культур (табл 3.3)

Таблиця 3.3 – Валовий збір зернових у Вінницькій області у 2022 році

Назва культури	Площа збору, тис. га	Об'єм зерна, тис. тонн	Об'єм соломи, тис. тонн
Озима пшениця	343	936	748,8
Жито озиме	27	61	48,8
Ячмінь озимий	20	56	44,8
Ячмінь ярий	209	520	416
Пшениця яра	15	36	28,8
Овес ярий	16	34	27,2
Просо	5	4	3,2
Гречка	54	36	28,8
Горох	40	84	67,2
Квасоля	11	23	18,4
Всього	740	1790	1432

Щодо стебел кукурудзи, світовий досвід їх енергетичного застосування значно менший. Відомо, що вони мають відносно високу зольність (приблизно у 2 рази більше, ніж у соломи), але при цьому – достатньо високу температуру плавлення золи, що є позитивним фактором для палива. Прикладів виробництва енергії зі стебел соняшника на сьогодні не знайдено. Є дані, що їх елементарний склад близький до складу соломи й стебел кукурудзи, але вміст золи вищий – 10-12% маси сухої речовини. Крім того, суттєво вищим є вміст лужного металу калію – до 5% маси с.р.

Що стосується кукурудзи, то поширені зараз в Україні технології збирання її врожаю не передбачають збору пожнивних решток. Листостеблова маса подрібнюється й розкидається по полю. В даному випадку можна запропонувати такі варіанти: збір подрібнених решток у транспортні засоби та/або стаціонарний обмолот качанів. Після цього зібрані відходи силосуються й використовуються

для виробництва біогазу. Альтернативний підхід полягає у переході до технології збирання кукурудзи, розповсюдженої в США, за якою збираються тільки качани кукурудзи, а стебла залишаються в полі. Потім стебла природнім шляхом висушуються до вологості близько 20%, після чого виконується операція їх тюкування. Наразі в Україні такої техніки немає, але відповідні прес-підбирачі випускаються й використовуються в США.

Аналогічні підходи можна рекомендувати й для пожнивних решток соняшника: збір подрібнених відходів для силосування й виробництва біогазу або тюкування підсушених в полі стебел з подальшим спалюванням в котлах або використанням в якості сировини для виробництва гранул/брикетів.

Показники соломи зернових щодо теплотворної здатності наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Теплотворні показники соломи

Зернова культура	Зольність, на суху масу, Ас, %	Нижча теплотворна здатність сухої маси Онс, МДж/кг	Нижча теплотворна здатність робочої маси О р при вологості 20%, МДж/кг
Жито	4,5	17,0	13,1
Пшениця	6,5	17,8	13,8
Ячмінь	4,5-5,88	17,4	13,4
Овес	4,9	16,7	12,9
Солома (в середньому)	5,0	17,4	13,5

Для перерахунку теплотворної здатності для інших значень вологості можна використовувати формулу, наведену для дров, підставляючи потрібне значення нижчої теплотворної здатності сухої маси для соломи. Результат розрахунку для соломи (в середньому) наведений на рисунку 3.7.

Слід зазначити, що оптимальними показниками відносної вологості для соломи є 11-15%. Солому відносною вологістю вище 22%, не бажано використовувати як паливо, оскільки це погіршує якість спалювання.

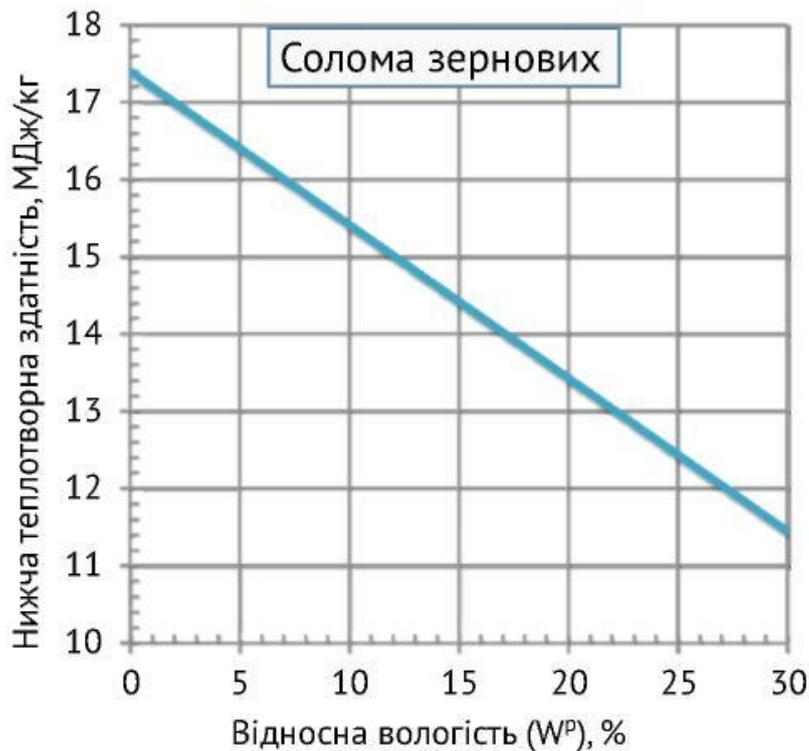


Рис. 3.7 – Зміна теплотворних показників соломи

3.2.3 ТЕЦ на біомасі.

Для промислових потреб та отримання електроенергії використовуються парові котли, що виробляють перегріту пару, яка поступає на парову турбіну, а також термомасляні котли, через які циркулює теплоносій, що випаровує робочу рідину в спеціальному теплообміннику. Отримана пара поступає на турбіну для подальшого вироблення електроенергії та конденсується (так званий ОРС-цикл).

Принципова схема парової ТЕЦ на біомасі наведена на рис. 3.8. Біопаливо доставляється на склад палива 5 і подається в котел для спалювання з метою виробництва теплової енергії у вигляді пари. Пара, вироблена котлами 1 на біомасі, надходить до парової турбіни 2 де частина енергії перетворюється в механічну енергію, що приводить в рух електрогенератор 3. Відпрацьована в турбіні пара надходить в якості грюючого теплоносія в підігрівач мережевої води 4. Подача води в теплову мережу 9 здійснюється мережевими насосами 8.

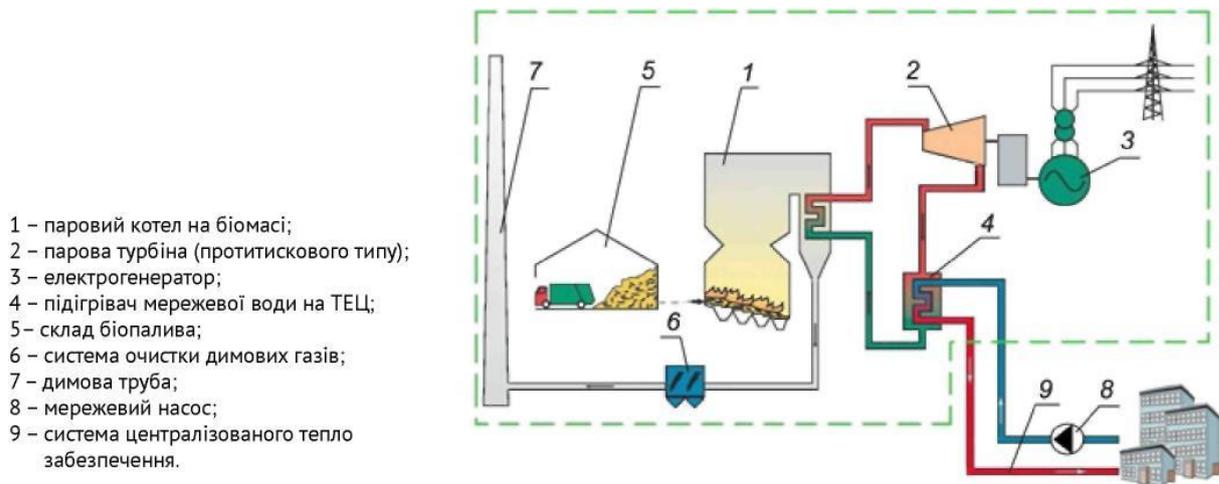


Рисунок 3.8 – Принципова схема ТЕЦ на твердій біомасі

3.3 Схеми забезпечення виробництва теплової та електричної енергії

Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії шляхом спалювання палива можна розділити на закриті та відкриті теплові цикли. В закритих теплових циклах процес спалювання палива й отримання електричної енергії фізично відокремлені: спалювання палива відбувається в котлі де генерується пара, яка в подальшому використовується в паровій турбіні. Таким чином, парова турбіна перебуває в контакті лише з чистою парою й не контактує з продуктами згорання після котла. Отже, замкнуті цикли добре підходять для твердих видів палива й широко застосовуються для виробництва теплової енергії з вугілля, БМ та ТПВ. Відкриті цикли, як правило, використовують для газоподібних та рідких палив в двигунах внутрішнього згорання та газових турбінах.

Основні технологічні процеси та типи приводів, що використовуються в комбінованих циклах й успішно можуть бути реалізовані в Україні:

— парова турбіна та паровий двигун, що працюють по циклу Ренкіна, де вода під високим тиском випаровується й пара, яка утворюється, розширюється до низького тиску в паровій машині

— турбіна, що використовується в органічному циклі Ренкіна (ORC), де замість води використовується органічний теплоносій (теплота згорання

Таблиця 1.7 – Використання біомаси для виробництва енергії в Україні

Вид біомаси / біопалива	Річний обсяг споживання*		Частка в річному обсязі споживання	Частка використання економічного потенціалу
	натуральні одиниці	тис. т у.п.		
Солома зернових культур та ріпаку	94 тис. т	48	1,8%	0,9%
Дрова (населення)	5,0 млн. м ³	1200	45,1%	
Деревна біомаса (крім споживання населенням)	3,2 млн. т	1089	40,9%	>90%
Лушпиння соняшнику	380 тис. т	208	7,8%	41%
Біоетанол	65 тис. т	60	2,3%	6,1%
Біодизель	18 тис. т	23	0,9%	4,8%
Біогаз з відходів с/г	22,3 млн. м ³	14	0,5%	4,4%
Біогаз з полігонів ТПВ	31,2 млн. м ³	21	0,8%	8,1%
Всього		2662**	100%	

* Експорт гранул/брикетів з біомаси не враховується.

** Узгоджується з даними Державної служби статистики України: 2,68 млн. т у.п. у 2022 р.

Таблиця 1.8 – Виробництво енергії з біомаси в Україні, 2022 р.

Сектор / Тип обладнання	Кількість, од.	Потужність, МВтт (+ МВте)	Заміщення ПГ, млрд. м3/рік	Виробництво теплоти, тис.Гкал/рік
Населення:				
Традиційні пічки на дровах	50000	500	0,20	1718
Побутові котли на дровах та деревних гранулах 10-50 кВт _т	50000	1500	0,61	5155
Всього, населення	100000	2000	0,81	6873
ЖКГ та бюджетна сфера:				
Котли на деревині 0,5-10 МВт _т	690	345	0,14	1186
ТЕЦ на деревині	1	10 (+6)	0,004	69
Всього, ЖКГ та бюджетна сфера	691	355 (+6)	0,144	1255
Промислові та комерційні споживачі:				
Котли на деревині 0,1-5 МВт _т	2000	1000	0,76	6874
Котли на соломі 0,1-1 МВт _т	110	55	0,04	378
Котли на лушпинні соняшника	65	195	0,15	1340
ТЕЦ на лушпинні соняшника	3	64 (+8)	0,02	437
Всього, промислові / комерційні споживачі	2178	1314 (+8)	0,98	9029
ВСЬОГО	102869	3669 (+14)	1,93	17157

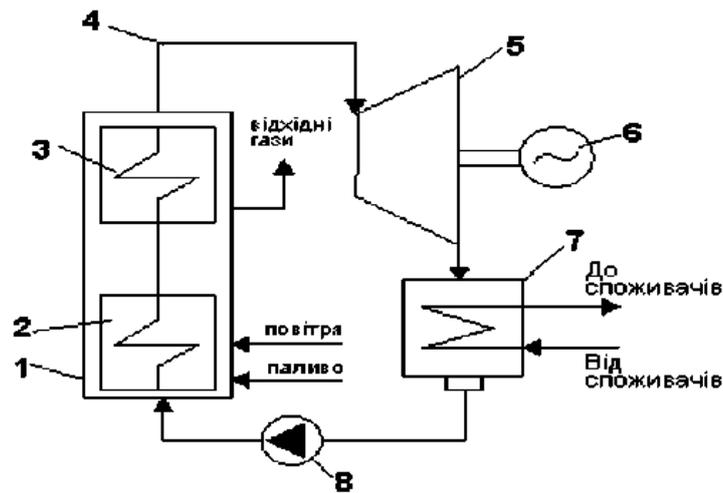
передається органічному теплоносію, який має температуру кипіння нижчу від температури кипіння води, що подається на зовнішній випаровувач органічного теплоносія). Промислові станції для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на базі прямого спалювання біомаси переважно використовують паротурбінні технології. Технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на базі традиційного циклу можуть бути реалізовані за допомогою парових турбін з протитиском або конденсаційних турбін з відбором пари для теплових потреб (рис. 3.9-3.11).

В останні роки все більшого поширення в ряді країн ЄС набувають установки на базі органічного циклу Ренкіна (ORC). Однак, на даний час ці установки випускаються електричною потужністю лише до 3 МВт та для їх ефективної роботи необхідно низькотемпературне джерело охолодження та стабільне теплове навантаження. Таким, чином найбільша ефективність при використанні ORC може бути досягнута на промислових об'єктах.

Порівняльні технічні характеристики базових енергоустановок наведені в (табл. 3.5).

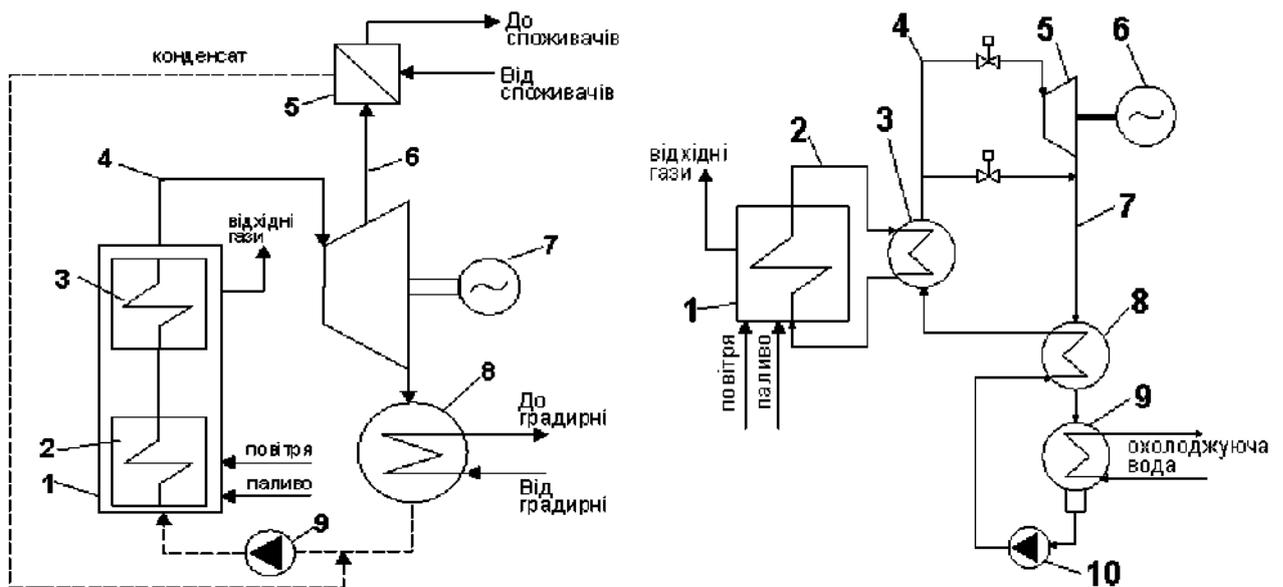
Таблиця 3.5 - Порівняльні технічні характеристики базових енергоустановок

Обладнання	Електрична потужність, кВт	ККД, %
Паросилові установки		
Паротурбінні установки	500-5000	10-20
Паротурбінні установки	5000-20000	20-25
Паротурбінні установки	20000-50000	>30
Гвинтові парові двигуни	20-1000	10-12
Поршневі парові двигуни	200-2000	10-12
Паротурбінна установка з ORC	300-2000	10-12
Газосилові установки зовнішнього згорання		
Двигуни Стірлінга	0,5-100	14-20
Газотурбінні установки на гарячому повітрі	400-5000	25-30
Газосилові установки внутрішнього згорання		
Двигуни внутрішнього згорання	100-2000	27-30
Газотурбінні установки	>1000	18-22
Мікрогазотурбінні установки	5-100	15-25
Газотурбінні установки з внутрішньою газифікацією	>10000	40-50
Використання водню в паливних елементах	20-2000	25-40



- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 - паровий котел; | 6 - електрогенератор |
| 2 - поверхні нагріву котла; | 7 - підігрівач води для відпуску |
| 3 - пароперегрівач; | тепла споживачам; |
| 4 - перегріта пара на турбіну; | 8 - живильний насос. |
| 5 - турбіна; | |

Рисунок 3.9 – Схема установки з протитисковою турбіною



- | | | | |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 - паровий котел; | 6 - відбір пари з турбіни | 1 - котел для нагріву термо- | 6 - електрогенератор; |
| 2 - поверхні нагріву котла; | 7 - електрогенератор; | масла; | 7 - відпрацьована пара орга- |
| 3 - пароперегрівач; | 8 - конденсатор відпрацьо- | нагріте термома- | нічного теплоносія; |
| 4 - перегріта пара на тур- | ваної пари; | випаровування орга- | 8 - теплообмінник-регене- |
| 5 - підігрівач води для відпу- | 9 - живильний насос | нічного теплоно- | ратор; |
| ску тепла споживачам; | | сія на турбіну; | 9 - конденсатор пари; |
| | | 5 - турбіна; | 10 - насос. |

Рисунок 3.10 - Схема установки з конденсаційною турбіною.

Рис. 3.11 - Схема установки ORC.

Технологічні рішення та схеми забезпечення виробництва теплової та електричної енергії для розглянутих варіантів базуються на використанні паросилового циклу з протитисковими паровим турбінами.

3.4 Використання енергетичних культур

Енергетичні культури - це рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо в якості палива або для виробництва біопалива. На сьогоднішній день в світі не існує єдиної загальноприйнятої класифікації, що застосовується для таких культур. Енергетичні культури розрізняють за наступними категоріями (таблиця 3.6):

- цикл вирощування - однолітні (ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополя);

- тип - деревоподібні (верба, тополя), трав'янисті (міскантус, просо прутіподібне);

- характеристики й, відповідно, отримуваний кінцевий продукт - олійні (ріпак/соняшник на біодизель), крохмале- та цукровмісні (цукровий буряк/кукурудза на біоетанол), ліг-ноцелюлозні (верба/тополя для безпосереднього виробництва теплової та електричної енергії, виробництва твердих біопалив або отримання рідких біопалив 2-го покоління);

- «походження» - класичні культури, які призначені для енергетичних цілей (міскантус, двукісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз).

Врожайність енергетичних культур прямо залежить від кліматичних, ґрунтових та інших умов. Культури мають різну потребу у водному режимі, можуть значно відрізнятися по морозо-і посухостійкості.

Таблиця 3.6 – Характеристики енергокультур по відношенню до умов вирощування

Енергокультура	Температура, °C			Потреба у воді	Морозостійкість	Посухостійкість
	Проростання насіння	ріст культур				
		міс	макс			
Однорічні культури						
Ріпак	>5	5	30	середня	висока	середня
Соняшник	10	5	35	середня	низька	середня
Льон	7-9	8	30	середня	середня	середня
Сорго	12	10	40	середня	низька	висока
Швидкозростаючі деревовидні культури						
Верба	-	0	30	висока	висока	низька
Тополя	-	0	30	середня	середня	середня
Евкаліпт	-	5	35	висока	низька	висока
Багаторічні трав'янисті культури						
Двукісточник тростиноподібний	>7	7	30	висока	висока	низька
Просо пругоподібне	>15	10	35	середня	висока	середня/висока
Міскантус	>8	10	40	середня/висока	середня	низька

Вирощування всіх енергетичних культур можна умовно розбити на 3 етапи: 1) підготовка ґрунту; 2) безпосередньо вирощування (посадка, догляд за плантацією); 3) збір врожаю (заключною операцією є ліквідація плантації після закінчення строку її існування). В залежності від виду енергетичної культури процес вирощування має свої характерні особливості. Так, наприклад, міскантус висаджується кореневищами, тополя і верба - саджанцями, ріпак, соняшник, льон - насінням.

Розглянемо особливості вирощування на прикладі кількох енергетичних культур, найбільш придатних для умов України - верби, тополі та міскантусу.

Енергетична верба - деревоподібна культура, що дозволяє створювати високопродуктивні плантації з тривалим терміном існування. Представляє собою кущ або кущоподібне дерево висотою до 6-8 м. Зазвичай енергетична верба є густозростаючою, має велику кількість пагонів, якими досить легко розмножується. Культура характеризується високими показниками приросту по довжині - до 3-5 см на день, в середньому 1,5 м в рік.

Насадження верби залишаються продуктивними 20-30 років, а врожай протягом цього періоду можна збирати кожні 2-3 роки. Середній врожай верби становить 10-12 т сухої маси з га за рік. Найбільший врожай отримують на 4-5 рік вирощування - 16-20 сух. т/га/рік. За даними деяких авторів, при особливо сприятливих умовах врожай може досягати 30-40 сух. т/га/рік. Ступінь виснаження землі вербою в 3-5 разів нижче, ніж зерновими культурами, до того ж близько 60-80% поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям (Рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Плантація верби та збір врожаю

Позитивною властивістю верби є стійкість до морозів, до шкідників і хвороб. Вона може рости на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних (таких, що потребують рекультивації) землях.

Посадку верби доцільно проводити ранньою весною, відразу після морозів, оскільки в цей період вологість ґрунту є найбільш сприятливою. Посадка може виконуватися вручну або механізовано. При ручній посадці використовують

саджанці завдовжки близько 20 см, при машинної - саджанці 1,5-2 м, які ріжуться в процесі посадки машинним способом на черешки 18-20 см. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений - зораний, прокультивований і очищений від бур'янів. Щільність посадки становить 15-20 тис. шт./га. У перші місяці особливу увагу слід приділяти контролю бур'янів, поки кущі культури ще не зімкнуться і не закриють бур'яни.

Удобрення плантацій енергетичної верби слід проводити, виходячи з обсягу виносу поживних речовин культурою і запасу поживних речовин у ґрунті. При 3-річному циклі збору врожаю і продуктивності 10 т сухої маси з гектара на рік можна орієнтуватися на наступні норми внесення добрив: азот 150 кг/га, фосфор 45 кг/га, калій 90 кг/га, кальцій 120 кг/га, магній 30 кг/га (один раз на три роки після зрізання).

Збирають вербу після закінчення вегетації, тобто з жовтня-листопада по березень-квітень, але переважно в зимовий період (після опадання листя). Збір врожаю виконується звичайним силосозбиральним комбайном із жаткою для верби. З однієї плантації можна збирати врожай 7-8 разів (при 3-річному циклі), після чого необхідно провести рекультивацію.

Для умов України перспективною є верба - *Salix*, яка дає можливість створення сортів і гібридів для різних напрямів використання. Як правило, для енергетичних цілей використовують вербу виду *Salix Viminalis* (верба прутоподібна) та її похідні.

Тополя як і верба відноситься до багаторічних деревоподібних енергетичних культур (рис.3.13). Вона вирощується в подібних з вербою умовах за схожими технологіями. Тополя стійка до шкідників, може рости на бідних ґрунтах і забруднених землях, однак вона менш морозостійка, ніж верба, тому, як правило, не вирощується в північноєвропейських країнах. Культура практично не вимагає застосування пестицидів і добрив. З плантації енергетичної тополі можна отримувати біомасу в обсязі 8-15 сух. т/га в рік, а на хороших ґрунтах нові клони можуть давати до 16-20 сух. т/га в рік.



Рисунок 3.13 – Плянтация тополі і збір врожаю

Енергетичну тополю можна вирощувати за трьома технологіями: плантації з (I) дуже швидким, (II) швидким і (III) середнім оборотом. Вони різняться кількістю насаджень на гектар і частотою збору врожаю. У першому випадку щільність посадки - 10-15 тис. рослин на га, врожай збирають інтервалом в 1 рік, діаметр стовбура на рівні зрізу становить 2-3 см. На плантаціях з швидким оборотом на гектар висаджують 5-10 тис. рослин, врожай збирають кожні 2-3 роки, діаметр стовбура на рівні зрізу досягає 10-12 см. В третьому випадку щільність посадки становить 1,3-3 тис. шт./га, збір врожаю виконують з інтервалом в 5-6 років, діаметр стовбура (на рівні близько 1,3 м) - до 15 см. На плантаціях з дуже швидким і швидким оборотом врожай можна збирати комбайном типу Claas зі спеціальною жаткою. Для плантацій із середнім оборотом можна адаптувати звичайне лісгосподарське обладнання невеликої потужності (через порівняно невеликий діаметр стовбура тополі). Досвід Європи показує, що, як правило, більша продуктивність спостерігається на плантаціях з середнім оборотом (технологія III).

Термін існування плантації енергетичної тополі - 15-20 років. При 3-річному циклі вирощування за цей період можна зібрати 5-7 врожаїв. Ліквідація плантації є більш трудомісткою, ніж у випадку верби, оскільки тополя часто формує великий стрижневий корінь.

Існують різні види тополі, серед яких для умов України фахівці рекомендують тополю Торопогриць-кого (гібрид тополі євроамериканської I-214 і пірамідальної). Цей клон характеризується високою продуктивністю і стійкістю до несприятливих умов. У звичайних умовах середній приріст тополі Торопогрицького становить 14 м³/га на рік, а при високій зволоженості і трофності² ґрунту цей показник може вирости майже до 37 м³/га на рік.

Міскантус являє собою багаторічну кореневищну траву, яка походить з Азії. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15 і більше років з середньою врожайністю порядку 10 сух. т/га. Міскантус має добре розвинену кореневу систему (2,5 м углиб), характеризується швидким ростом і непоганою стійкістю до низьких температур. Культура має відносно невелику потребу у воді, відповідну річній кількості опадів на рівні 600-700 мм. Для вирощування підходять ґрунти середньої щільності з низьким рівнем ґрунтових вод.

Міскантус висаджують навесні в березні-квітні. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений - очищений від бур'янів і зораний для усунення ущільнень. В Європі використовується два методи розведення міскантусу - вегетативним розмноженням і діленням кореневищ. Останній метод використовується частіше і є більш економічним. Кореневища висаджують на глибину 5-15 см з урахуванням необхідного простору для їх подальшого розростання. Щільність посадки становить 10-15 (і навіть більше) тисяч кореневищ на гектар. Посадка може виконуватися як звичайною сільськогосподарською технікою (наприклад, напівавтоматичною машиною для посадки картоплі або агрегатом для розкидання гною), так і спеціально розробленими посадочними машинами.

В процесі росту культура потребує невеликої кількості добрив (50-70 кг N /га в рік) завдяки своїй здатності ефективно використовувати поживні речовини. Враховуючи високу стійкість міскантусу до хвороб, хімічний захист не потрібен. Однак необхідно ретельно стежити за видаленням бур'янів в початковій фазі

росту плантації, так як їх наявність може привести до істотного зниження врожайності.

До кінця серпня першого року рослина досягає висоти 1-2 м з діаметром стебла близько 10 мм, у липні починається процес сушки, а з початком зимового періоду можна проводити збір врожаю. У перший рік після посадки міскантус не збирають зважаючи на низьку врожайності (до 8 сух. т/га). У другій рік рослина досягає своєї максимальної висоти (2,5-3,5 м), і врожайність піднімається до 10 сух. т/га. На третій рік урожай культури становить близько 10-15 (максимум 20) тонн сухої речовини на гектар. Міскантус чутливий до якості ґрунту, тому на родючих ґрунтах урожай може доходити до 30 сухих тонн з гектара в рік, а на бідних - ледь досягати 10 сух. т/(га на рік). Проте зростання продуктивності плантації викликає підвищену потребу у воді. Вид Міскантус гігантський (*Miscanthus *giganteus*) може споживати до 900 мм/рік. Після 10-го року плантації продуктивність починає систематично знижуватися.

Для збирання міскантусу використовують важкі роторні косарки та рулонні прес-підбирачі або самохідні кормозбиральні комбайни. При цьому, враховуючи товщину і твердість стебел, рекомендується застосовувати спеціальні машини, пристосовані до важких умов експлуатації.

Відносно паливних характеристик розглянутих енергокультур у порівнянні з іншими біопаливами можна відмітити наступне. Характеристики верби і тополі в цілому близькі до показників деревної тріски. Основна відмінність - більший вміст азоту, що, можливо, пов'язано з застосуванням добрив при вирощуванні цих культур. Міскантус характеризується підвищеною зольністю, приблизно такою, як у соломи. Усі розглянуті енергокультури мають досить високу температуру плавлення золи, що вигідно відрізняє їх від соломи. В цілому біомасу енергетичних культур можна характеризувати як непогане паливо, що вимагає ретельного підходу до використання. У багатьох випадках це біопаливо може задовольняти існуючим нормам щодо викидів забруднюючих речовин (якщо тільки вони не є необґрунтовано завищеними).

3.5 Проектування лісного енергетичного господарства

У 2015 році група компаній «Укртепло» започаткувала промислове вирощування енергетичної верби на ділянці розміром 2,2 тис. га в Іванківському районі Київської області. В майбутньому компанія планує розширити площі вирощування даної культури до 17 тис. га.

Лісні енергетичні господарства призначені насамперед для виробництва деревної біомаси на ділянках з коротким періодом обороту й ведення інтенсивного господарства з метою одержання біомаси винятково для енергетичних потреб. З погляду продуктивності біомаси такі господарства володіють рядом переваг у порівнянні зі звичайними лісовими плантаціями: більш високий вихід біомаси на одиницю площі, використання менших площ для виробництва такої ж кількості біомаси, більш рання окупність капіталовкладень, можливість застосування екстенсивної механізації, подібно тієї, яку застосовують у сільському господарстві, і більш прискорене впровадження науково-технічних досягнень в області рослинних культур і генетики.

Розглянемо схему лісного енергетичного господарства представлена на рис. 3.14. Основні параметри енергетичного господарства наведені в табл. 2. Вся площа господарства розділена на шість річних модулів, кожний з яких засаджується деревами з інтервалом в один рік. Після перших шести років спостерігається наступна ситуація: модуль 1, засаджений шість років тому, готовий для збору врожаю, а модуль 6 наближається до свого першого року росту. На схемі рисунку 3.14 зазначені основні операції, які необхідно робити на різних модулях.

Починаючи із сьомого року ситуація повторюється, при цьому кожний модуль зрушується щорічно на одну позицію проти годинникової стрілки. Отже, через сім років модуль 1 стає модулем 6 і т.д., а модуль 2 досягає шестирічного росту і готовий до збору врожаю. Під час першого року другого періоду обороту (на сьомому році) модуль 1 не треба засаджувати, тому що повторний ріст буде відбуватися за рахунок молоді порослі. Однак інші операції будуть

повторюватися в ході другого й наступного періодів.

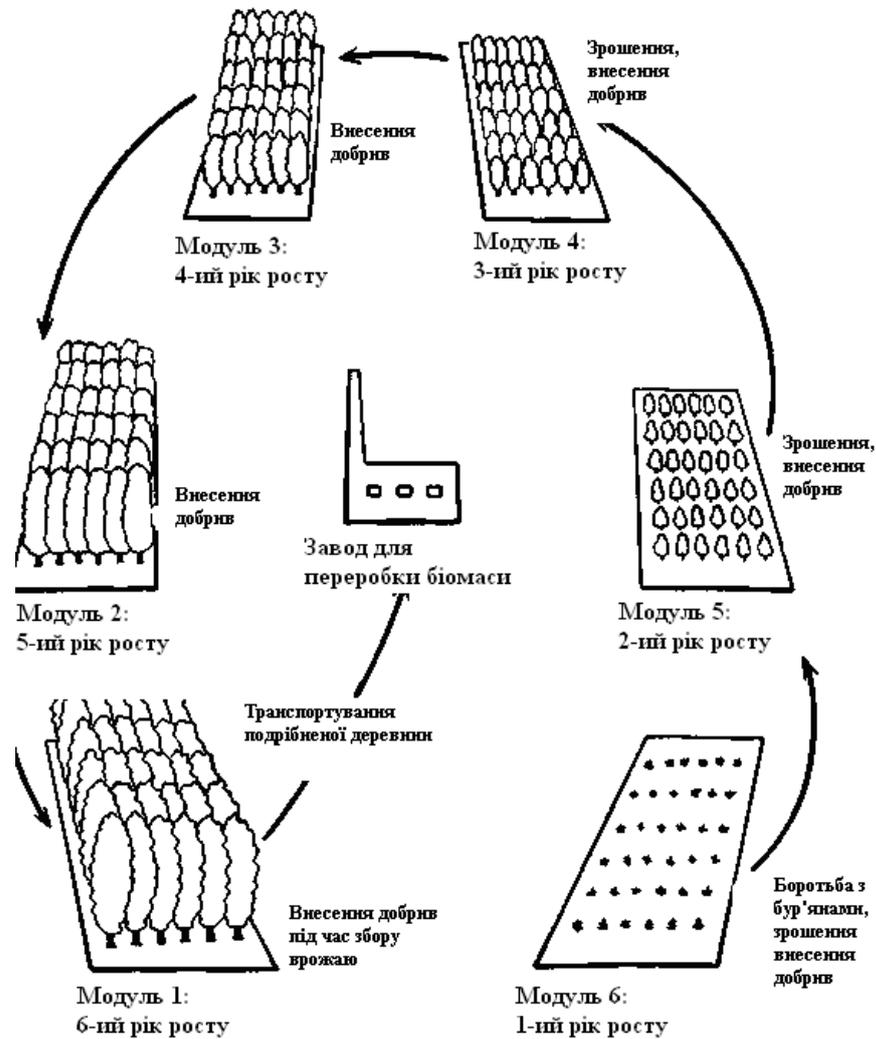


Рисунок 3.14 - Схема лісного енергетичного господарства, експлуатованого із шестирічним періодом обороту

Продуктивність господарства прийнята рівною 617750 т біомаси грубого сушіння на рік. Такої кількості біомаси досить для забезпечення роботи електростанції потужністю 50 Мвт або установки по виробництву метанолу потужністю 95 тис. м³ у рік. Продуктивність господарства залежить від площі ділянки і перебуває в межах 12,4-29,7 т маси грубого сушіння з 1 га в рік. Межі площі засаджених ділянок відповідно становлять 20250-8500 га. Тривалість оборотів дорівнює шести рокам, що становить п'ять врожаїв (перша поросль і чотири наступні врожаї). Земля здається в оренду з оплатою 5% її ринкової вартості в рік. Вартість підготовки землі для створення плантації залежить від

існуючого рослинного покриву і стану землі. Передбачається, що на ділянці будуть висаджені саджанці дерев швидкорослих твердих порід квадратно-гніздовим способом розміром 1,2x1,2 м, тобто по 6725 дерев на 1 га.

Для запобігання виснаження ґрунту щорічно вносяться азотні, фосфорні і калійні добрива. Боротьба з бур'янами здійснюється шляхом обробітку ґрунту дискуванням між рядами дерев протягом трьох років кожного періоду обороту. Основні параметри лісівницького енергетичного господарства представлені в таблиці 3.7.

Для збирання врожаю використовується самохідний комбайн, аналогічний комбайну для збирання кукурудзи на силос. Така машина зрізує ряди дерев, дроблячи їх у тріску, що викидається в причеплений до комбайну вагон. Збирання врожаю здійснюється в період спокою рослин, тріска зберігається в польових умовах.

Таблиця 3.7 - Основні параметри лісівницького енергетичного господарства.

Параметр	Значення
Річне виробництво	617 750 т біомаси грубого сушіння
Продуктивність	12,4-29,7 т біомаси грубого сушіння на 1 га в рік
Засаджена площа	Виробництво/продуктивність, гектари
Обороти	6 років; дія плантації 30 років
Придбання земельних ділянок	Оренда з 5%-ним щорічним збільшенням ринкової вартості земельної ділянки
Підготовка ділянки	Вартість залежить від існуючого вегетативного покриву
Іригація	Автоматична самохідна дощувальна машина, 3 роки протягом періоду обороту
Добриво	Щорічно вносяться N-, P- і K- вмісні добрива, вапняне добриво застосовується в перший рік кожного періоду обороту
Захист від шкідників	Механічний захист від бур'янів у перший рік кожного періоду обороту
Збір врожаю	Самохідний комбайн, збір врожаю в період спокою рослин; польове зберігання дробленої біомаси
Транспортування	Вантажні автомобілі доставляють дроблену біомасу на завод для виробництв енергії
Робочі дороги	724 км небрукваних доріг на ділянку
Різні роботи	Планування, контроль, постачання в польових умовах

Потім вона доставляється вантажними автомобілями на завод з

виробництва енергії, розташованому у центрі географічного району, у якому перебуває лісниче енергетичне господарство. Для полегшення доступу до плантацій і на території плантацій необхідно прокласти робочі дороги. Планування, спостереження, постачання і технічне обслуговування устаткування є частиною експлуатації господарства.

3.6 Екологічний аналіз біоенергетичних технологій

Зниження викидів парникових газів є одним з найбільш вагомих показників при оцінці впливу біоенергетичних технологій на оточуюче середовище. І хоча біомаса вважається CO₂-нейтральним паливом, при операціях її заготівлі, складування, транспортування, попередньої обробки та використання відбувається споживання енергії викопного палива, що в свою чергу приводить до викидів парникових газів. Основними парниковими газами, викиди яких мають місце при роботі енергетичних систем є діоксид вуглецю (CO₂), метан (CH₄) та закис азоту (N₂O). Величина викидів всіх парникових газів приводиться до еквівалентної величини викидів CO₂ через відповідні коефіцієнти (таблиця 3.8).

Нагадаємо, що згідно цієї Директиви ЄС, зниження викидів парникових газів при впровадженні технологій відновлюваної енергетики має бути не менше 35% у порівнянні з аналогічним використанням викопних палив. З 01.01.2017 мінімальна вимога збільшується до 50%, а з 01.01.2018 – до 60% для установок, уведених до експлуатації з 01.01.2017.

В таблиці 3.8 представлено результати дослідження [8-18], проведеного в рамках Завдання 38 Міжнародного Енергетичного Агентства, власні результати авторів Аналітичної записки та дані щодо типових викидів парникових газів при виробництві рідких біопалив згідно Директиви 2009/28/ЄС. З даних таблиці видно, що всі установки на твердій біомасі та більшість установок на біогазі відповідають поточним та майбутнім вимогам Директиви 2009/28/ЄС – скорочення викидів парникових газів, обумовлене їх роботою, становить > 60%.

Щодо рідких моторних біопалив, то більшість показників біодизеля й біоетанола першого покоління задовольняють поточним вимогам Директиви 2009/28/ЕС, деякі задовольняють вимозі, що вступить в силу з 2017 року (мін. 50%), і практично всі показники виходять за межі вимоги, що буде застосовуватися з 2018 року (мін. 60%). Для біопалив другого покоління результати набагато кращі – скорочення емісії парникових газів становить 80-95%. Також гарні показники має біогаз як моторне паливо – більше 80%.

Ці результати добре узгоджуються з даними інших авторів, зібраними та представленими в дослідженні [18-25] (Рис. 3.15-3.18). При виробництві енергії з біомаси зниження викидів парникових газів складає 70-90% у порівнянні із енергоустановками на викопних паливах. При застосуванні моторних біопалив першого покоління скорочення емісії ПГ є невеликим. Найкращі показники мають біоетанол та біодизель другого покоління – для них зменшення викидів ПГ може сягати більше 90%. Достатньо гарний показник відповідає також випадку застосування біогазу як моторного палива – в середньому близько 65%.

1) В порівнянні з мазутним котлом. 2) В порівнянні з вугільною електростанцією. 3) В порівнянні з газовою ТЕЦ. 4) Результати авторів Аналітичної записки для умов України (відстань транспортування біомаси – 50 км). Порівняння з випадком спалювання природного газу. 5) Типові значення згідно Директиви 2009/28/ЕС. 6) Побічний продукт гліцерин використовується як матеріал у харчовій або фармацевтичній промисловості. 7) Побічний продукт гліцерин використовується як паливо. 8) У вигляді стисненого метану. 9) Дані для випадку врожайності зернових культур порядку 7 сух. т/га. Порівняння з випадком спалювання природного газу. 10) Перерахунок за даними відповідної роботи [20-26].

Таблиця 3.8 - Питомі викиди парникових газів для різних технологій виробництва енергії із біомаси

Види технологій	Питомі викиди ПГ	Скорочення викидів ПГ	
		г CO ₂ -екв/кВт·год _Г	%
Виробництво теплової енергії	г CO ₂ -екв/кВт·год _Г	г CO ₂ -екв/кВт·год _Г	%
Котел на відходах деревини (150 кВт _Г)	52	327	86% ¹⁾
Котел на міскантусі (70 кВт _Г)	101	295	75% ¹⁾
Котел на деревній трісці (500 кВт _Г) ⁴⁾	39	185	83%
Котел на деревній трісці з енергетичної верби (300 кВт _Г) ⁴⁾	39	185	83%
Котел на тюках соломи (500 кВт _Г) ⁴⁾	14	211	94%
Котел на гранулах з деревини (100 кВт _Г) ⁴⁾	33	194	85%
Котел на гранулах з соломи (100 кВт _Г) ⁴⁾	60	165	72%
Виробництво електричної енергії	CO ₂ -екв/кВт·год _Е	CO ₂ -екв/кВт·год _Е	
ТЕС на деревній трісці (2 МВт _Е) ⁴⁾	213	909	81%
ТЕС на тюках соломи (2 МВт _Е) ⁴⁾	217	905	80%
ТЕС на тюках соломи (25 МВт _Е) ⁹⁾	178 ¹⁰⁾	нема даних	65%
ТЕС на відходах деревини (30 МВт _Е)	71	950	93% ²⁾
ТЕС 500 МВт _Е : сумісне спалювання відходів деревини з вугіллям	128	881	87% ²⁾
Сумісне виробництво теплової та електричної енергії	г CO ₂ -екв/кВт·год _{Заг}	г CO ₂ -екв/кВт·год _{Заг}	
БГУ зі сумісним зброджуванням гною та силосу кукурудзи (річне виробництво е/е 4 ГВт·год, теплової енергії 7,2 ГВт·год)	266	207	56% ³⁾
ТЕЦ на деревній трісці (2 МВт _Е +10 МВт _Г) ⁴⁾	35	152	81%
ТЕЦ на тюках соломи (2 МВт _Е +10 МВт _Г) ⁴⁾	37	150	80%
Моторні біопалива ⁵⁾	г CO ₂ -екв/МДЖ		
Біогаз з гною ⁸⁾	12-13		84-86%
Біогаз з полігонів ТПВ ⁸⁾	17		80%
Біопалива I покоління			
Біоетанол з цукрового буряку	33		61%
Біоетанол з пшениці	57		32%
Біоетанол з кукурудзи	37		56%
Біодизель з ріпаку	46		45%
Біодизель з ріпаку	111 г CO ₂ -екв/км	80 г CO ₂ -екв/км	58% ⁶⁾
	157 г CO ₂ -екв/км	34 г CO ₂ -екв/км	18% ⁷⁾
Біодизель з соняшнику	35		58%
Біодизель з сої	50		40%
Біопалива II покоління			
Біоетанол з соломи пшениці	11		87%
Біоетанол з деревних відходів	17		80%
Біодизель ФТ	4-6		93-95%

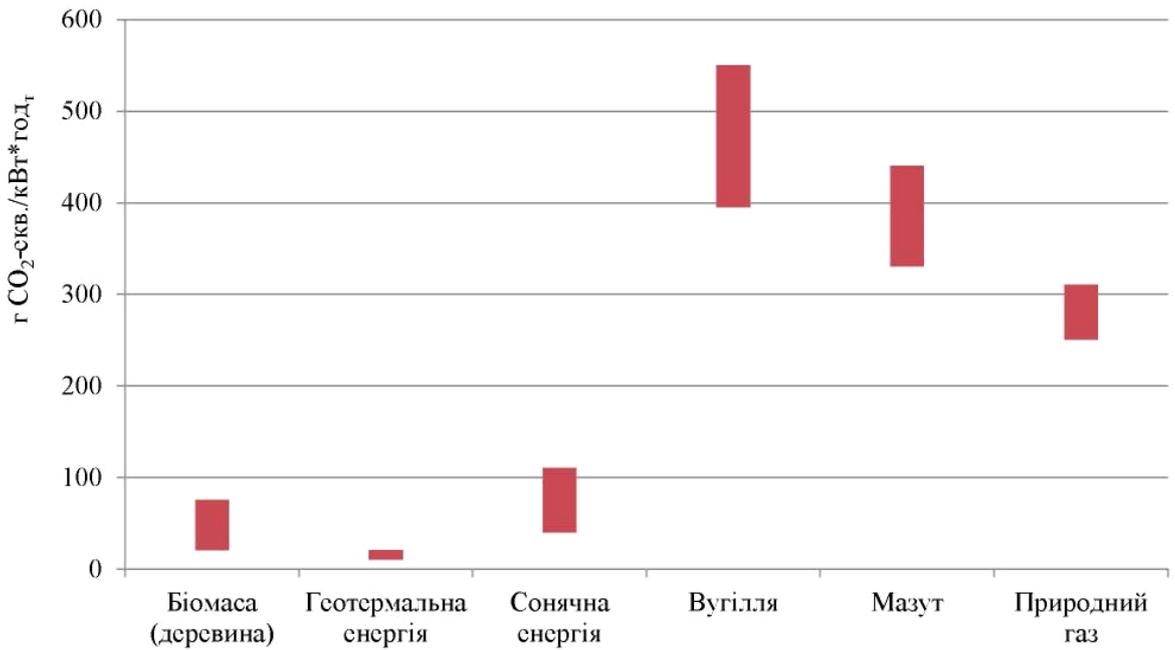
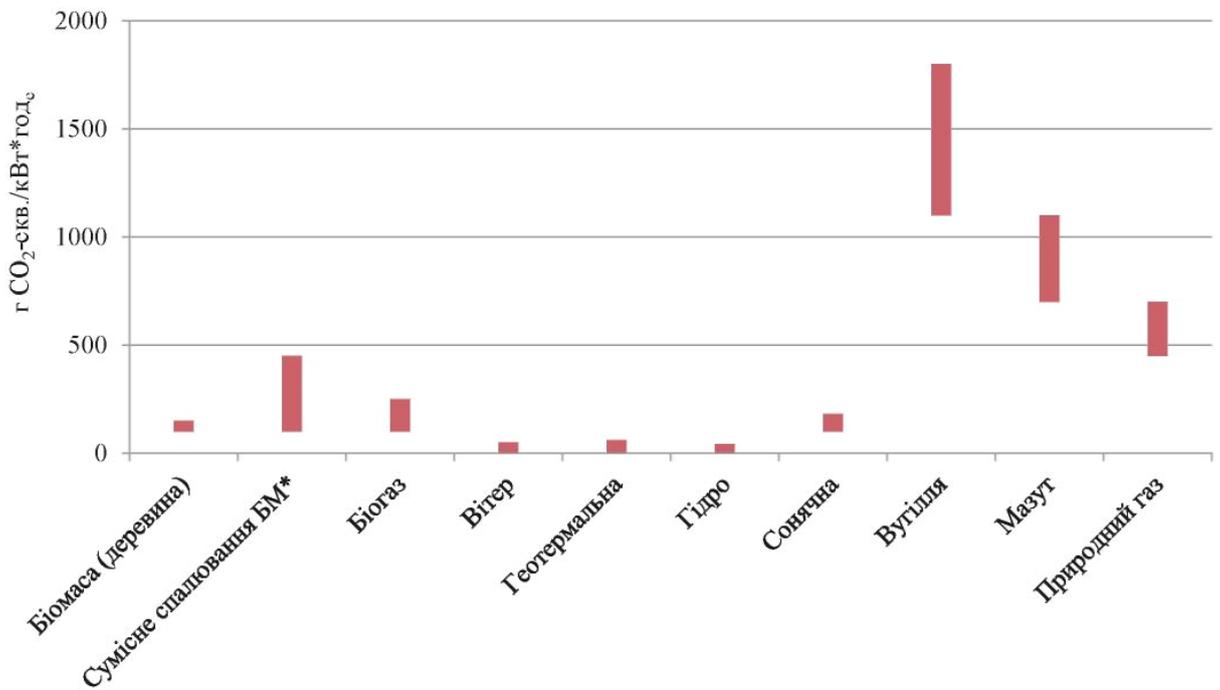


Рисунок 3.15 - Питомі викиди парникових газів при виробництві теплової енергії [20]



5-15% по енергії

Рисунок 3.16 - Питомі викиди парникових газів при виробництві електроенергії [18-20]

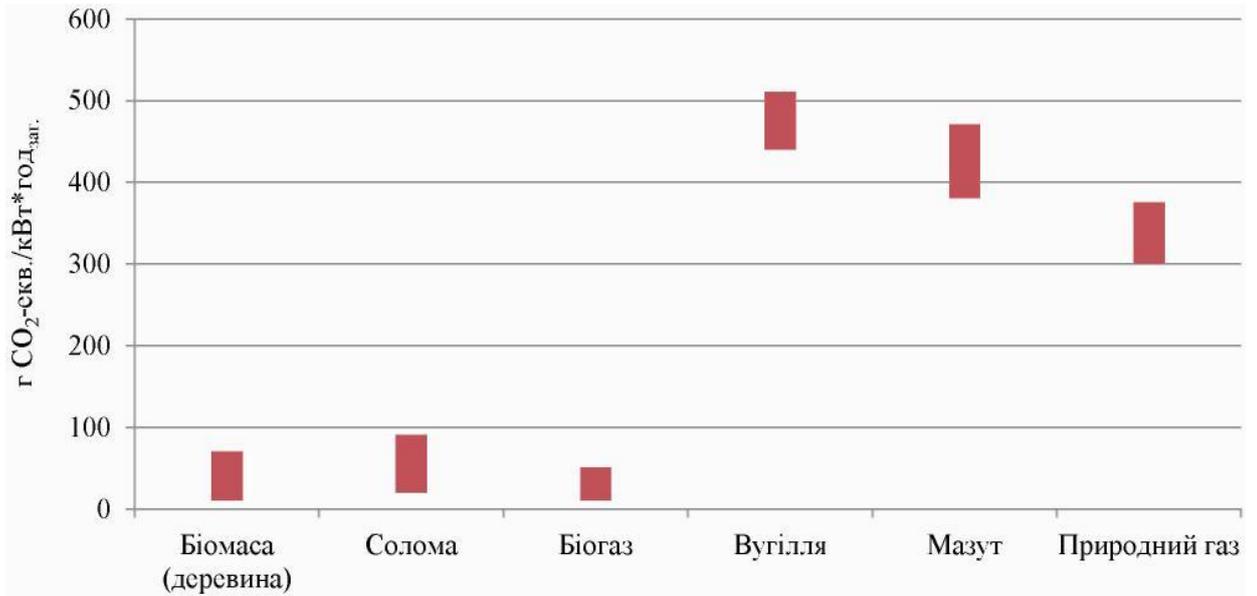


Рисунок 3.17 - Питомі викиди парникових газів при комбінованому виробництві теплової та електричної енергії [20]

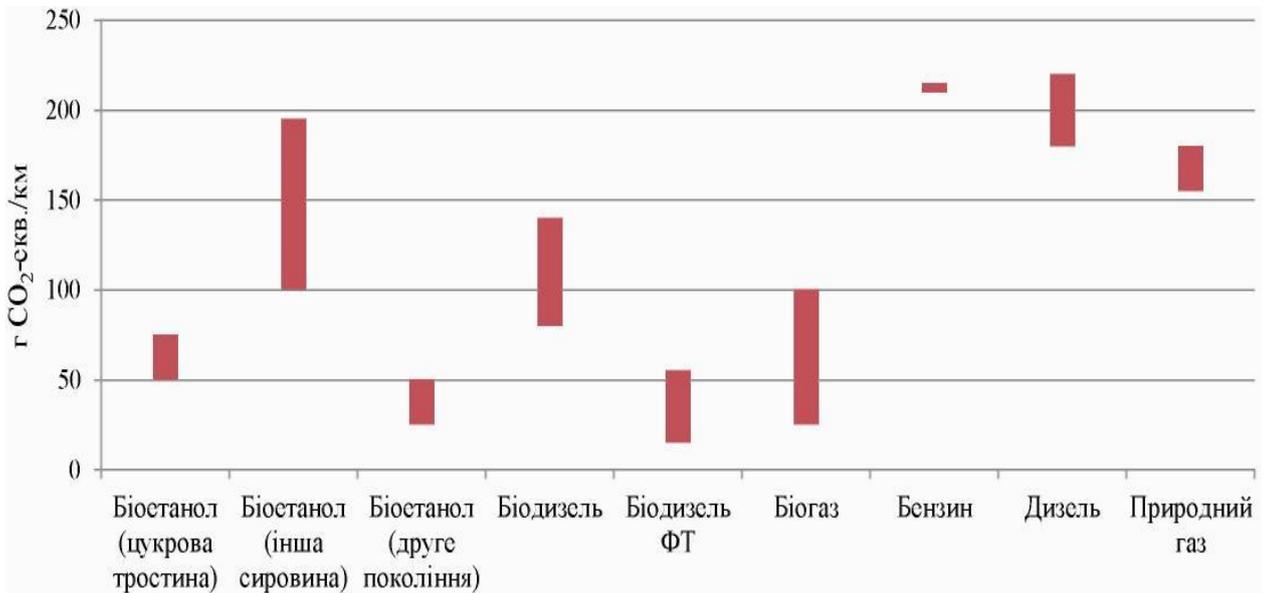


Рисунок 3.18 -. Питомі викиди парникових газів при використанні моторних палив [20-26]

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОТЛА ДЛЯ СПАЛЮВАННЮ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

Сьогодні енергетична політика України має бути спрямована на енергозбереження і розвиток альтернативних, нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, у зв'язку з постійними газовими конфліктами. Пріоритети економічного розвитку й завдання з впровадження сучасних енергоефективних технологій із малим терміном окупності у сфері альтернативної енергетики є основними завдання нашої держави на сучасному етапі розвитку. Серед відновлюваних джерел енергії провідне місце в Україні займає біомаса, зокрема солома. Використання соломи для отримання теплової енергії є раціональним способом утилізації надлишків соломи, яка не використовується для інших цілей сільського господарства (на корм чи підстилку):

- солома екологічно безпечне джерело енергії; солома є місцевим паливом, досить розповсюдженим у сільськогосподарських районах;
- солома – побічний продукт виробництва зерна і тому є відносно дешевим видом палива, порівняно з традиційними;
- гроші, що сплачувалися за постачання газу, при спалюванні соломи залишаються в районі та сприяють його розвитку [8].

Щорічний надлишок соломи (БРП) в Україні, що може бути використаний для отримання теплової енергії, становить 7,6 млн. т (приблизно 20% від загальної кількості), що свідчить про наявність великого потенціалу для розвитку технологій спалювання соломи. Для порівняння, кількість соломи, що спалюється для енергетичних цілей в Данії, становить близько 1 млн. тонн на рік [16].

Енергетичний потенціал 7,6 млн. тонн соломи становить 3,6 млн. тонни умовного палива (близько 2% загальної потреби України в енергоносіях). Для спалювання такої кількості соломи в Україні повинно бути встановлено 16 тис. фермерських котлів 0,1 – 1 МВт та 1400 котлів для централізованого теплопостачання 1 – 10 МВт.

Щорічна економія природного газу за рахунок заміщення соломою складатиме при цьому 3,0 млрд. м³ (близько 4% загального споживання газу в Україні), а сумарне зниження викидів вуглекислого газу (CO₂) в атмосферу – 5,9 млн. т за рік.

На сьогодні відомі декілька типів установок по переробці соломи, а саме:

- фермерські установки, 0,1 – 1 МВт;
- станції централізованого теплопостачання, 1 – 10 МВт;
- міні - ТЕЦ, 2 – 30 МВт.

Для індивідуальних потреб існують невеликі установки по спалюванню соломи – фермерські котли потужністю 0,1-1 МВт. Вони поділяються на котли періодичної дії та котли з автоматичним завантаженням сировини. Для потреб теплопостачання невеликих селищ чи містечок використовують станції централізованого теплопостачання потужністю більше 1 МВт [3].

4.1 Котли для спалювання соломи

Спалювання соломи може стати непоганою альтернативною традиційним видам палива, які використовуються для опалення. В умовах України для теплопостачання соціальних і адміністративних об'єктів у сільській місцевості найбільш доцільним видається спалювання тюків соломи у котлах періодичної дії.

Такі котли як правило, мають невелику потужність — від 20 до 100 кВт. Найпростіший водогрійний котел має велику топкову камеру з колосниками, призначену для завантаження одного чи кількох малих тюків соломи і їх спалювання. Подача повітря здійснюється через піддувало за рахунок тяги димової труби. Топка має охолоджувану водою сорочку, яка сприймає тепло від полум'я. Охолодження димових газів відбувається у пучку димогарних трубок. Такі котли дешеві, прості в експлуатації, але характеризуються невисоким коефіцієнтом корисної дії, який становить від 50 до 75%. У більш досконалих

котлах для подачі повітря застосовують вентилятор, а температуру нагріву води у котлі контролюють за допомогою термостата [9].

Оскільки спалювання тюків здійснюється періодично, то системи опалення з такими котлами оснащують водяним баком-акумулятором з об'ємом достатнім для поглинання енергії, що виділяється при згоранні завантаженої соломи, та стабілізації температури води у системі.

Котли для спалювання середніх та великих тюків соломи потужністю від 70 до 1000 кВт мають найбільше поширення в країнах Західної Європи, умовно їх називають фермерськими. Котли різного типорозміру можуть вміщувати від одного циліндричного тюка (діаметр – 1,5 м, висота – 1,2 м) до двох великих прямокутних тюків (1,2x1,3x2,4 м). Фермерські котли виробляються з розміром дверей та топки з розрахунку на використання середніх та великих тюків певного розміру та форми. Котли мають велику топкову камеру прямокутної чи циліндричної форми, яка оточена водяною сорочкою. Димові гази із топки виходять через пучок димогарних труб. Подача повітря у топку здійснюється у вигляді потужних струменів за допомогою одного або кількох вентиляторів. На початку горіння струмені повітря спрямовують на верхню частину тюків і поступово опускають. Таким чином струмені повітря ніби зрізують солому шар за шаром, забезпечуючи ефективне займання соломи та догорання димових газів у об'ємі над тюком. Котли оснащують автоматизованими системами керування, які забезпечують ефективну роботу котла та досягнення коефіцієнта корисної дії до 81-84 %. Як правило до складу котла входить бак-акумулятор об'ємом від 10 до 40 м³. Горіння соломи триває кілька годин в залежності від розміру і кількості завантажених тюків. За цей час теплота, що виділяється, акумулюється у водяному баку-акумуляторі. Через проміжний теплообмінник теплота з контуру котла передається в теплову мережу. Температура в баку-акумуляторі поступово падає, і через певний час слід знову завантажувати тюки до топки [2,3].

4.1.1 Виробництво соломоспалювальних котлів в Україні

Перший в Україні соломоспалювальний котел періодичної дії для тюкованої соломи успішно працює в агрофірмі "ДіМ" (с.Дрозди Білоцерківського району Київської області) з 2001 року. Котел потужністю 980 кВт встановлено у рамках Датсько-українського проекту технічної допомоги. Один цей котел забезпечує централізоване тепlopостачання адміністративних та побутових об'єктів села, приєднаних до теплової мережі.

В Україні розроблено соломоспалювальний котел потужністю 350 кВт для спалювання круглих та прямокутних тюків, який виготовляється машинобудівними підприємствами Київської області. Ведеться розробка котлів потужністю 250, 500 та 1000 кВт. Крім того підприємства України виготовляють соломоспалювальні котли потужністю від 150 до 860 кВт за ліцензією. Весною 2007 року в Україні працювало уже дев'ять соломоспалювальних котлів сумарною потужністю 4000 кВт [10].

4.1.2 Економічні показники опалення соломою

У таблиці 4.1 наведено результати розрахунків споживання палива для опалення приміщень площею до 3500-4000 м² за допомогою котла потужністю 350 кВт. Витрати на закупівлю різних видів палив: соломи, вугілля та природного газу визначені за поточними ринковими цінами. Як видно, використання соломи замість вугілля чи природного газу дозволяє зменшити витрати на паливо на 87-99 тисяч гривень за опалювальний сезон. Така економія на паливі може забезпечити окупність капітальних вкладень у новий соломоспалювальний котел за 2 роки, при розрахунковому строку його служби 12 років.

4.2 Розрахунок ефективності встановлення котла по спалюванню соломи

Розробка нового технологічного процесу з метою реалізації послуги (забезпечення опалення) іншим споживачам потребує розрахунків щодо того, наскільки ефективно встановлювати дану установку. При цьому проводиться

порівняльний аналіз декількох видів котлів і обирається найоптимальніший варіант.

Таблиця 4.1 – Порівняння витрат на опалення котлів різних типів

Назва величини	Потужність котла 350 кВт (0,3 Гкал/ч)		
	Солома	Вугілля	Газ
Вид палива			
Площа опалювальних приміщень	3500-4000 м ²		
Теплота згоряння палива	3238 ккал/кг	5153 ккал/кг	8570 ккал/м ³
Середній ККД котла	83%	88%	92%
Витрата палива	108кг/год	65,5 кг/год	38,4 м ³ /год
Добова витрата палива	2,6 т/доб	1575 кг/доб	921,6 м ³ /доб
Тривалість опалювального сезону	180 діб		
Коефіцієнт навантаження	0,7		
Витрата палива за сезон	327 т	198 т	116 тис.м ³
Ціна палива	90 грн/т	650 грн/т	1010 грн/тис.м ³
Вартість палива за сезон	29,5 тис.грн	129 тис. грн	117,3 тис. грн

Вибір економічно ефективного котла, який варто встановити у селі для опалення його адміністративних будівель за умови відсутності газопроводу, здійснимо після порівняння поточний і капітальних витрат котла, що працює на соломі та газового опалення.

Розрахунок здійснюється для котлів однакової потужності – 300 кВт для опалювального сезону 2009-2010 років, який складає 180 днів. Вартість природного газу складає 1010 грн/ тис.м³ за даними Урядового порталу [8].

Для розрахунку вартості біомаси в Україні використовується нормативний метод, згідно з яким підсумовуються усі витрати за період зростання врожаю (починаючи з орання і закінчуючи збиранням врожаю та його транспортуванням). Далі в залежності від виду зернової культури обирається коефіцієнт вартості біомаси у відсотках від загальних витрат (наприклад, для пшениці цей коефіцієнт становить 0,8%). Потім до отриманих витрат додаються витрати на збирання, тюкування та транспортування біомаси. Згідно з цим методом, вартість біомаси для сезону 2009 року склала - 90 грн/т для тюкованої біомаси [9,13].

За даними Інституту технічної теплофізики НАН України, науково-технічного центру "Біомаса" витрати палива на сезон для котла потужністю 300 кВт складають: природного газу – 116 тис. м³, а соломи 327 тонни. Витрати електроенергії відповідно: 14,4 та 74,4 кВт год/день [9].

Поточні витрати включають в себе заробітну плату робітників (враховуючи додаткову заробітну плату), витрати на електроенергію, транспортні витрати, загальновиробничі, адміністративні та інші витрати (які доцільно приймати як 200% від загальної суми витрат) [4].

Розраховуються поточні витрати за формулою (5.1):

$$B = B_{\text{п}} + Z_{\text{пл}} + H_{\text{зпл}} + A + B_{\text{е}} + B_{\text{ін}} \quad (4.1)$$

де, B – поточні витрати, грн.;

$B_{\text{п}}$ – витрати на паливо (газ або солома) за сезон, грн.;

$Z_{\text{пл}}$ – основна заробітна плата робітників, грн.;

$H_{\text{зпл}}$ – нарахування на заробітну плату, грн.;

A – річна норма амортизаційних відрахувань для обладнання становить 25% загальної вартості;

$B_{\text{е}}$ – вартість електроенергії, грн.;

$B_{\text{ін}}$ – інші витрати, грн.

Заробітну плату робітникам розраховується за формулою (4.2):

$$Z_{\text{о}} = \frac{M}{T_{\text{р}}} \cdot t, \quad (4.2)$$

де $Z_{\text{о}}$ – основна заробітна плата, грн.;

M – місячний посадовий оклад робітника (мінімальна заробітна плата 884 грн., за станом на 01.04.2010 рік), грн.;

$T_{\text{р}}$ – число робочих днів в місяці ($T_{\text{р}} = 23$ дні);

t – число днів роботи робітника ($t = 180$ дні).

Для обслуговування газового котла:

$$З_1 = \frac{884}{23} \cdot 180 = 6918 \text{ грн.}$$

Для котла на соломі:

$$З_2 = \frac{1000}{23} \cdot 180 = 7826 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата робітників $З_д$ розраховується як 10 % від основної заробітної плати ($З_о$), і становить відповідно: 692 і 783 грн.

Нарахування на заробітну плату робітників $Н_{зп}$ розраховуються як 37 % від суми основної та додаткової заробітної плати робітників (формула 4.3).

$$Н_{зп} = (З_о + З_д) \cdot 37\% \quad (4.3)$$

$$Н_{зп\ 1} = (6918 + 692) \cdot 0,37 = 2815,7 \text{ грн.}$$

$$Н_{зп\ 2} = (7826 + 783) \cdot 0,37 = 3185,3 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на заробітну плату з нарахуваннями:

$$З_{1\ \text{газ}} = 6918 + 2815,7 = 9733,7 \text{ грн.}$$

$$З_{2\ \text{сол}} = 7826 + 3185,3 = 11011,3 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо за сезон (180 днів) становлять:

$$- \text{ природний газ: } V_{п\ \text{газ}} = 116 \text{ тис. м}^3 \cdot 1010 \text{ грн/ тис. м}^3 = 117,3 \text{ тис. грн};$$

$$- \text{ солома: } V_{п\ \text{сол}} = 327 \text{ т} \cdot 90 \text{ грн/т} = 29,5 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на електроенергію розраховуються за формулою 4.4.

$$V' = Q \cdot q \cdot t, \quad (4.4)$$

– де Q – загальна кількість використаних ресурсів, кВт/год.

– q – вартість ресурсу, грн.;

– t – число днів роботи котла.

$$V_{\text{ел газ}}' = 14,4 \text{ кВт/год} \cdot 0,55 \text{ грн} \cdot 180 = 1425,6 \text{ грн};$$

$$V_{\text{ел сол}}' = 74,4 \text{ кВт/год} \cdot 0,55 \text{ грн} \cdot 180 = 7365,6 \text{ грн}.$$

Амортизаційні витрати становлять:

- для газового котла: 11181,2 грн;
- для котла на соломі: 23150 грн.

Інші витрати доцільно приймати як 200 % від суми основної заробітної плати робітникам:

$$V_{\text{ін газ}} = 6918 \cdot 2 = 13836 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{ін сол}} = 7826 \cdot 2 = 15652 \text{ грн.}$$

Загальні поточні витрати розраховуємо за формулою 5.1:

$$V_{\text{газ}} = 117300 + 7610 + 2815,7 + 11181,2 + 1425,6 + 13836 = 154168,5 \text{ грн.}$$

Для соломи у загальні поточні витрати входить вартість транспортних витрат за сезон (транспортування з місця зберігання до сховища біля котла) вони складають 6538 гривень [3].

$$V_{\text{сол}} = 29500 + 8609 + 3185,3 + 23150 + 7365,6 + 6538 + 15652 = 94000 \text{ грн.}$$

Порівняльні економічні показники для системи опалення на біомасі(соломі) та природному газі для опалювального сезону 2016/2017 років, для котлів потужністю 300 кВт наведенні у таблиці 4.2.

Так, встановлюючи у сільській місцевості котел по спалюванні біомаси, який буде працювати на соломі, забезпечуючи опалення адміністративних будівель села (сільська рада, клуб, школа і дитячий садок) отримуємо економію коштів у розмірі 60168,6 гривень, що відповідає вартості нового котла по спалюванню соломи. Таким чином, місцеві органи самоврядування можуть, не

використовуючи кошти свого бюджету, забезпечити ще одне село опаленням. Ймовірно, що економія коштів буде зростати з року в рік, внаслідок постійного зростання ціни на природний газ.

Таблиця 4.2 – Порівняльні економічні показники системи опалення біомасою і газом

Показник	Газове опалення	Опалення біомасою
Витрата палива за сезон	166 тис.м ³	327т
Вартість палива	1010 грн/1000м ³	90 грн/т
Витрати на паливо за сезон, грн	117,3 тис. грн.	29,5 тис.грн
Витрата електроенергії, кВт·год/день	14,4	74,4
Витрата електроенергії за сезон, грн	1425,6	7365,6
Заробітна плата операторів, грн	9733,7	11011,3
Транспортні витрати за сезон (транспортування з місця зберігання до сховища біля котла), грн	-	6538
Загальні експлуатаційні витрати, грн	154168,5	94000
Виробництво теплоти, Гкал	0,3	0,3
Економія коштів за сезон, грн		60168,6

Капітальні витрати на обладнання включають: вартість котла, вартість робіт по встановленню та налагоджуванню роботи та у випадку газового опалення вартість газової мережі та розраховуються за формулою 4.5 [4]:

$$KB = B_k + P + (M) \quad (4.5)$$

KB – капітальні витрати на встановлення обладнання, грн.;

B_k – вартість котла(газовий, біомаса), грн.;

P – вартість налагоджувальних робіт, грн.;

M – вартість газової мережі, грн.

$$KB_{\text{газ}} = 44725,2 + 846000 = 890725,2 \text{ грн.}$$

$$KB_{\text{сол}} = 92600 + 15000 = 107600 \text{ грн.}$$

Отримавши всі розрахунки поточних і капітальних витрат можна зробити висновок, що встановлення котла по спалюванні соломи є економічно, екологічно та соціально ефективним для сільської місцевості.

Розвиток біоенергетики приносить суспільству величезну користь. Особливо доцільно встановлювати котли, що працюють на соломі у селах, де відсутня газова мережа. При цьому їх використання дає багато переваг:

- солома – відновлюване джерело енергії і доступне місцеве паливо;
- можливість незалежного теплопостачання;
- ефективне виробництво теплоенергії в локальній мережі енергопостачання, що на відміну від централізованої системи теплопостачання характеризується меншими енерговитратами

- можливість демонструвати суспільству, зокрема освітнім установам, переваги поновлюваної енергетики;

- можливість одержання доходів від використання великих біостанцій і окремих біоенергетичних установок.

Крім того, котел по спалюванню соломи має також і екологічні переваги, а саме: скорочується кількість викидів шкідливих газів (SO_2 , N_xO_y) унаслідок зниження використання органічних видів палива для одержання енергії; солома є CO_2 – нейтральним видом палива, оскільки та кількість вуглекислого газу, що виділяється при згоранні соломи, поглинається рослиною під час її росту; відходи згорання (зола) є цінним мінеральним добривом, яке повертається на поля.

ВИСНОВКИ

Досвід країн ЄС показує, що з усіх секторів біоенергетики найбільш динамічно розвивається виробництво теплової енергії. Україна має великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії, що є гарною передумовою для динамічного розвитку сектора біоенергетики. Економічно доцільний енергетичний потенціал біомаси в країні становить близько 20-25 млн. т у. п./рік. Основними складовими потенціалу є відходи сільськогосподарського виробництва (солома, стебла кукурудзи, стебла соняшнику і т.п.) – більше 11 млн. т у.п./рік (за даними 2022 р.) та енергетичні культури – близько 10 млн. т у .т./рік.

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектора відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпорتنих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії.

Біомаса є місцевим видом палива. В процесі виробництва енергії з біомаси використовуються наявні місцеві ресурси регіону, включаючи і трудові. Таким чином, використання біомаси призводить до розвитку місцевої економіки;

Біомаса є відновлюваним видом палива, а отже при раціональному використанні, є, по суті, невичерпним джерелом енергії, використання якого сприяє сталому розвитку регіону, та не створює типові для традиційних енергоносіїв ризики поступового витрачання (а отже і відповідного підвищення цін) через виснаження природних родовищ;

Біомаса є екологічно чистим паливом у порівнянні із іншими твердими видами палива, наприклад, вугіллям. Як правило, біомаса містить мало сірки, а її спалювання при відносно невисоких температурах не призводить до утворення окислів азоту. Крім того, завдяки включенню біомаси у природний цикл поглинання, зберігання та вивільнення CO₂, спалювання біомаси не призводить до посилення парникового ефекту та знижує негативний антропогенний вплив на оточуюче середовище;

Біомаса, як правило, є більш дешевим паливом у перерахунку на одиницю

енергії, ніж інші види традиційних енергоресурсів; при цьому тенденції останніх 20-ти років показують більш швидкі темпи росту цін на традиційні енергоресурси, ніж на відновлювані, і ця різниця з кожним роком збільшується;

Ринок виробництва енергії з біомаси є новим сектором економічної діяльності, що створює нові робочі місця, сприяє росту регіонального валового продукту та загальному «озелененню» економіки; Використання біомаси зменшує кількість відходів та сміття у містах, а у випадку використання біогазу - призводить до утилізації небезпечних відходів з полігонів ТПВ, що сприяє очищенню засмічених територій, поверненню біо- різноманіття, загальному покращенню екології;

Впровадження об'єктів генерації на біомасі сприяє залученню сучасних, передових технічних рішень у сферу тепло- забезпечення, оновленню технологічних парків існуючого обладнання, розвитку виробництва нового обладнання, діяльності з його монтажу та обслуговування.

Отже, для швидкого вирішення питання енергозабезпечення України за рахунок використання власних відновлюваних джерел енергії необхідно:

- 1) повністю відмовитись від споживання імпортного ПГ;
- 2) забезпечити доступ до теплових мереж, що знаходяться в експлуатації місцевих теплокомуненерго, які не зацікавлені в підключенні конкурентних об'єктів теплогенерації і часом чинять перешкоди у видачі технічних умов на підключення. Необхідні зміни до Закону України «Про тепlopостачання», які б забезпечували гарантований доступ об'єктам альтернативної теплогенерації до теплових мереж;
- 3) врегулювати питання заготівлі деревного палива приватними компаніями, що мають відповідну техніку та обмежити спалювання деревних відходів на лісосіках. Сучасні українські держлісгоспи не мають достатньої техніки і мотивації для значного збільшення заготівлі деревного палива та корисній утилізації деревних відходів;
- 4) використовувати до 30% теоретичного потенціалу соломи зернових культур й до 40% теоретичного потенціалу відходів виробництва кукурудзи на

зерно та соняшника;

5) спростити процедуру передачі в концесію приватному інвестору котелень комунальної форми власності, в тому числі через механізми державно приватного партнерства;

6) використовувати енергетичні культури для отримання додаткової агро біомаси та нарощування енергетичного споживання аграрних відходів й біопалива з енергетичних плантацій;

7) удосконалити механізм тарифоутворення, який має передбачати зменшення обсягу компенсації різниці в тарифах на теплову енергію, вироблену з природного газу, на користь збільшення такої компенсації на вартість теплової енергії, виробленої з альтернативних видів палива;

8) спростити процедуру землевідведення під об'єкти біоенергетики;

9) спростити процедуру комплексної експертизи проектів з будівництва котелень та ТЕЦ на біомасі, біогазових установок та інших біоенергетичних об'єктів;

10) ввести заборону на проектування і будівництво нових, а також реконструкцію існуючих котелень у бюджетній сфері та ЖКГ для роботи на природному газі в разі наявності в регіоні достатньої кількості біопалив та інших альтернативних місцевих видів палива;

11) внести зміни до законодавчих та нормативно-правових актів, які гарантуватимуть, що при переході котелень, які забезпечують опалення та гаряче водопостачання об'єктів бюджетної сфери, з природного газу на біопалива в місцевих бюджетах будуть збережені протягом 5 років статті на забезпечення цих видатків на рівні, що існував до заміщення газу біопаливом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Аналітична записка БАУ №7, 2022 <http://www.uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ua.pdf>
2. Аналітична записка БАУ №7 «Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні».
3. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Олійник Є.М. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 5. – С. 48-57.
4. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Олійник Є.М., Гелетуха А.І. Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 6. – С. 67-75.
5. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Затверджена розпорядженням КМУ № 1071 від 24.07.2013. <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
6. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні. Частина 1 // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 4. – С. 63-71.
7. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні. Частина 2 // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 5. – С. 43-47.
8. Закон України «Про електроенергетику» (№ 575/97-ВР від 16.10.1997, зі змінами). <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>
9. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (проект) <http://saee.gov.ua/documents/NpdVE.pdf>
10. Директива Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2018/2001 від 11 грудня 2018 року про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел (нова редакція)
11. Статистичні дані Європейської Комісії у секторі енергетики http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/other_documents
12. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га (практичні рекомендації).

- Державна установа Інститут сільського господарства степової зони, Дніпропетровськ, 2012 [agro.ua.net/docs/mais.doc](http://agro.ua/net/docs/mais.doc)
- 13.А. Сухина. Сушіння кукурудзи в качанах. Пропозиція, 2022, № 1 <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4039>
- 14.М. Кирпа. Оптимізовані технології збирання й обробки зерна кукурудзи. Пропозиція, 2022, № 1 <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=3720>
- 15.С.М. Кухарець, Г.А. Голуб. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету, 2012, №1 (30), т.1, с.345-352 http://www.znau.edu.ua/visnik/2012_1_1/345.pdf
- 16.Підвищення родючості глинистого ґрунту, застосування добрив у польовій сівозміні <http://bukvar.su/botanika-i-selskoe-hoz-vo/page,4,32022-Povyshenie-plodorodiya-glinistoiy-pochvy-primenenie-udobreniiy-v-polevom-sevooborote.html>
- 17.Кухарець С.М. Алгоритм розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2012, №10 т. 1 (58), с. 61-65 <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=6606>
- 18.Посібник. Машини для збирання зернових та технічних культур / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Погорілого. – 2009, 296 с. http://vthntusg.at.ua/_ld/0/18_zernovi_disk.pdf
- 19.Інформаційно-аналітичний звіт «Український ринок твердого біопалива», 2013 (на рос. мові). Підготовлений компанією Innovative Business Centre, LLC. Екологічні проблеми землеробства. За ред. І.Д. Примака. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 456с.
- 20.Neil Bird, Annette Cowie, Francesco Cherubini, Gerfried Jungmeier. Using a Life Cycle Assessment approach to estimate the net greenhouse gas emissions of bioenergy. Report on IEA Bioenergy Task 38. <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Using-a-LCA-approach-to-estimate-the-net-GHG-emissions-of-bioenergy.pdf>

- 21.С.М. Кухарець, Г.А. Голуб. Забезпечення енергетичної автономності агроecosystem на основі виробництва біопалива // Вісник Житомирського національного агроecological університету, 2012, №1 (30), т.1, с.345-352
http://www.znau.edu.ua/visnik/2012_1_1/345.pdf
- 22.Голуб Г.А. Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроecosystem // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2011, №7, с. 59-66
- 23.Доценко О.А., Суздаєвич І.Ю., Васильківський І. В. Використання рослинних відходів для виробництва енергії / “V Всеукраїнський з’їзд екологів з міжнародною участю” (Екологія/Ecology-2015), 23–26 вересня, 2015. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво-друкарня Діло, 2015. – С. 235.
- 24.Майданюк А.Д., Доценко О.А., Васильківський І. В. Удосконалення логістики використання рослинних відходів / “VI Всеукраїнський з’їзд екологів з міжнародною участю” (Екологія/Ecology-2017), 25–27 вересня, 2017. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво-друкарня Діло, 2017. – С.53.
- 25.Васильківський І. В., Тітов Т. С., Сидорук Т. І., Несса В. Р. Скорочення викидів парникових газів при виробництві енергії з агровідходів // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції: «Енергоефективність в галузях економіки України (2025)», Вінниця, 19-21 листопада 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26552/21863>
- 26.Васильківський І. В., Тітов Т. С., Сидорук Т. І., Несса В. Р. Скорочення викидів парникових газів при виробництві енергії з агровідходів // Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)», Вінниця, 15-16 червня 2026 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/paper/viewFile/26017/2185>

Додаток А.
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Наукове обґрунтування екологічної безпеки використання біомаси для виробництва енергії в Україні

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 23,8 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

зав. каф. ЕХТЗД, проф. Іщенко В.А.

(прізвище, ініціали, посада)

доц. каф. ЕХТЗД Васильківський І.В.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Матусяк М.В.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

Васильківський І.В.

Здобувач

Несса В Р.

Додаток Б.
Характеристика енергетичного потенціалу рослинних відходів
в Україні за 2022 р.

Вид біомаси	Всього утворюється, млн. т	% від загальної кількості	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	32	20	3,17
Солома ріпаку	2,9	70	0,96
Відходи виробництва кукурудзи на зерно	34	52	8,59
Відходи виробництва соняшника	17	67	5,55
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	9,7	77*	0,99
Деревна біомаса	3,9	89*	1,87
Біодизель	-	-	0,35
Біоетанол	-	-	2,36
Біогаз із гною	-	-	0,35
Біогаз з полігонів ТПВ	-	-	0,26
Біогаз стічних вод	-	-	0,09
Енергетичні культури:			
- тополя, міскантус, верба та ін.	20	85	10,30
- ріпак (солома)	3,2	70	1,13
- ріпак (біодизель)	-	-	0,77
- кукурудза (біогаз)	-	-	1,10
Торф	-	-	0,4
Всього	-	-	38,24

* в середньому (1000 м³ природного газу = 1,16 т у.п.=0,812 т н.е. (н.е. – нафтовий еквівалент; у.п. – умовне паливо)).

Додаток Д.
Ілюстративна частина

**ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ В
УКРАЇНІ**

Додаток В.

Акт впровадження результатів магістерської кваліфікаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Декан ФБЦЕ, к.т.н., доцент
 _____ Меть І. М.
 «9» грудня 2025 р.

АКТ
 впровадження результатів
 магістерської кваліфікаційної роботи студентки групи ТЗД-24м
Несси Вікторії Русланівни
 на тему: «Наукове обґрунтування екологічної безпеки використання
 біомаси для виробництва енергії в Україні»
 у навчальний процес

Комісія у складі: професора Іщенка В. А., професора Петрука В. Г., професора Кватернюка С. М., склали цей акт про те, що на кафедрі екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету під час виконання практичних занять з дисципліни «Проектування екологічно чистих виробництв» впроваджено результати, розроблені магістрантом Нессою Вікторією Русланівною:

- 1) удосконалена логістична схема організаційно-технічного рішення продукування, постачання, транспортування, складування і використання відходів рослинництва;
- 2) експериментальна методика проектування лісного енергетичного господарства.

«5» грудня 2025 р.

Голова комісії:

_____ д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД,
 Заслужений природоохоронець України
 Петрук В.Г.

Члени комісії:

_____ Завідувач кафедри ЕХТЗД, к.т.н., професор
 кафедри ЕХТЗД Іщенко В. А.

_____ д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД,
 Кватернюк С.М.

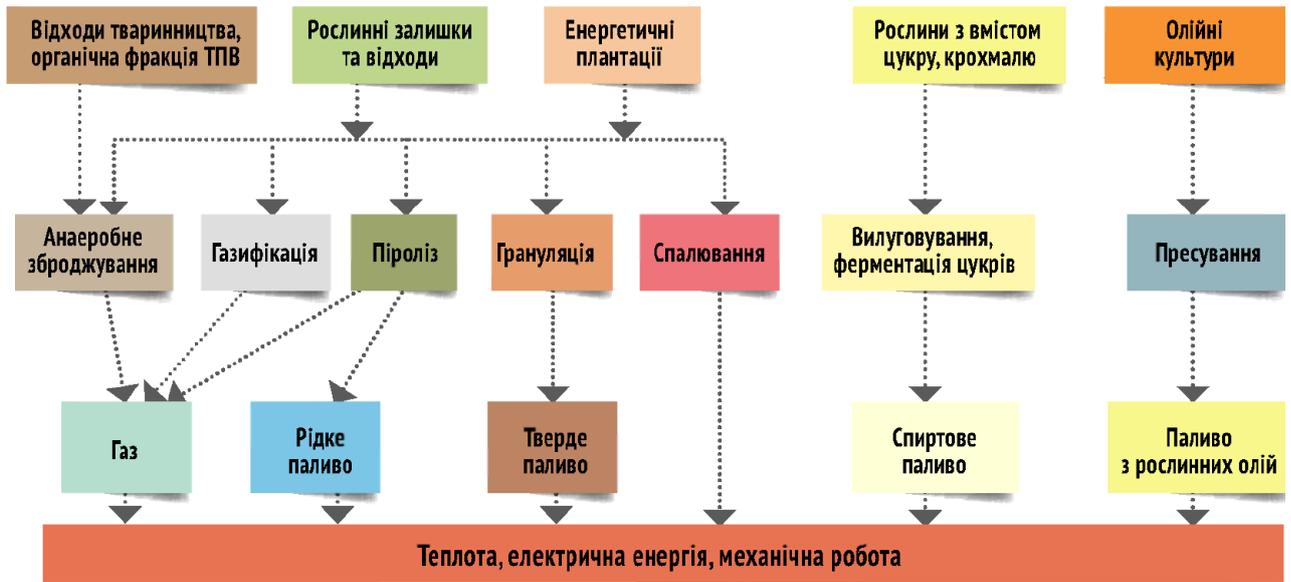
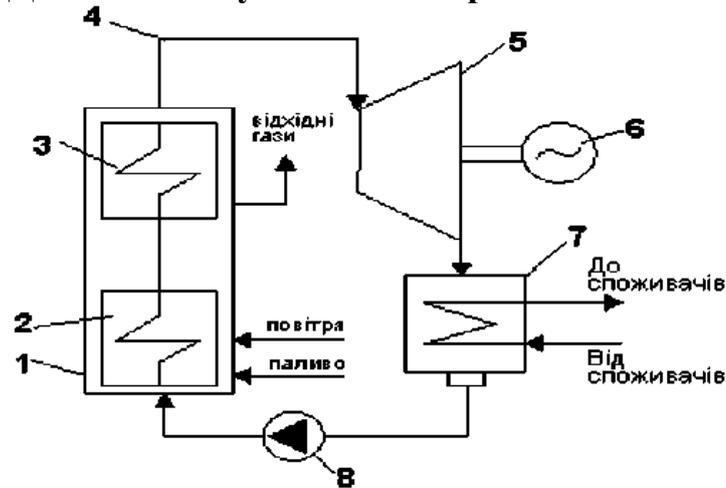


Рисунок Д.1 - Способи виробництва енергії з біомаси



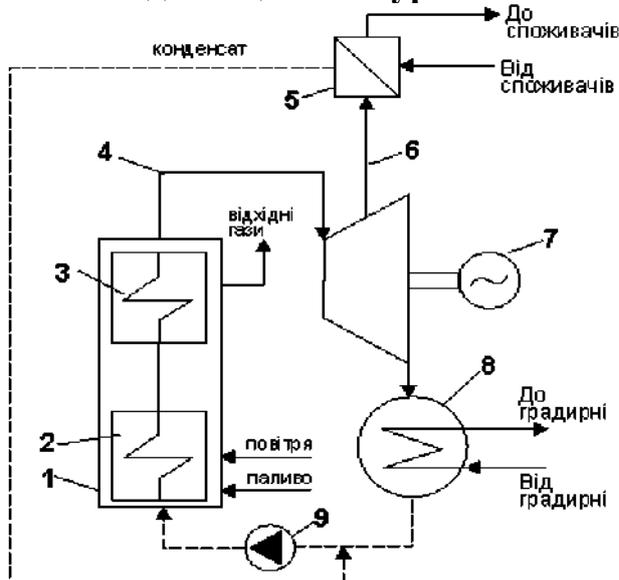
Рисунок Д.2 - Технології спалювання рослинних відходів (біомаси)

Рисунок Д.3.1 - Схема установки з протитисковою турбіною



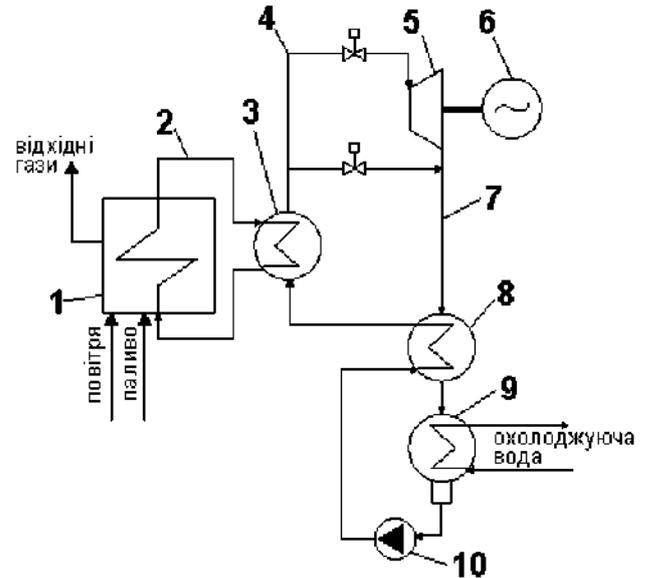
- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 - паровий котел; | 6 - електрогенератор |
| 2 - поверхні нагріву котла; | 7 - підігрівач води для відпуску |
| 3 - пароперегрівач; | тепла споживачам; |
| 4 - перегріта пара на турбіну; | 8 - живильний насос. |
| 5 - турбіна; | |

Рисунок Д.3.2 - Схема установки з конденсаційною турбіною.



- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 - паровий котел; | 6 - відбір пари з турбіни |
| 2 - поверхні нагріву котла; | 7 - електрогенератор; |
| 3 - пароперегрівач; | 8 - конденсатор відпрацьованої пари; |
| 4 - перегріта пара на турбіну; | 9 - живильний насос |
| 5 - підігрівач води для відпуску тепла споживачам; | |

Рисунок Д.3.3 - Схема установки ORC.



- | | |
|---|--|
| 1 - котел для нагріву термомасла; | 6 - електрогенератор; |
| 2 - нагріте термомасло; | 7 - відпрацьована пара органічного теплоносія; |
| 3 - випаровування органічного теплоносія; | 8 - теплообмінник-регенератор; |
| 4 - пара органічного теплоносія на турбіну; | 9 - конденсатор пари; |
| 5 - турбіна; | 10 - насос. |

Рисунок Д.3 - Схеми забезпечення виробництва теплової та електричної енергії

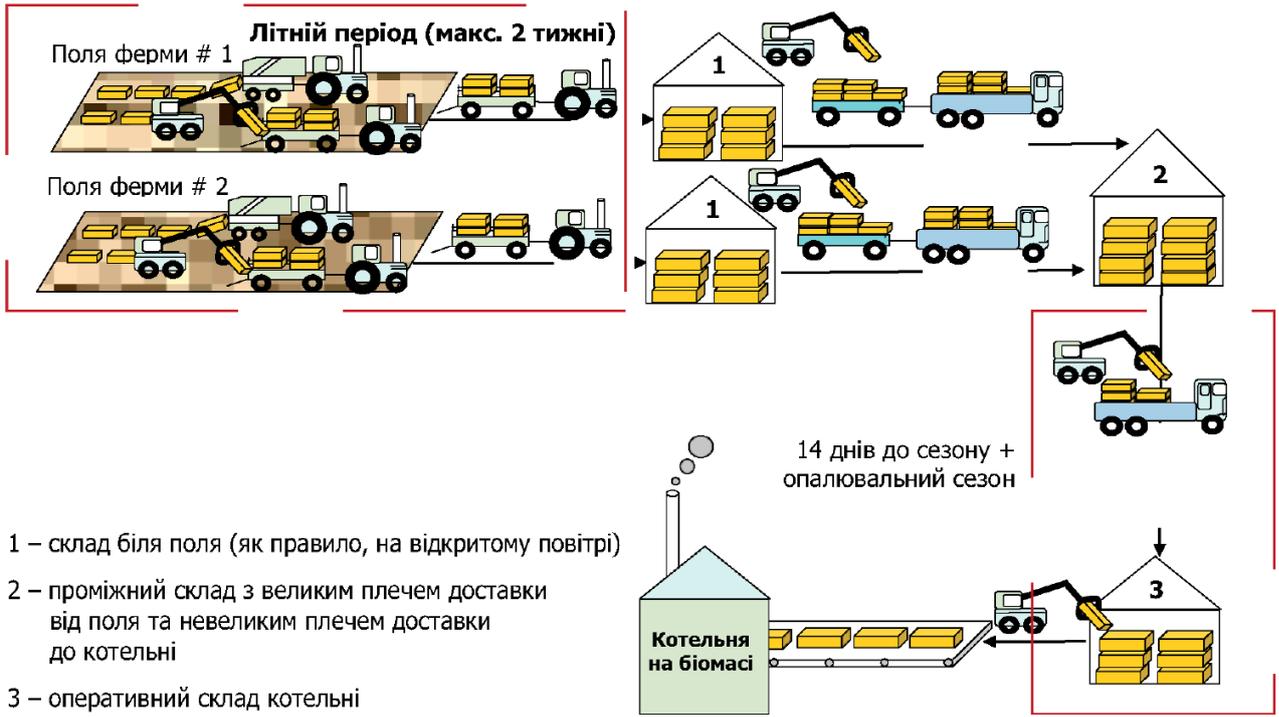


Рисунок Д.4 - Принципова логістична схема для агровідходів



Рисунок Д.5 - Кінематична схема лінії грануляції соломи ЛГБМ-2000



Шнековий прес-гранулятора ППМ-2000 містить: корпус 1, який складається із зони адміністратора 2, зони стиснення 6, і формуючого пальця 7. Формуючий палець 7 розміщений в зоні 4 формування брикету. Зона витримки 5, виконана з втулок 8 з кладкою внутрішньою поверхнею. На корпусі в зоні витримки 5, встановлений нагрівач 9. За зоною витримки 5, з нагрівачем 9, розташована зона 10 охолодження пресованого матеріалу, яка виконана у вигляді мундштука з порожниною 11, для циркуляції охолоджуючої рідини. В зоні охолодження 10, є втулки 12 з гладкою внутрішньою поверхнею. Між зоною витримки 5, і зоною охолодження розташовані термоізоляційні елементи 13. Мундштук закріплений до корпусу 1 з допомогою болтових з'єднань 14. Втулки 12 закріплюються в мундштуці торцевим фланцем 15.

Рисунок Д.6 - Шнековий прес-гранулятора ППМ-2000, поздовжній розріз