

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 621.316

**«ПОГОДЖЕНО  
Директор ННІ Енергетики,  
автоматики і енергозбереження**

**«ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ»  
В.о. завідувача кафедри  
інженерії енергосистем**

\_\_\_\_\_ Каплун В.В.  
(підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

\_\_\_\_\_ Антипов Є.О.  
(підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Реконструкція котельні Миронівського заводу круп і комбікормів»**

Спеціальність: **144 «Теплоенергетика»**

Освітня програма : **«Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент»**

Орієнтація освітньої програми: **«Освітньо-професійна»**

**Гарант освітньої програми:**

\_\_\_\_\_ Д.Т.Н., проф.  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Горобець В.Г.  
(ПІБ)

**Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доц.  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Міщенко А.В.  
(ПІБ)

**Виконав:**

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Коротикін В.І.  
(ПІБ)

Київ -2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри  
інженерії енергосистем

/ Антипов Є.О./

\_\_\_\_\_

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Коротикіну Владиславу Ігоровичу**

Спеціальність: **144 «Теплоенергетика»**

Освітня програма: **«Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент»**

Орієнтація освітньої програми: **«Освітньо-професійна»**

Тема магістерської кваліфікаційної роботи:

**«Реконструкція котельні Миронівського заводу круп і комбікормів»**

затверджена наказом ректора НУБіП України від 19.12.2023 р. № 2334 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024.11.08

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

- Науково-технічна література інженерних систем теплопостачання
- Нормативні документи по проектуванню енергетичних об'єктів (ПВЕ, ПТЕЕС, ПТЕ та ПТБ, ДБН, ДСТУ, СОУ, інтернет-джерела).

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Стан та перспективи використання біопалив в аграрному виробництві
  - 1.1. Біопаливні ресурси АПК
  - 1.2. Загальні тенденції розвитку біоенергетики
  - 1.3. Ресурси біомаси для енергетичних
2. Способи та технічні засоби використання біопалива в аграрному виробництві
3. Енергетичне використання відходів переробки насіння соняшника на Миронівському заводі круп і комбікормів
  - 3.1. Теплоенергетичне забезпечення Миронівського ЗВКК
  - 3.2. Робочий процес парового котла на соняшниковому лушпинні

Дата видачі завдання: 19.12.2023.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Міщенко А.В

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

Коротикін В.І.

(прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ В АПК	10
1.1. Біопаливні ресурси АПК	10
1.2. Загальні тенденції розвитку біоенергетики АПК	16
1.3. Ресурси біомаси для енергетичних потреб	17
1.4. Висновки до розділу	35
РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	37
2.1. Тверде біопаливо	37
2.1.1. Характеристики біомаси як енергетичної сировини	37
2.1.2. Способи використання біопалива	39
2.1.3. Технічні засоби для використання твердого біопалива	49
2.1.4. Вплив котлів, що працюють на твердому паливі на довкілля	52
2.4. Висновки до розділу	55
РОЗДІЛ 3. ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ СОНЯШНИКА НА МИРОНІВСЬКОМУ ЗАВОДІ КРУП І КОМБІКОРМІВ	56
3.1. Теплоенергетичне забезпечення Миронівського ЗВКК	56
3.2. Особливості роботи парового котла на соняшниковому лушпинні	75
3.2.1. Характеристика соняшникового лушпиння, як палива	75
3.2.2. Особливості спалювання лушпиння	77
3.2.3. Пропонована конструкція топкового пристрою	79
3.2.4. Повітряний режим роботи котла	80
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БЕУ	-біоенергетична установка;
ПДЕ	-поновлювані джерела енергії;
ВЕР	-вторинні енергоресурси;
ГН	-газовий нагрівач;
ДНТ	-джерела низькопотенційної теплоти;
КСЕ	-колектор сонячної енергії;
ПССО	-пасивна система сонячного опалення;
СО	-система опалення;
СФМ	-структурно-функціональна модель;
ТА	-тепловий акумулятор;
ТН	-тепловий насос;
ТНУ	-теплонасосная установка;
ТЕН	-теплоелектронагрівач;
ПЕР	-паливно-енергетичні ресурси;
УТ	-утилізатор теплоти;
УТДГ	-утилізатор теплоти димових газів;

## ВСТУП

Сьогодні в Україні є достатньо великий потенціал біомаси, придатної для отримання енергії. За попередніми оцінками, ця біомаса (без частки, що використовується іншими секторами економіки) може забезпечити щорічно близько  $10-17 \cdot 10^6$  т умовного палива, або 5-8 % загальної потреби країни у первинній енергії. Використання таких обсягів біомаси еквівалентне збільшенню вітчизняного видобутку палива на 20 %.

У результаті переробки відходів тваринництва і рослинництва вирішується одночасно три проблеми: енергетична (одержання біогазу), агрохімічна (одержання високоефективних органічних добрив), екологічна (знищення патогенної мікрофлори).

Окрім цього, надзвичайно важливим є отримання енергії з біомаси в аспекті глобальних екологічних проблем, зокрема, істотних кліматичних змін. Тобто, при вилученні і утилізації біогазу з сільськогосподарських, побутових і промислових відходів, або біогазу, що утворюється в природних анаеробних умовах полігонів ТВП, - ми маємо фактор суттєвого зменшення емісії метану в атмосферу. Цим і пояснюється позитивний кліматичний ефект використання енергії з біогазу.

У 1997 році був прийнятий Кіотський протокол, що закріплює за розвинутими країнами з перехідною економікою, включаючи Україну, кількісні зобов'язання щодо обмеження та зниження емісії парникових газів у атмосферу. Матеріали цього протоколу ратифіковано Україною в 2004 році і виконання його положень є обов'язковим для відвернення глобальних катастроф.

Слід зауважити і про економічні важелі цього процесу. Міжнародною спільнотою запропоновано й значною мірою розроблено механізми, які дають змогу істотно знизити вартість зменшення емісії парникових газів в масштабах кожної з країн світу і планети в цілому.

Багатоваріантність сировини, технологій і технічних засобів для одержання біогазу та його утилізації потребують додаткових наукових досліджень як у питанні мікробіологічних основ анаеробного зброджування, так і в оптимізації технологій, структури і параметрів технологічних систем його одержання та утилізації.

Очевидно, що виробництво біогазу на основі різних видів сировини є можливим у всіх без винятку регіонах України. Тобто, наша держава може посісти одне з чільних місць світової економіки у галузі біоенергетики. Проте досягти таких результатів можна лише за умови реалізації комплексної програми виробництва та використання біогазу. Важливе місце у цій програмі має зайняти підготовка фахівців, здатних проектувати, монтувати, налагоджувати і експлуатувати сучасні і перспективні системи виробництва та використання біогазу.

Першого квітня 2003 року Кабінет міністрів України прийняв Програму розвитку спиртової, лікеро-горілчаної та виноробної галузей на 2003—2007 роки. Вона передбачала розширення сфери використання етилового спирту у промисловості та в інших галузях економіки. Йдеться передусім про перепрофілювання надлишкових потужностей із виробництва етилового спирту, збільшення його експорту та продукції переробки.

Підприємства концерну «Укрспирт» працюють не на повну потужність. Характерно, що завантажені вони дуже нерівномірно. Скажімо, у Тернопільському об'єднанні спиртової та лікеро-горілчаної промисловості використання виробничих потужностей становить 81,4%, на Немирівському спиртовому заводі, що на Вінниччині, — 100%. У той же час є заводи, які не працюють вже по три роки.

Якби всі підприємства концерну «Укрспирт» працювали на повну потужність, вони могли б виробляти понад 60 млн. дал етилового спирту щорічно. Торік його загальне виробництво становило 26 млн. дал, із них 21 млн. дал спрямоване на внутрішнє споживання, а 5 млн. дал — на експорт. Попит на етиловий спирт як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках

обмежений. Ця обставина стримує зростання його виробництва в Україні. Який же вихід із ситуації? Її детальний фаховий аналіз засвідчив, що рішення існує, до того ж воно може бути досить ефективним, про що уряд говорив в окремій програмі. Вона передбачає розширення сфер використання етилового спирту, а також перепрофілювання спиртозаводів на випуск високооктанової кисневмісної добавки (ВКД).

Як стверджують фахівці, перепрофілювання спиртового виробництва на випуск ВКД не вимагає значних фінансових витрат, оскільки переоснащується фактично лише остання виробнича стадія. Якщо з'явиться фінансовий зиск та економічні стимули, то почне зростати попит на ВКД, і на його випуск можуть без особливих труднощів переключитись інші заводи. Вже нині з'явилися об'єктивні передумови початку жвавого розвитку цього сегменту виробництва. Вони мають як внутрішній характер, так і зовнішньоекономічний.

Як вважають у ряді міністерств, зокрема, транспорту, фінансів, екології та природних ресурсів, потрібно розробити проект окремого закону щодо державного регулювання ринку біопалив, а також використання ВКД.

Деякі європейські країни, не чекаючи призначеної дати, збираються достроково перейти на використання біопалива транспортними засобами. Скажімо, Німеччина планує зробити це найближчим часом (якщо не цього, то наступного року). Таким чином, як вважають експерти, це створює сприятливі умови для стабільного експорту ВКД до бензинів у країни Європи. Щоб не прогавити момент і максимально скористатися ситуацією, що складається на ринку біопалива, уряд дав доручення вже тепер напрацьовувати зв'язки з фірмами, потенційними покупцями ВКД українського виробництва. Зондується ґрунт перш за все в країнах Центральної та Східної Європи, є контакти із зацікавленими фірмами Польщі, Австрії, Чехії та з інших країн.

Екологічний аспект не менш важливий. Проблема чистоти довкілля останнім часом все більше турбує нас, особливо гостро у великих містах. Тому перехід на бензин з ВКД може мати позитивні наслідки для екології. Згідно з результатами розрахунків експертів, слід очікувати зменшення викидів:

монооксиду вуглецю на 11,5 відсотка і вуглеводнів на 16,9 відсотка. Коли автодвигун працює на паливі з ВКД з малими навантаженнями і при роботі на холостому ході (залежно від типу двигуна), викиди шкідливих речовин порівняно зі звичайними бензинами зменшуються особливо: оксидів азоту — на 25—40%, монооксиду вуглецю — майже у півтора рази, вуглеводнів — на 15—20%. З урахуванням результатів випробувань розроблено та затверджено галузевий стандарт України на сумішеві моторні бензини.

Технологічно виробництво бензину з високооктановою кисневмісною добавкою нескладне. Певний досвід випуску такого палива мають кілька вітчизняних НПЗ, серед них Одеський, «Галичина», Лисичанський. Відтоді, як Барський спиртозавод виробив першу партію ВКД, минуло п'ять років. За цей час в Україні повністю відпрацьовано технологію як виготовлення самої ВКД, так і виробництво бензинів з її вмістом. Для підвищення якості сумішевого бензину вітчизняними фахівцями розроблено стабілізуючу антидетонаційну добавку.

На думку фахівців, перелічені заходи програми сприятимуть розвитку спиртової, лікєро-горілчаної та виноробної галузей. Зменшиться енергозалежність України від зовнішніх джерел. За деякими підрахунками, використання ВКД дозволить зменшити внутрішні витрати бензинів приблизно на 6 відсотків.

У світі виробляється приблизно по чотири мільйона тонн біоетанолу і біодизеля. На виробництві біоетанолу переважно спеціалізується Бразилія та Америка, а біодизеля — в першу чергу Європа. Лідер у цій справі Німеччина, де на рік приблизно виробляється два мільйонні тонн. Це більше, ніж сьогодні Україна імпортує дизельного палива. Єврокомісія видала нову директиву, щодо виробництва біопалива. Його виробництво до 2020 становитиме 10% від усього обсягу виготовленого в ЄС пального. Це досить велика цифра. У 2010 р. вона дорівнювала 5,75%. У Європі приблизно 5% біодизеля спрямовується на використання у фермерських господарствах, 45% для вантажівок, решта — розбавляється і додається до дизельного пального.

Сьогодні в Україні склалися такі політичні та соціально-економічні умови, коли визнана пріоритетність розвитку її паливно-енергетичного комплексу (ПЕК). Ініціативу розробки енергетичної стратегії України взяла на себе Національна Академія наук України. Ця ініціатива була з глибоким розумінням сприйнята вищим керівництвом держави.

Нова стратегія покликана знайти шляхи найбільш раціонального виходу енергетики з кризи та її подальшого розвитку на період до 2030 року. Значне місце у ній відводиться розробці та освоєнню альтернативних відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії. Пошук альтернативних відновлюваних джерел енергії сьогодні є і проблемою світового значення, над вирішенням якої наполегливо працюють вчені всіх високорозвинених країн. В країнах з дефіцитом власних ресурсів нафти, зокрема в Україні, великі надії покладаються на виробництво різних видів біопалива.

## РОЗДІЛ 1

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ  
В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КМПЛЕКСІ**1.1. Біопаливні ресурси АПК**

Нестача викопних енергетичних ресурсів у розвинених країнах світу веде до розширення ефективного використання альтернативних джерел енергії. Поряд з використанням енергії сонця і вітру все більшого поширення набуває біонафта, різні тверді органічні матеріали та біогаз, які є продукцією сільськогосподарського виробництва. Перспективність нехарчового використання останньої впливає також з аналізу динаміки цін на енергетичну, промислову та сільськогосподарську види продукції.

Сільськогосподарське виробництво зі споживача енергії перетворюється на її виробника. Саме цим перспективним напрямком розвитку сільського господарства сьогодні займаються у провідних країнах світу. Технології використання біопалива і добрив рослинного походження набули особливого значення в Україні в зв'язку з ростом вартості енергоносіїв та зменшенням поголів'я худоби. Природним шляхом частково вирішується проблема викидів шкідливих газів, що виникає при внесенні в ґрунт попередньо непідготовлених органічних добрив. Технічне забезпечення цих технологій повинне відповідати сучасним вимогам диференційованого підходу до кожної ситуації і вимагає застосування спеціальної техніки.

Аналізуючи динаміку цін на енергетичні, промислові та сільськогосподарські види продукції в Україні [5], можна відзначити перспективність розробки проблеми нехарчового використання останньої. Диспаритет цін, що існує сьогодні в Україні, обумовлює доцільність розширення використання добрив і освоєння виробництва біопалив з біомаси (рисі). Розвиток цих двох напрямків робить сільськогосподарську продукцію аналогом енергетичної чи промислової (рис. 1.1).

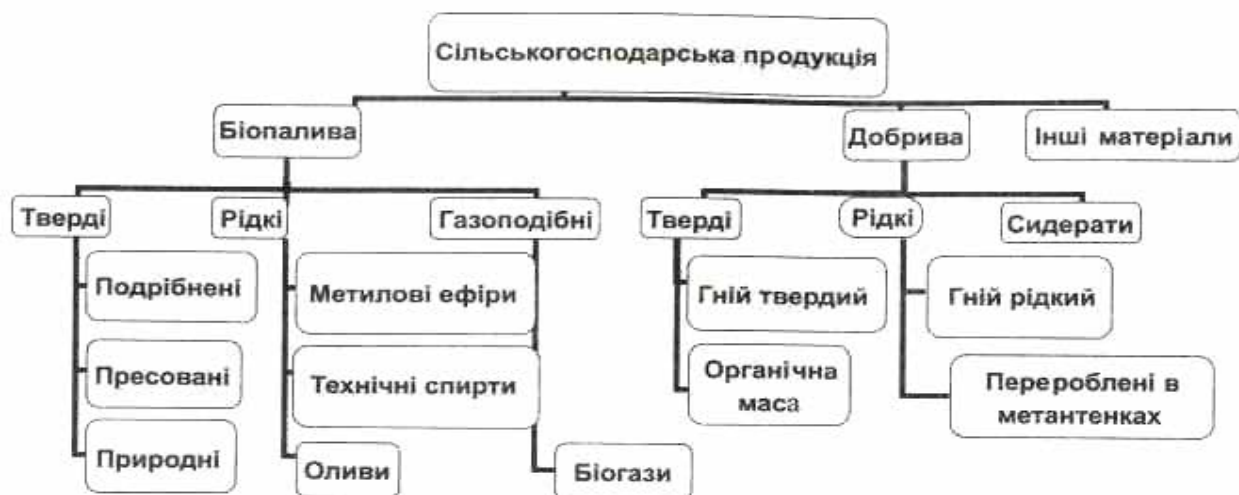


Рис.1.1. Структурна схема диференціації сільськогосподарської продукції для нехарчових потреб [5]

Біомаса — це маса матерії, що міститься у живих організмах або рослинах в момент вимірювання й оцінюється в одиницях маси (натуральна маса організмів), сухої маси (маса, що не містить води), в перерахунку на органічне вугілля або в одиницях енергії. Біомаса дозволяє визначити кількість органічної матерії, утвореної популяцією у даному просторі та часі, та являє собою міру біологічної продуктивності. Згідно з Директивою Європейського Союзу 2001/77/ЕС, біомаса — це біодеградовані фракції продуктів, відходів та залишків сільського господарства, лісового господарства та близьких до них галузей промисловості .

Отже, під біомасою розуміють те, з чого складаються рослини і тварини. Основа біомаси — органічні сполуки вуглецю, які в процесі з'єднання з киснем при спалюванні або в результаті природного метаболізму виділяють тепло. За допомогою хімічних або біохімічних процесів біомаса може бути трансформована в такі види палива, як газоподібний метан, рідкий метанол, тверде деревне вугілля. Початкова енергія системи "біомаса—кисень" виникає в процесі фотосинтезу під дією сонячного випромінювання, який є природним варіантом перетворення сонячної енергії.

При спалюванні біопалива його енергія розсіюється, але продукти спалювання можуть знову перетворюватися в біопаливо шляхом природних

екологічних або сільськогосподарських процесів (рис. 3). Таким чином, використання промислового біопалива, добре пов'язаного з природними екологічними циклами, може не давати забруднень і забезпечувати безперервний процес отримання енергії. Подібні системи називаються агропромисловими. У них найбільші успіхи досягнуті в галузях, що переробляють цукрову тростину і деревину.

У перерахунку на суху масу утворення біологічних матеріалів у біосфері проходить зі швидкістю біля  $250 \cdot 10^9$  т/рік. При цьому щорічно зв'язується приблизно  $100 \cdot 10^9$  т вуглецю. Енергія, що споживається при фотосинтезі, складає  $2 \cdot 10^9$  Дж/рік ( $0,7 \cdot 10^{14}$  Вт). Із загальної кількості біомаси тільки 0,5% вживається людством у вигляді їжі. Утворення біомаси змінюється залежно від місцевих умов, і на одиниці площі суші її утворюється у 2 рази більше, ніж на одиниці площі моря. Промислове використання енергії біомаси може бути вельми значним. Наприклад, за рахунок відходів виробництва тростинного цукру в країнах, що його виробляють, покривається до 40% потреб у паливі. Застосування біопалива у вигляді дров, гною і рослинних залишків має першочергове значення в домашньому господарстві приблизно 50% населення планети, забезпечуючи виробіток у цілому біля 300 ГВт енергії. Але, якщо покласти, що біомаса відновлюється, то необхідно забезпечити її виробництво у крайньому випадку на одному рівні зі споживанням. Для людства фатальною є та обставина, що на сьогодні витрати деревного палива значно випереджають його відтворення. Використання біомаси і біопалива з неї як акумуляторів енергії має фундаментальне значення. Чиста питома енергія, яку можна отримати при спалюванні, змінюється від 10 МДж/кг (сира деревина) до 40 (жири, нафтоподібні речовини) і 55 (метан) МДж/кг. Теплота згоряння сухої біомаси, яка є переважно вуглеводами, складає біля 20 МДж/кг.

Успішний розвиток систем, заснованих на переробці біомаси, можливий лише за умови дотримання певних принципів [5], а саме:

Кожний вид біомаси здатний дати широкий спектр різнотипних енергетичних продуктів. Наприклад, при виробництві тростинного цукру від

переробки відходів патоки і волокна можна отримати масу речовин, які мають комерційну цінність. Навіть просте спалювання волокна дозволяє отримати теплоту і перетворити її на електроенергію. Попіл можна повернути у ґрунт як добриво тощо.



Рис. 1.2. Система планетарного круговороту біомаси

Окремі види палива, що отримують з біомаси, потребують для свого виробництва більше енергії, ніж спроможні дати. Це стосується, наприклад, етилового спирту, якщо його одержувати із крохмалю рослин. Зрозуміло, що така технологія стала б обтяжливою для економіки, тим більше що існують способи отримання того ж спирту за більш дешевими цінами з відходів соломи, рослинного волокна, хвої і листя дерев.

Загальний економічний ефект для агропромислових галузей від впровадження переробки біомаси слід оцінювати комплексно. Межі рекомендацій потрібно точно уявляти. Враховувати, зокрема, зростання національного доходу від збільшення зайнятості в сільському господарстві, зменшення імпорту тощо і покращання економіки села за рахунок самостійного задоволення власних потреб без централізованої допомоги.

Виробництво біопалива виправдане в тому випадку, коли використовуються ритмічно поновлювані запаси дешевої сировини. Аналог - гідроенергетика, де виробіток енергії пропорційний величині потоків води, раніше сконцентрованих за рахунок природних процесів. Як приклади таких запасів можна назвати гній тваринницьких ферм, відходи деревини лісопилкок,

міські стоки, соломі злакових культур. При розробці стратегії ресурсозберігаючих технологій і в державному, і в місцевому масштабі дуже важливо якісно і кількісно оцінити можливі потоки відповідної сировини. Якщо попередня концентрація сировини відсутня, то її збирання може бути технічно складним і високовартісним.

Біопаливо — похідні органічних сполук, і завжди існує альтернатива використанню останніх як хімічної сировини або конструкційних матеріалів. Наприклад, з натуральної сировини можна виробляти пластмаси і фармакологічні препарати, композиційні матеріали на основі рослинних волокон можна використовувати в будівництві, соломі — як добрива, будівельні матеріали тощо.

Застосування біомаси як біопалива сприяє зменшенню техногенного навантаження на довкілля. За прогнозами фахівців у найближчому майбутньому передбачається покриття до 10% потреб у енергоресурсах за рахунок біомаси, одержуваної в сільському господарстві. Відбувається поступове заміщення викопних енергопродуктів відповідними аналогами рослинного походження. Сьогодні промислове виробництво біопалив в Україні стимулюють прийняті відповідні законодавчі акти [1, 2]. Цьому повинні відповідати нові технології і техніка, що одночасно покликані скорочувати шкідливі впливи антропогенного походження на навколишнє середовище.

Проблема використання біопалив та інших поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) в останні кілька років розглядається систематично. Вона обговорюється насамперед у контексті охорони навколишнього середовища і прагнення гарантувати умови сталого регіонального і місцевого розвитку (Кліматичний протокол Кіото, механізми Joint Implementation). Оскільки зростає залежність багатьох країн від імпорту палив, питання енергетичного забезпечення набуває все більшого значення [ ].

До цього часу частка поновлюваних джерел енергії у паливно-енергетичних балансах окремих країн сильно диференційована. У Європі найвищі показники мають Швеція, Австрія, Фінляндія і Португалія;

протилежна ситуація у Великобританії та Бельгії. Використання поновлюваних джерел енергії залежить від політики держави, а також від запровадження мотивацій, що сприяють використанню поновлюваної енергії.

З метою збільшення внеску біопалив та інших поновлюваних джерел енергії у загальні потреби в паливі та енергії в Європейському Союзі прийнято Білу книгу „Енергія майбутнього у поновлюваних джерелах енергії”. Вона остаточно підтверджує, що головною причиною інтенсивного використання поновлюваних джерел енергії в ЄС є зростання енергетичного споживання. Поновлювані джерела енергії становили до 10% в паливно-енергетичному балансі ЄС у 2020 році. Це видання на сьогодні є ключовим документом стратегічного характеру, який визначає напрямки довгострокової політики і ставить кількісну мету — збільшення частки поновлюваних джерел енергії з 6 до 10% за період 1998 - 2025 років. До 2010 року частка поновлюваних джерел у виробництві електричної енергії в Європейському Союзі зросла з 14,3 до 23,5%. Більш ніж у два рази зросте виробництво теплової енергії, а використання поновлюваних рідких палив зросте у 60 разів. Таке значне зростання використання поновлюваних джерел енергії можливе завдяки коштам, що вкладають у галузь ПДЕ в 1995 - 2010 роках. За прогнозами ЄС найбільше значення серед поновлюваних джерел енергії має біомаса. Максимально зросте її частка у виробництві рідких біопалив (40 - 60 разів), електричної (10 разів) та теплової (2 рази) енергії. За період 1995 - 2010 років інвестиції, пов'язані з енергетичним використанням біомаси, держав Європейського Союзу склали 84 млрд. євро.

Поновлювані джерела енергії можуть складати значну частку в енергетичному балансі окремих районів та областей України. Вони здатні сприяти збільшенню енергетичного забезпечення регіонів, особливо для покращання забезпечення енергією у місцевостях зі слабо розвиненою енергетичною інфраструктурою. Потенційно найбільше енергії з поновлюваних джерел енергії можна отримати в сільському і комунальному господарствах. Для регіонів, що страждають від безробіття, поновлювані джерела енергії

породжують нові можливості у сфері створення нових робочих місць. До того ж сільськогосподарські райони, які через радіоактивне чи інше забруднення ґрунтів непридатні для вирощування рослин на харчові потреби, можуть вирощувати енергетичні культури [1].

Розвиток альтернативної енергетики в сільській місцевості — це нормальна реакція світового співтовариства на зменшення викопних запасів палива, вихід, що має реальну перспективу. Водночас використання поновлюваних джерел енергії в сільській місцевості дозволяє істотно здешевити процес агропромислового виробництва. Розвиток використання поновлюваних джерел енергії стосується насамперед тих країн, що не мають власних викопних палив у достатній кількості. Дана сфера діяльності є важливою ланкою їх агропромислового виробництва. У 2025 році світове виробництво енергії за рахунок поновлюваних джерел складатиме близько 10% від загального. Для України розвиток альтернативної енергетики в сільській місцевості становить один з важливих державних пріоритетів [1].

## **1.2. Загальні тенденції розвитку біоенергетики АПК**

Аграрне виробництво із споживача традиційних видів енергії перетворюється у виробника їх зі значним потенціалом у майбутньому. У розвитку біоенергетики сільської місцевості у світі можна виділити три основні тенденції:

- скорочення загальних витрат енергії;
- збільшення використання відновлюваних джерел енергії;
- переважного застосування твердих видів біопалива.

Огляд науково-практичного досвіду свідчить, що рослинна біомаса виявляється одним з найбільш перспективних джерел одержання твердого біопалива в Україні. У той же час зрозуміло, що окремі види біомаси не можуть бути прийнятними для використання в сучасних умовах. Це стосується насамперед стебел кукурудзи і соняшника, збирання яких на енергетичні цілі у

2,8 - 3,2 рази дорожче, ніж соломи зернових колосових культур і ріпаку. Тому подібну біомасу доцільно подрібнювати і залишати на полі як добриво.

При визначенні перспектив розвитку поновлюваних джерел енергії в Україні необхідно підкреслити високий потенціал рідкого біопалива як продукту переробки сільськогосподарської продукції. Європа демонструє приклад стрімкого розвитку цього напрямку. Застосування біодизеля в агропромисловому виробництві та сільській місцевості дозволяє в комплексі вирішувати проблеми забезпечення енергоресурсами, дефіцитними білковими шротами, калійно-фосфорними добривами й іншими продуктами. Важливе застосування знаходить біодизель у міському господарстві — на транспорті [1].

Раніше основною сировиною для біогазового виробництва в сільському господарстві вважалися органічні добрива. Їх енергетичний потенціал можна оцінити для України в 1,6 млн. т умовного палива [1]. Однак сьогодні світовий досвід відкриває нові можливості й ресурси. Розвиток технологій і технічних засобів для виробництва біогазу спрямовано на комплексне вирішення проблем альтернативного енергозабезпечення тваринницьких ферм, виготовлення високоякісних органічних добрив для кормовиробництва й утилізацію органічних відходів при зниженні рівня емісії шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Отже, в Україні існує значний потенціал для розвитку технологій використання поновлюваних джерел енергії в агропромисловому виробництві та сільській місцевості.

### **1.3. Ресурси біомаси для енергетичних потреб**

Походження біомаси може бути досить різноманітним, починаючи з польової продукції рослин, потім відходів сільського господарства, харчової промисловості, домашнього господарства і закінчуючи відходами комунального господарства.

Джерелом біомаси можуть бути й відходи деревини в лісовому

господарстві, деревообробної та целюлозно-паперової промисловості. Виробництво біомаси задовольняється також спеціальними плантаціями дерев, що швидко ростуть (верба, платан, тополя, евкالیпт), цукрової тростини, ріпаку, соняшнику, певними сортами трав. Важливим джерелом біомаси є відходи тваринництва (гноївка, гній, біогаз), а також відходи комунального господарства (стічні осади, відходи домашнього господарства, макулатура).

Значна частина цих матеріалів може служити біопаливом, тобто джерелом енергії, що утворюється з використаних фракцій продуктів, відходів та залишків сільського і лісового господарства та близьких до них галузей промисловості. Біомасу можна використовувати в енергетичних цілях в процесі безпосереднього спалювання твердого біопалива (деревини, соломи, стічних відкладень), а також у переробленому вигляді як рідкі (ефіри ріпакової олії, спирти) або газоподібні (сільськогосподарський біогаз, біогаз з очисних стоків, гази зі звалищ сміття) палива. Конверсія біомаси у носії енергії може відбуватися фізичними, хімічними і біохімічними методами.

Щорічно в Україні споживається близько 200 мільйонів тонн умовного палива, при цьому видобуток з природних джерел країни становить лише 80 млн. т []. Можливості виробництва і використання біомаси в основному визначаються рослинництвом, основу якого в Україні складає вирощування зернових. Солома є основним джерелом біомаси. Якщо прийняти, що для енергетичної мети можна використовувати біля 20% загальної кількості соломи, то на цій основі може бути заміщено певну частку загального споживання первинних енергоносіїв в Україні.

Енергетична біосировина умовно поділяється на первинну та вторинну. В Україні вільні ресурси первинної та вторинної енергетичної біосировини складають 9,33 мільйона тонн умовного палива [].

З первинної біосировини на енергетичні потреби в Україні щорічно можна використовувати соломи та стебел основних сільськогосподарських культур у кількості до 20,0 млн.т [], значним потенціалом відзначаються нові енергетичні культури, які знаходять все ширше застосування в Європі.

При визначенні енергетичного потенціалу вторинної біосировини в Україні враховано, що поголів'я великої рогатої худоби (ВРХ) складає 10,6 млн. голів, свиней — близько 10,0 млн. голів і птиці — 126,0 млн. голів [], оцінено сезонність та технологічні особливості утримання тварин і птиці, доцільність застосування біогазових установок в типових господарських структурах.

Варто зауважити, що промислове використання первинної та вторинної біосировини в Україні для енергетичних потреб проходить своє становлення. За оцінками фахівців [], в 1999 році енергетичне використання біомаси складало 0,6% загального енергозабезпечення. Водночас в галузі поновлюваної енергетики в Україні за останні 5 років виконано кілька пілотних проектів, у тому числі з використанням новітніх технологій та обладнання провідних фірм Європи.

Біомасу як первинну енергетичну сировину використовують у незмінній формі для прямого спалювання або ж попередньо піддають хімічній переробці. Властивості первинної енергетичної сировини, що потребує хімічної підготовки, наведено у розділах, присвячених хімічним та біохімічним методам отримання енергії з біомаси. Зокрема, це стосується насіння олійних рослин, що переробляється на етерифіковані олії; картоплі та зерна, які є сировиною для виробництва етилового спирту як добавки у бензини тощо.

Чинники, котрі впливають на якість біопалива на основі біомаси, і їх вплив на зовнішнє середовище обумовлені трьома фазами, що проходить біомаса енергетичного призначення:

- фаза I — вирощування;
- фаза II — збирання й переробка;
- фаза III — енергетичне використання.

До впливів, пов'язаних з фазою I, можна віднести вибір виду й сорту культурної рослини, її стан за стиглістю, ґрунтово-кліматичні умови, технологію і технічні засоби вирощування, наявність добрив, засобів для захисту рослин і стан атмосферного повітря (наприклад його забруднення). У фазі II впливи визначаються характером застосовуваних індивідуальних

операцій попередньої підготовки біомаси (дерев'яна тріска, солом'яна січка, тюки, гранули й брикети), що в остаточному підсумку обумовлюють фізико-хімічні характеристики біопалив. III фаза, власне, являє собою комплексну взаємодію між властивостями біопалива й пристроєм для спалювання.

**Солома.** Використання соломи культур у порівнянні з іншими видами рослинної біомаси для енергетичних потреб сьогодні є найбільш перспективним. Сільське господарство України щорічно виробляє приблизно 6 - 8 млн. тонн соломи, яку можна використовувати в енергетичних цілях. Іншу частину соломи заорюють як добриво при обробітку ґрунту для його відновлення і захисту від ерозії, а також застосовують солому як грубий корм та підстилку для сільськогосподарських тварин.

Енергетична цінність соломи залежить перш за все від її вологості, а також від хімічного складу, пов'язаного як із типом соломи (зернові, ріпак, тритікале), так і з умовами вегетації рослин. Солома містить велику кількість хлору та азоту, тобто елементів, які в процесі спалювання спричиняють підвищену емісію оксидів азоту  $\text{NO}_x$ . Кремній та калій, котрі містяться у соломі, сприяють тому, що нагар запікається на колосниках топок котлів, що ускладнює експлуатацію установок.

Вологість соломи, призначеної для енергетичних цілей, має бути в межах 10 - 20%. Її енергетична цінність становить 14 - 15 ГДж/т. Перебування соломи на полі після комбайнового збирання приводить не лише до зниження її вологості, але й сприяє вимиванню хлору та калію [1].

Важливою характеристикою біомаси для енергетичного використання є собівартість її заготівлі. Аналіз показників ефективності збирання незернової частини врожаю різних сільськогосподарських культур в умовах України свідчить, що найменші капітальні вкладення на тонну незернової частини врожаю мають місце при збиранні соломи озимої пшениці з пресуванням у рулони (18,71 грн.). На збиранні соломи ріпаку з подрібненням і пресуванням у великогабаритні тюки капітальні вкладення дорівнюють 24,26 грн./т.

Приведені витрати на тонну незернової частини врожаю при збиранні

соломи ріпаку складають 15,35 грн./т. За витратами робочого часу на тонну соломи найбільше значення виявлено при збиранні її у розсипному вигляді для озимої пшениці (1,43 год/т), а найменше - при збиранні соломи ріпаку з подрібненням і пересуванням у великогабаритні тюки (0,36 год/т). За витратами палива найбільш енергомісткою є технологія збирання соломи озимої пшениці у розсипному вигляді (5,38 л/т). Найменш енергоємною є технологія збирання соломи озимої пшениці з пресуванням у малогабаритні тюки (1,43 л/т). Для соломи ріпаку це значення дорівнює 2,12 л/т.

**Деревина.** Деревина як енергетична сировина охоплює: відходи деревини з лісового виробництва та деревообробної промисловості, обрізки гілок і крон дерев, що швидко ростуть, та з багаторічних дерев, які вирощуються у так званих енергетичних лісах SRC або SRF (верба — ротація 3-5 років, тополя — ротація 6-15 років). Деревина є хімічно неоднорідною сировиною, складається із целюлози, геміцелюлози та лігніну.

Деревина використовується у різних формах: як колоди або поліна, гілки, стружка та тріски, тирса і навіть у вигляді пилу. Тирса та пил деревини, як правило, використовуються у формі брикетів. Так само, як і для соломи, для різних видів деревини найважливішим термофізичним параметром є енергетична цінність, яка залежить від хімічного складу (деревина м'яких та твердих видів) та від вологості. Енергетична цінність деревини вологістю 50 - 60% складає 6 - 8 ГДж/т, а після висушування до повітряно-сухого стану (вологість 10 - 20%) зростає у два рази і становить 14 - 16 ГДж/т.

Придатність дерева для спалювання головним чином залежить від його виду, вологості, а також вмісту мінеральних та хімічних складових. З екологічної точки зору два останні елементи є небезпечними, оскільки під час спалювання вони можуть бути джерелом емісії у навколишнє середовище сильно токсичних речовин або важких металів. Тому в найближчому майбутньому відходи від переробки дерева будуть використовуватись як енергетична сировина насамперед у місцях її виникнення та значної концентрації (наприклад целюлозні підприємства, виробництво

деревостружкових плит, фанери) у вигляді брикетів та гранул.

Вирощування дерев та кущів, що швидко ростуть, визначається поняттям енергетичних лісів. Воно почалося зі спроби введення в дію деградованих, еродованих ґрунтів і ґрунтів, виведених із сільськогосподарського користування. Було звернуто увагу на можливість застосування біомаси із цих культур як енергетичної сировини. У такому середовищі лише невелика кількість рослин знаходить умови, придатні для вегетації та швидкого приросту біомаси. У європейській практиці часто використовують кущову вербу та тополю. До переваг цих двох видів деревини відносять: невелике навантаження на навколишнє середовище в процесі їх вирощування, отримання біомаси в зимовий період та відпрацьована на промисловому рівні технологія виробництва енергії, особливо теплоти. Обидва види деревини характеризуються в декілька разів більшим приростом маси за одиницю часу в порівнянні з приростом маси природних лісів. Слід зауважити, що у зв'язку з високою вартістю остаточне вирішення питання щодо отримання енергетичної сировини з промислових лісів залишається відкритим. Ці технології й досі знаходяться у фазі експериментів з метою їх вдосконалення.

Під час заготівлі при вирубці вміст вологи в масі дерева діаметром близько 80 мм складає 45 - 55%, а об'ємна маса дерева, подрібненого на шматочки довжиною менше 50 мм, складає близько  $160 \text{ кг/м}^3$ . Після висушування до вологості 9 - 12% об'ємна маса складає близько  $100 \text{ кг/м}^3$ , а енергетична цінність її близько 17,5 МДж/кг. На плантаціях при вирубці через 6 - 8 років дерева досягають висоти 18 - 20 м, а для їх збору використовують склад машин, що застосовують у природних лісах. Теплота при спалюванні сухої маси тополі становить 20 МДж/кг. Ці дані дозволяють оцінити теоретично величину енергії брутто, що дорівнює 260 ГДж/га на рік.

Порівняно високі вимоги до оточуючого середовища роблять вирощування верби в умовах України конкурентним у відношенні до ріпаку та ячменю. Верба вважається рослиною, придатною для очищення ґрунтів від важких металів, радіонуклідів та токсичних сполук через їх переробку у власну

біомасу.

Найбільші врожаї верби на 4 - 5-й рік вирощування досягають 16 - 20 т сухої маси з га при енергетичній цінності близько 12 МДж/кг маси вологістю 30 - 35% (теплота згоряння близько 20 МДж/кг сухої маси). Час вирощування верби на плантації — 20 - 25 років, з оновленням плантації у 3 - 5-річному циклі, при середніх врожаєх 10 т сухої маси на га. За даними [ ] середній врожай верби за декілька років на виробничих плантаціях Данії - 7,5 т сухої маси/га .

Враховуючи особливості вирощування, вербу можна вважати майбутнім джерелом біомаси для переробки у газ з наступним виробництвом електроенергії. Вона також є перспективною сировиною для виробництва біометанолу як водневого палива для паливних елементів.

**Енергетичні рослини.** Енергетичними рослинами вважаються: однорічні рослини з високим вмістом цукру та крохмалю (зернові, картопля, буряки, кукурудза на зерно), що використовуються для виробництва етанолу, олійні (ріпак, соняшник, олійний льон), з яких виробляють рослинну олію, а також багаторічні трави — міскант великий (тростина) та деякі сорти трав (румекс тощо). Особливий інтерес викликає вирощування місканту, невибагливого до ґрунту, вологи та температури, врожайність якого сягає 30 - 35 т с.м./га. Ці рослини, окрім енергетичного застосування, використовуються у паперовій промисловості та похідних виробках (ізоляція).

Вирощування та збирання зернових і просапних культур, призначених для переробки в етанол, не відрізняються від їх виробництва для продовольчих потреб. Різниця полягає у тому, що сорти, котрі використовуються для енергетичних цілей, можуть бути трансгенними різновидами, застосування яких для виробництва харчових олій є обмеженим правовими положеннями. В умовах України для виробництва біопалива придатними рослинами є ріпак, рижій, соняшник та олійний льон.

У перший рік вирощування з 1 га отримують до 8 т сухої маси, лише на третій рік вирощування, звичайно у вересні - жовтні, міскант дає найбільш високі врожаї, що досягають іноді навіть 25 - 30 т см. з га, проте у середньому

одержують 15 - 20 т см. Цей рівень зберігається до 9 - 10-го року ведення плантації, пізніше систематично зменшується. Теплота згоряння коливається від 17 до 19,5 МДж/кгс.м., а потенційна кількість енергії бруто становить близько 180 ГДж/га на рік [].

Він служить головним чином твердим паливом для печей. Міскант звичайно використовується як добавка до вугілля у обсязі від 20 до 50% загальної кількості або спалюється разом із соломою зернових. Що стосується властивостей спалювання, то воно близьке до спалювання соломи та гілок верби. Існують дані про можливості перетворення місканту на газоподібне та рідке паливо (біометанол та біоетанол).

Крім місканту, потенційними енергетичними рослинами вважаються:

- Топінамбур — стійкий до сильних морозів, але потребує родючих ґрунтів. 70% маси складає наземна частина, 30% — бульби несиметричної форми.

- Мальва пенсільванська — багаторічна рослина, заввишки 3 - 4 м, вирощується до 20 років, ґрунти легкі (непридатні для обробки) та середні, висока потреба у воді, розвиває сильну кореневу систему, врожаї — до 12 т с.м./га, теплота згоряння 12 - 14 МДж/кг

- Гречишник гострокінцевий та горець сахалінський. Багаторічні рослини, що мають високу стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища, але з досить високими вимогами до ґрунту (можливе вирощування при низькому рН та високій концентрації промислових забруднень повітря); заввишки 3 - 4 м, врожаї до 20 т с.м./га.

- Румекс — продуктивний багаторічний міжвидовий гібрид щавлю тянь-шанського (селекції Центрального ботанічного саду ім. М.М.Гришка НАН України). У виробничих умовах врожайність листо-стеблової маси становить 80 - 90 т/га [].

Проблемою нерозповсюдження нових культур в умовах України є відсутність визначеної агротехніки та адаптованих технологій виробництва з них біопалива.

При вирощуванні енергетичних рослин вимагають подальших досліджень:

- використання енергетичних плантацій для очищення стічних вод;
- застосування цих плантацій як захисних лісосмуг для запобігання водної і вітрової ерозії ґрунтів, в системах контурно-меліоративного землеробства на схилових землях тощо;
- з'ясування екологічної ефективності у зв'язку з поглинанням більшої кількості CO<sub>2</sub> з повітря, ніж викидається в навколишнє середовище під час спалювання біомаси цих енергетичних рослин;
- відбір та клонування енергетичних рослин, які менш вибагливі до якості ґрунтів та вологозабезпечення;
- використання частини даної деревини для інших потреб, зокрема матеріалу верби для побудови акустичних екранів уздовж доріг, особливо автострад, тощо.

**Вторинна енергетична сировина.** Вторинна енергетична сировина включає в себе біомасу рослинного або тваринного походження, яка утворилася в результаті “попередньої переробки” рослинних продуктів у процесі життєдіяльності тварин (гноївка, гній), органічні продукти (жом, осади, жири тощо), котрі утворюються при переробці сировини сільськогосподарського походження, та осади з господарських та комунальних стоків. Слід зауважити, що господарські та комунальні стоки щодо енергетичної придатності характеризуються великою диференціацією якісних характеристик. За розрахунками, вільні ресурси вторинної енергетичної біосировини сільськогосподарського походження складають 1,6 мільйона тонн умовного палива.

**Відходи переробної промисловості.** При переробці продуктів харчування на переробних підприємствах виділяються побічні продукти, які є придатними для подальшого зброджування.

Потенційними джерелами енергетичної органічної сировини є всілякого роду побічні продукти та відходи, що виникають при переробці рослинної та

тваринної біомаси. Це різного роду жоми із фруктів, які утворюються при виробництві соків, качани кукурудзи, тваринні жири з бойні та переробних підприємств, а також відходи, утворені при підготовці овочів та фруктів для заморожування або сушіння. Усі ці та інші побічні продукти як енергетична сировина мають лише місцеве значення і в більшості випадків потребують індивідуальних технологій та техніки для їх використання. У районах вирощування насінневої кукурудзи розповсюджене використання качанів початків кукурудзи як твердого палива у спеціальних печах. Енергетична цінність качанів при вологості не вище 20% складає 13 МДж/кг. Відходи жирів є цінною добавкою в процесі біоконверсії гноївки у біогаз, а меляса є сировиною для виробництва біоетанолу та бутанолу. Слід сподіватись, що з розвитком технологій компостування енергетичне використання побічних продуктів та відходів втратить енергетичне значення. У США для виробництва ефірів особливо придатною сировиною визнаються жирові тваринні відходи, які поряд із соєвою олією у майбутньому становитимуть до 40% сировинної бази

*Пивоварна промисловість.* В процесі пивоваріння залишаються різні побічні продукти, серед яких пшенична барда становить 75%. При виробництві кожного гектолітра пива одержують приблизно 19,2 кг. пшеничної барди, 2,4 кг. дріжджів. Максимально використовується пшенична барда, так як вона в кількісному відношенні являє собою найбільшу фракцію. Проте придатними для використання в біогазових установках є і інші фракції.

При виробництві алкоголю використовується зерно, картопля, фрукти.

*При виробництві алкоголю* фактично придатні для використання в харчовій галузі лише окремі фракції (пивні дріжджі) та корм для тварин (пшенична барда). В таблиці 1.1 показано основні характеристики пшеничної барди. Зберігання і використання цих продуктів особливих проблем не створюють. Але при довготривалому зберіганні наступають значні втрати енергії і існує загроза покриття пліснявою. Ось чому в аналогічному випадку рекомендоване силосування.

Таблиця 1.1.

## Властивості пшеничної барди

Субстрат	СР (%)	оСР (%СР)	N	NH <sub>4</sub> (%СР)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Вихід біогазу		Вміст метану %
						(м <sup>3</sup> /тСМ)	(м <sup>3</sup> /тоСР)	
	20-25	70-80	4-5	n.a.	1,5	105-130	580-750	59-60

В таблиці 1.2 наведені показники спиртових бард, вміст біогазу в них та вміст метану. В бардах, як правило, концентрація шкідливих речовин чи важких металів незначна.

Таблиця 1.2.

## Речовинні властивості спиртових бард

Субстрат	СР (%)	оСР (% СР)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Вихід біогазу		Вміст метану %
			(% СР)		(м <sup>3</sup> /тСМ)	(м <sup>3</sup> /тоСР)	
Барда із зерна	6-8	83-88	6-10	3,6-6	30-50	430-700	58-65
Барда із картоплі	6-7	85-95	5-13	0,9	36-42	400-700	58-65
Барда із фруктів	2-3	ca. 95	n.a.	0,73	10-20	300-650	58-65

В процесі виробництва крохмалю з картоплі утворюється як побічний продукт, пульпа (картопляна суміш). Вона складається, в основному, з лушпиння та залишків картоплі

На кожну тонну переробленої картоплі припадає приблизно 240 кг. пульпи, 760 л. картопляного соку і 400-600 кг. так званої робочої води. В даний час частина пульпи використовується фермерами як корм для худоби, а найбільша частина робочої води - як добриво для підживлення полів. Так як для згодовування використовується лише мала частина маси пульпи, а внесення відпрацьованої води може призвести до передозування підживлюваних площ і забруднення солями ґрунтових вод, необхідно шукати альтернативні можливості їх використання. Тобто ці продукти успішно можуть бути

використані в біогазових установках. Властивості побічних продуктів виробництва крохмалю наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

Речовинні властивості побічних продуктів в процесі виробництва крохмалю

Субстрат	СР (%)	оСР (% СР)	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Вихід біогазу		Вміст метану %
						(м <sup>3</sup> /т СМ)	(м <sup>3</sup> /тоСР)	
Свіжа пульпа	са. 13	са. 90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
Фруктова вода	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
Робоча вода	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60

В таблиці 1.4 подані концентрації мікроелементів в субстраті. Слід звернути увагу на відносно високий вміст калію і хлориду, які серед певних обставин можуть привести до сповільнення та гальмування процесу бродіння.

Особливих вимог щодо умов зберігання не існує, але слід мати на увазі, що відпрацьована вода після зберігання в запасних ємностях для забезпечення процесу бродіння повинна бути знову підігріта, що потребує додаткової енергії.

Таблиця 1.4.

Вміст мінеральних речовин і мікроелементів

Субстрат	K <sub>2</sub> O	Ca	Cl (мг/кг СМ)	Na	Mg	NO <sub>3</sub> -N
Картопляна пульпа	1814	19,3	4,8	262,5	154,1	0,56
Фруктова вода	5557,8	34,2	1320	39,9	222,1	85,93
Робоча вода	2196	18	235,5	60,1	66,1	14,48

При переробці цукрових бур'яків на цукор випадають різні побічні продукти, які, в основному, використовуються як корм для худоби. Це насамперед так званий мокрий жом, який утворюється після подрібнення бур'яків і кінцевої екстракції цукру, а також меляса, яка одержується шляхом відділення кристалів цукру від згущеного цукрового сиропу. Частина жому,

шляхом змішування з мелясою і видаленням води, переробляється подальше в мелясну стружку і використовується як корм для тварин.

Меляса використовується, як корм для тварин, а також і як сировина на дріжджових чи горілчаних заводах. Жом і меляса на основі залишкового вмісту цукру є добрим субстратом для виробництва біогазу. З таблиці 1.5. видно, що побічні продукти цукрової промисловості є придатними як субстрат для біогазових установок. За причиною високого вмісту сухої маси субстрати не надаються для монобродіння. Лише у поєднанні з, наприклад, рідким гноєм, цей комбінований субстрат має високу якість. Для продовження терміну придатності пресованого жому його силосують, мелясу зберігають у відповідних ємностях.

Таблиця 1.5.

## Речовинні властивості пресованого жому і меляси

Субстрат	СР (%)	оСР (% СР)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Вихід біогазу		Вміст метану %
			(% СР)		(м <sup>3</sup> /тСМ)	(м <sup>3</sup> /тоСР)	
Жом	22-26	са. 95	п.а.	п.а.	60-75	250-350	70-75
Меляса	80-90	85-90	1,5	0,3	290-340	360-490	70-75

При переробці винограду і фруктів у вино та фруктовий сік залишаються ,як побічний продукт, так звані вичавки . Із-за високого вмісту цукру вони використовуються як сировина в горілчаній промисловості, як корм для тварин, також як основна речовина для виготовлення пектину. При виготовленні кожного гектолітра вина чи фруктового соку залишається приблизно 25 кг вичавки, на кожен гектолітр фруктового нектару приблизно 10 кг вичавок. Характеристики продуктів переробки фруктів наведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6.

## Речовинні властивості вичавок

Субстрат	СР (%)	оСР (% СР)	N	P	Вихід біогазу		Вміст метану %
			(% СР)		(м <sup>3</sup> /тСМ)	(м <sup>3</sup> /тоСР)	
Вичавка з яблук	25-45	85-90	1,1	0,3	145-150	660-680	65-70
Вичавка з фруктів	25-45	90-95	1-1,2	0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Вичавка з винограду	40-50	80-90	1,5-3	0,8-1,7	250-270	640-690	65-70

При довго тривалому зберіганні можливе також силосування субстратів.

**Органічні рештки комунальних та приватних господарств.** Планами розвитку комунального господарства передбачається організація глибокої переробки твердих побутових відходів з вилученням вторинних сировинних матеріальних ресурсів. При цьому можлива організація виробництва паливних брикетів із сортованих відходів в обсязі до 4,1 млн. т., а їх енергетична цінність еквівалентна 1,88 млн. т у. п. на рік. Брикети можуть використовуватися лише в спеціально запроєктованих енергетичних установках, цементних печах, сміттєспалювальних установках.

Енергетичні об'єкти значно дорожчі звичайних сміттєспалювальних установок, тому в даний час органи самоврядування областей не розглядають можливості створення великих сміттєспалювальних заводів з виробництвом товарної теплової та електричної енергії. Досвід ряду країн свідчить, що паливні брикети з твердих побутових відходів можуть використовуватися в котлах теплових електричних станцій для спалювання разом з вугіллям. При використанні 4,1 млн. т/рік паливних брикетів із сортованих твердих побутових відходів, на теплових електричних станціях можна було б виробити 5295 млн. кВт·год. електроенергії. Можна сказати, що таке паливо може забезпечити експлуатацію в базовому режимі майже 800 тис. кВт електрогенеруючих потужностей існуючих ТЕС. При такому підході капітальні вкладення найменші в порівнянні з іншими варіантами енергетичного використання твердих побутових відходів.

Оскільки на найближчу перспективу основним напрямом залишиться захоронення значної частки твердих побутових відходів, то видобування біогазу зі звалищ є досить перспективним і може становити 2308 млн. м<sup>3</sup> [30]. Біогаз, вилучений зі звалищ, може використовуватися для виробництва теплової та електричної енергії, необхідних для експлуатації звалищ, з частковою передачею електроенергії до енергетичної системи. Сумарна потужність електрогенеруючих установок з газомоторним приводом може

становити до 600 тис кВт, з річним виробництвом електроенергії до 4846 млн. кВт·год. Як альтернатива може розглядатися транспортування біогазу до розташованих поблизу споживачів – енергетичних чи промислових підприємств або його очистка та подача в газопроводи природного газу.

У недавньому минулому виробництво біогазу на станціях очистки комунальних стоків було досить поширене в Україні. На станціях очистки комунальних стоків встановлені метантенки сумарним об'ємом 162000 м<sup>3</sup>. Останні роки нові метантенки не вводилися в експлуатацію, а кількість працюючих значно зменшилась. Якщо в 1998 р. у 7 містах України було 30 діючих метантенків з річним виробництвом біогазу 29 млн. м<sup>3</sup>, то в 2000 р. кількість працюючих метантенків скоротилась на третину. Ще гірша ситуація з використанням одержуваного біогазу: сьогодні лише на комунальних очисних спорудах м. Києва біогаз використовується як паливо в котельні. Актуальним завданням є відновлення виробництва біогазу з осаду стічних вод міст та організація його використання.

Технічно доступне виробництво біогазу при переробці осаду стічних вод міст становить 334 млн. м<sup>3</sup>/рік []. При використанні такої кількості біогазу можливо виробити до 700 млн. кВт·год. електроенергії, а встановлена потужність електрогенеруючих установок з газомоторним приводом може становити до 90 тис кВт. За статистичними даними, на очистку 1000 м<sup>3</sup> стоків споживається в середньому 199,3 кВт·год. електроенергії, а для очистки всіх комунально-побутових стоків міст в обсязі 3235 млн. м<sup>3</sup>/рік споживається 644 млн. кВт·год. Таким чином, по Україні, використання біогазу, що виробляється з осаду стічних вод, дозволить повністю забезпечити електроенергією технологічний процес очистки комунально-побутових стоків. Оскільки споживання електроенергії на очистку стоків на очисних спорудах ряду областей значно менше середнього, тому є можливість надлишок електроенергії віддавати в енергосистему.

Органічні рештки з комунальних та приватних господарств – це відходи біопродуктів з комунальних господарств, рештки їжі і перележані продукти

харчування, передусім з великих громадських кухонь, відходи з ринку, залишки від забою тварин на бойнях, а також залишки, які випадають при відділенні жирів.

Щоб запобігти поширенню хвороб потрібно суворо виконувати особливі гігієнічні вимоги. Вони закріплені в постанові “Про біовідходи та протоколом Європейської комісії №1774/2002 ” і виконавчими постановами. Склад окремих субстратів частково дуже сильно коливається, так як в окремих класах речовин наявні різні фракції. Характеристики речовинних властивостей залишків та відходів забійних цехів наведені в таблиці 1.7 і 1.8.

Таблиця 1.7.

## Речовинні властивості органічних решток

Субстрат	СР (%)	оСР (% СР)	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Вихід біогазу		Вміст метану %
						(м <sup>3</sup> /тСМ)	(м <sup>3</sup> /тоСР)	
Біовідходи	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,-0,8	80-120	150-600	58-65
Рештки і інші перележані продукти	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
Відходи ринку	15-20	80-90	3-5	n.a.	0,8	45-110	400-600	60-65
жировідділення	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	700	60-72

Таблиця 1.8.

## Речовинні властивості решток від забою тварин

Субстрат	СР (%)	оСР (% СР)	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Вихід біогазу		Вміст метану %
						(м <sup>3</sup> /тСМ)	(м <sup>3</sup> /тоСР)	
Вміст шлунку свині	12-15	75-86	2,5-2,7	n.a.	1,05	20-60	250-450	60-70
Вміст шлунку ВРХ	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62

В залежності від чистоти субстратів такі речовини як пластмаса, кістки, резинові стрічки та інше перед завантаженням в біогазову установку необхідно

вилучити, щоб запобігти пошкодженням установки. Ці біовідходи вміщують багато таких небажаних речовин. Тут існують, інші ніж в розглянутих до цього субстратах, вимоги до гігієни заражень.

Це стосується насамперед відходів від забоїв тварин, де існує особливий ризик. На основі діючої з травня 2003 р. постанови Європейського союзу за №1774 всі речовини поділяються за можливим ступенем зараження на три категорії. Обробіток цих субстратів без попередньої гігієнізації недопустимий. Для належного розкладу субстрату потрібно спочатку ретельно подрібнити і гомогенізувати. Органічні рештки являються добрими субстратами з відносно великим виходом газу.

**Гноївка та гній.** Потенційні кількості біогазу, який можна виробити в Україні з вторинної сировини після корів, ВРХ на відгодівлі, свиней та птиці, співвідносяться в пропорції 9,5 : 10 : 1,5 : 1 відповідно [].

Труднощі зі збиранням соломи та використанням її як підстилки для тварин викликали значний ріст об'єму гноївки, яка на сьогодні є основним продуктом тваринництва. Вона важко утилізується у вигляді гною з одночасним дотриманням правил охорони навколишнього середовища. Гноївка є сумішшю фекалій та води у природному співвідношенні, характерному для даного виду та групи тварин. Вода, що використовується для підтримання гігієни у виробничих приміщеннях, є додатковим компонентом відходів ферм. Кількість води не повинна перевищувати 20% кількості тваринних відходів або близько 10 дм<sup>3</sup> на одиницю ВРХ за добу. Вміст сухої маси у такій гноївці не нижче 8-10%. Одна голова ВРХ на добу виробляє 50 - 55 кг гноївки з питомою масою близько 1 кг/дм<sup>3</sup>, що відповідає загальному об'єму 20 м<sup>3</sup> на рік. На практиці вміст компонентів у гноївці залежить від ступеня її розведення водою. Тому розрізняють густу (вміст сухої маси >6%) і розбавлену (3 - 6% с.м.) гноївку. Гноївка повинна зберігатися лише в герметичних резервуарах з ємністю, достатньою для того, щоб вмістити її кількість, вироблену за 4 місяці. Це означає, що на одну голову ВРХ ємність резервуара для густої гноївки повинна становити не менше 10 м<sup>3</sup>. У гноївці, яка зберігається в резервуарах,

відбувається осідання часток гною, ступінь якого тим більше, чим більше вона розведена, причому швидкість осідання є вищою для гноївки свиней.

Різниця між осіданням гноївки великої рогатої худоби та свиней є незначною для густої гноївки. На поверхні розбавленої маси гноївки великої рогатої худоби утворюється густий пласт плівки (в основному залишки корму), який може сягати товщини 1,2 м, і цей пласт перешкоджає розвантаженню резервуара та гомогенізації гноївки. У свинній гноївці пласт утворюється на дні зі значною часткою мінеральних частинок.

Гноївка як енергетична сировина використовується для виробництва біогазу, а при забезпеченні певних умов може застосовуватись як ефективне добриво. Продуктивність гноївки як енергетичної сировини залежить від концентрації сухої маси та вмісту органічних речовин. У середньому з 1 м<sup>3</sup> гноївки великої рогатої худоби можна отримати близько 25 м<sup>3</sup> біогазу, а з густої свинної гноївки — навіть 35 м<sup>3</sup> біогазу [3].

Другим потенційним джерелом біогазу є гній. Теоретично з 1 м<sup>3</sup> гною можна отримати 30 м<sup>3</sup> біогазу, проте підстилочна технологія утримання тварин застосовується лише в малих господарствах з невеликою їх кількістю, що на практиці виключає окупність виробництва біогазу з гною.

Інакше уявляються перспективи гною як складової частини рослинної біомаси, головним чином з трав, які збираються з площ, що лежать під паром, а також з таких додаткових продуктів, як картопляне бадилля, гичка буряків, солома кукурудзи та зернових. Ця тверда органічна біомаса може використовуватись для виробництва біогазу методом безкисневої ферментації, що коротко називається сухим бродінням. Тверда органічна маса, особливо з трав, використовується також як так звана коферментаційна домішка до гноївки. При сухому бродінні трави з 1 т с.м. можна отримати 6 тис. м<sup>3</sup> біогазу з енергетичною цінністю близько 21 МДж/м<sup>3</sup>, що еквівалентне 12-13 ГДж/га [3].

Під час сухої ферментації близько 60% органічних речовин біомаси перетворюється на біогаз. Залишок, що перебродив, можна з успіхом використовувати як добриво. Це визнають як перевагу сухої ферментації

біомаси над її спалюванням. З одного кілограму сухої маси вищеназваних продуктів можна отримати близько 0,35 — 0,50 м<sup>3</sup> біогазу з енергетичною цінністю, близькою до аналогічного показника біогазу з гноївки. Найбільшу кількість біогазу отримують із зеленого корму лучних трав, що вирощуються на площах під паром, найменшу — із соломи.

Установки для виробництва біогазу сухим методом потребують інших технічних та технологічних рішень у порівнянні з виробництвом біогазу з гноївки, але, враховуючи значення цієї технології для господарств середньої величини, вони знаходяться у фазі інтенсивного розвитку.

**Осади стоків.** Вважається, що одна людина щоденно "створює" приблизно один кілограм комунальних відходів, причому десь на 40% вони складаються з органічних речовин. У Польщі лише 10% з приблизно 1000 складів комунальних відходів оснащені установками видалення газів. Осади, утворені у відстійниках комунальних стоків, після висихання мають близьку до торфу та бурого вугілля енергетичну цінність. На практиці вони майже виключно застосовуються як додаток до загальноприйнятих твердих палив. З цієї причини вони спалюються у печах міських очисних станцій або целюлозно-паперових підприємств, саме там, де утворюється велика кількість технологічних стоків, які виникають в процесі переробки органічної рослинної маси.

#### 1.4. Висновки до розділу

1. Поновлювані джерела енергії можуть складати значну частку в енергетичному балансі окремих районів та областей України. Вони здатні сприяти збільшенню енергетичного забезпечення регіонів, особливо для покращання забезпечення енергією у місцевостях зі слабо розвиненою енергетичною інфраструктурою.

2. Потенційно найбільше енергії з поновлюваних джерел енергії можна отримати в сільському і комунальному господарствах. Для регіонів, що

страждають від безробіття, поновлювані джерела енергії породжують нові можливості у сфері створення нових робочих місць. До того ж сільськогосподарські райони, які через радіоактивне чи інше забруднення ґрунтів непридатні для вирощування рослин на харчові потреби, можуть вирощувати енергетичні культури.

3. Розвиток альтернативної енергетики в сільській місцевості — це нормальна реакція світового співтовариства на зменшення викопних запасів палива, вихід, що має реальну перспективу. Водночас використання поновлюваних джерел енергії в сільській місцевості дозволяє істотно здешевити процес агропромислового виробництва.

4. Розвиток технологій і технічних засобів для виробництва біогазу спрямовано на комплексне вирішення проблем альтернативного енергозабезпечення тваринницьких ферм, виготовлення високоякісних органічних добрив для кормовиробництва й утилізацію органічних відходів при зниженні рівня емісії шкідливих речовин у навколишнє середовище.

## РОЗДІЛ 2

### СПОСОБИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

#### 2.1. Тверде біопаливо

##### 2.1.1. Характеристики біомаси як енергетичної сировини

Сьогодні лідером у використанні на енергетичні потреби соломи — одного з найбільш популярних видів біомаси — є Данія. Щорічно там утилізують 12,5% виробленої соломи, що складає в абсолютному вимірі близько 0,8 млн.т. Структура розподілу цієї енергосировини така: фермерські котли споживають 57,6%, теплові станції — 33,6% і решту (8,8%) — електростанції []. Цей вид твердого біопалива забезпечує 1,4% загального обсягу енергоспоживання Данії.

Як енергоресурси біомасу широко використовують в сільському господарстві. Для опалення застосовують побічні продукти агропромислового виробництва — солону зернових культур, стебла кукурудзи та соняшнику, гілки плодкових дерев і лозу винограду, відходи переробки очерету тощо. При цьому важливими елементами технічного забезпечення відповідних технологій є:

- комплекси машин для вирощування й збирання біомаси;
- сховища і обладнання для зберігання біомаси;
- теплотехнічне обладнання для спалювання біомаси;
- системи контролю і керування технологічними процесами на всіх етапах виробництва і застосування біопалива.

Сільськогосподарська біомаса, використовувана як паливо, має ряд особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, що застосовуються для опалення. Деякі з характеристик твердого біопалива, у першу чергу зовнішні (щільність, розміри часток, специфічність поверхні), за

допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені. У той же час його основні паливно-технологічні характеристики прийнято розглядати як сталі.

Найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси, використовуваної як тверде біопаливо, є її теплотворна здатність, яка залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо.

Температуру горіння біомаси із сільськогосподарських відходів можна розрахувати, знаючи її складові. У процесі горіння біомаси (її перетворення в  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ ) корисна енергія, що виділяється, складає приблизно 450 кДж на один моль вуглецю (38 МДж на 12 кг вуглецю) при відновленні  $R=1$ . Ця характеристика не завжди стала, бо йдуть й інші перетворення енергії. Так, цукор ( $R=1$ ) має теплоту згоряння біля 450 кДж на 12 г вуглецю, що міститься в ньому. Повністю конвертований матеріал, наприклад метан  $\text{CH}_4$  ( $R=2$ ), має теплоту згоряння біля 900 кДж на 12 г вуглецю (або на 16 г самого метану).

Як паливо рослинну біомасу характеризують вмістом води і вуглецю. Якщо  $m$  — загальна маса матеріалу, а  $m_0$  — його маса у зневодненому стані, то вологовміст за сухою основою визначають за формулою  $W = (m - m_0)/m_0$ , а вологовміст за сирою основою (просто вологість) за формулою  $W = (m - m_0)/m$ . Матеріал вважається «сухим», якщо перебуває у тривалій рівновазі із середовищем, при цьому він вміщує від 10 до 15% води. Оптимальне значення вологості — 15%. При перевищенні цього значення вартість соломи зменшується.

Чинниками, що лімітують якість твердого біопалива, вважають процентні вмісти азоту, хлору, сірки, кальцію, магнію, калію, натрію, цинку і кадмію у фітомасі. Тому потребують відповідного уточнення технології збирання та зберігання їх соломи.

Великий вміст кисню в сільськогосподарських твердих біопаливах означає, що в процесі їх горіння потреба в повітрі та кількість утвореного диму менші, ніж при спалюванні різних видів вугілля. Зі збільшенням вологості зростає кількість водяної пари, а це внаслідок процесів її конденсації створює проблеми

при відведенні диму.

До основних видів біомаси, що використовується як тверде біопаливо для безпосереднього спалювання, відносять деревину разом із сировиною з енергетичних рослин, таких як верба та міскант, а також солому та зрубки з різного роду насаджень. Важливою характеристикою даної біомаси є її щільність. Звичайно сухі біологічні матеріали мають щільність у 3 - 4 рази нижчу, ніж вугілля.

Тому важливим чинником якості твердого біопалива є технологія приготування біомаси до спалювання. Вона обумовлює конструктивно-технологічне виконання теплотехнічного обладнання, істотно впливає на економічні показники його роботи.

Сьогодні до найбільш поширених твердих палив з біомаси відносять деревину та солому, а потім — енергетичні рослини та деревину з енергетичних лісів. Вибір техніки та технологій отримання енергії з цього виду сировини залежить від теплоефективності, емісії забруднень в атмосферу, а також кількості топочних газів біомаси.

Солому готують до енергетичного використання у вигляді брикетів, зберігають у коморах, у «голландських» коморах (покрівля з опорами), під брезентом або плівкою, під відкритим небом. При зберіганні у скирдах біля 10% соломи стають непридатними для подальшого енергетичного використання.

Найбільші економічний та енергетичний ефекти отримують при спалюванні зрубків дерев. Промислові ж відходи ( тирса, стружка тощо) перед спалюванням необхідно брикетувати, що вимагає додаткових витрат енергії, але поліпшує ефективність спалювання. Зрубки та брикети з об'ємною масою  $650 \text{ кг/м}^3$  повинні мати вологомисткість, що не перевищує 10%, і вміст попелу нижчий 0,5%. У свою чергу діаметр полін не повинен бути більшим за 0,15 м при довжині до 1,0 м та вологомисткості до 20%, що відповідає дворічному періоду зберігання та висушування на повітрі.

В Україні є досвід використання біомаси як палива. Він охоплює

розробку відповідних технологій виробництва біомаси, спеціальних котлів, установок та обладнання для транспортування і підготовки до зберігання соломи у вигляді брикетів, гранул і тюків тощо.

### **2.1.2. Способи використання твердого біопалива**

**Спалювання.** Основними технологіями термічної переробки твердого біопалива є пряме спалювання, газифікація і піроліз.

Спалювання біомаси є найбільш старим та простим способом отримання енергії. Дуже велика неоднорідність біомаси з точки зору хімічного складу та фізичних властивостей викликає певні труднощі як в процесі спалювання, так і емісії компонентів, які є побічними продуктами процесу.

Отже, спалювання соломи, деревини тощо через високий вміст вологи (до 60% від загальної маси), велику кількість попелу (до 10%), низьку щільність та значний вміст летких складових (до 70-80%) характеризується низькою питомою теплотою згоряння на одиницю маси, значними коливаннями фізико-хімічних властивостей, значною емісією токсичних елементів, обумовлює складнощі контролю швидкості горіння й забезпечення постійного дозування, потребу великої площі складування та проблеми з транспортуванням.

Процес спалювання деревини проходить три фази:

- висушування біомаси;
- термохімічний розклад (газифікація та спалювання);
- перетворення деревного вугілля на попіл.

Підтримання безперервності процесу спалювання викликає “поглинання” частини виробленої теплової енергії біомасою, зокрема на її висушування. При розкладі твердого біопалива леткі речовини (гази) спалюються полум'ям, а тверді частинки тліють. Якщо це деревина, то до 80% паливної речовини перетворюються на газ, а з іншою частиною проходить процес перетворення на деревне вугілля і потім на попіл. Подрібнення біомаси дозволяє поліпшити контакт кисню з паливними компонентами, що сприяє кращому спалюванню.

Деревина серед твердих палив найбільш багата газом. У першій фазі спалювання при недостатній кількості кисню відбувається виділення газів, які

легко спалюються, таких як водень та окис вуглецю, котрі згорають у другій фазі процесу при надлишку кисню і викликають швидкий ріст температури. Як залишок від газифікації утворюється деревне вугілля, яке спалюється при температурі близько 500°C (тверде дерево). Раціональне протікання процесу горіння вимагає забезпечення відповідного надлишку кисню (повітря).

У найбільш простих печах для зрубков (рис. 2.1, а) з проточною системою спалювання паливо спрямовується шнековим транспортером знизу, а вторинне (додаткове) повітря, іноді й третинне підводяться особливими каналами до камери згорання. Топочні гази відводяться в теплообмінник і далі у комин.

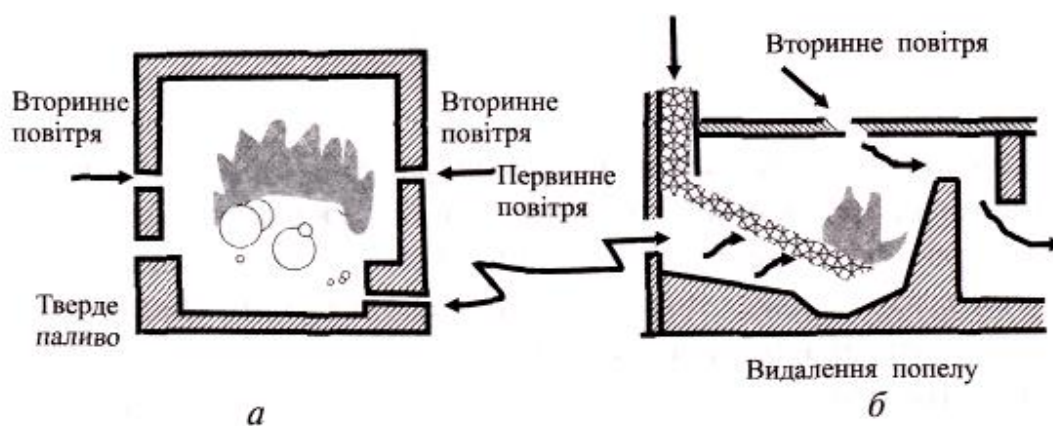


Рис. 2.1. Схеми печей для спалювання зрубков дерев:

а — прямточна, б — протиточна

За протиточною схемою (рис. 2.1, б) спалювання деревної чи рослинної біомаси відбувається в протитоці повітря. За наведеною технологією паливо завантажується зверху, що поліпшує вивільнення печі від попелу, який збирається на дні топки, але це порушує рівномірність подачі біопалива.

Теплотехнічні особливості сільськогосподарських твердих біопалив, що полягають у вивільненні великої кількості летких сполук при температурі 250 - 300°C, використовують в установках з камерами попереднього спалювання, з'єднаних з котлами, що працюють на рідкому або газовому паливі (рис. 2.2). Паливо із сільськогосподарських відходів газифікують за допомогою звичайного колосникового пристрою і з підведеним вторинним повітрям подають у топку газового котла.

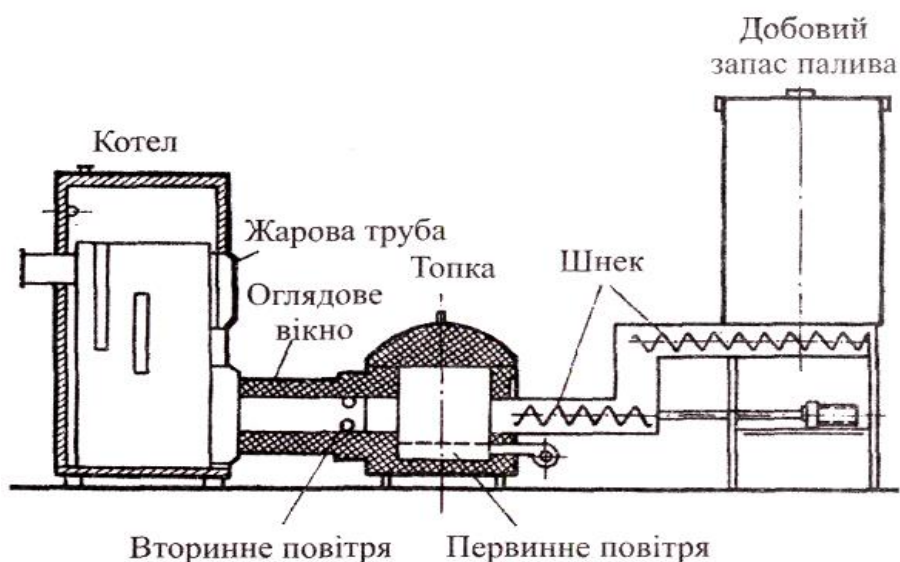


Рис. 2.2. Установка з камерою попереднього спалювання біопалива, поєднана з газовим котлом

Установки для спалювання деревної біомаси часто мають дві розташовані послідовно камери згоряння (рис. 2.3). В камері попереднього спалювання проходить горіння (тління) біомаси без достатнього доступу кисню (газифікація). Підігрівання органічної речовини в першій камері необхідне для швидкого виділення летких сполук. У другій камері додатково поданим повітрям спалюється леткий газ.

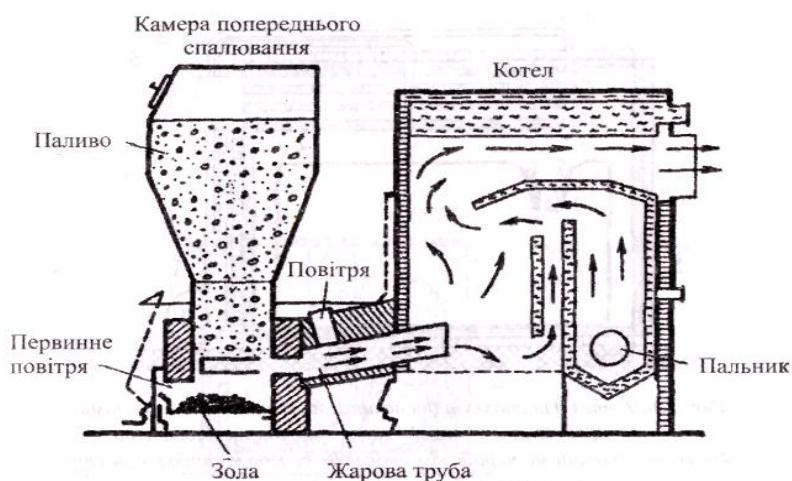


Рис. 2.3. Схема установки двокамерного типу для спалювання біопалива з його гравітаційною подачею

Такі установки в першу чергу застосовують при необхідності отримання невеликих теплових потужностей і використанні подрібнених відходів деревопереробної промисловості.

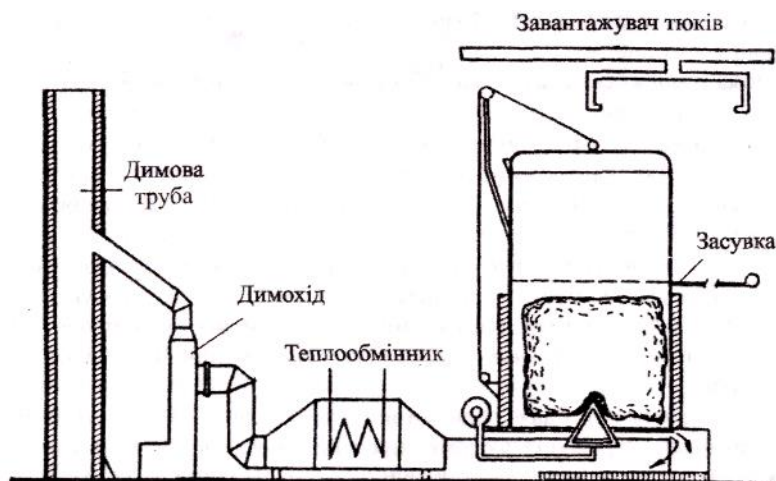


Рис. 2.4. Схема установки для спалювання тюків соломи з періодичним завантаженням та винесеним теплообмінником

Для спалювання соломи у тюках існують котли з циклічною (рис. 2.4) або безперервною (рис. 2.5) схемами виконання роботи. Такі котли являють собою двостінні місткості, на передній поверхні яких є люк таких розмірів, щоб тюк через нього вільно проходив до камери згоряння. Існують також котли, де тюки подаються через шлюз (див. рис. 2.5). Для збільшення ефективності на котлах установлюють камери допалювання.

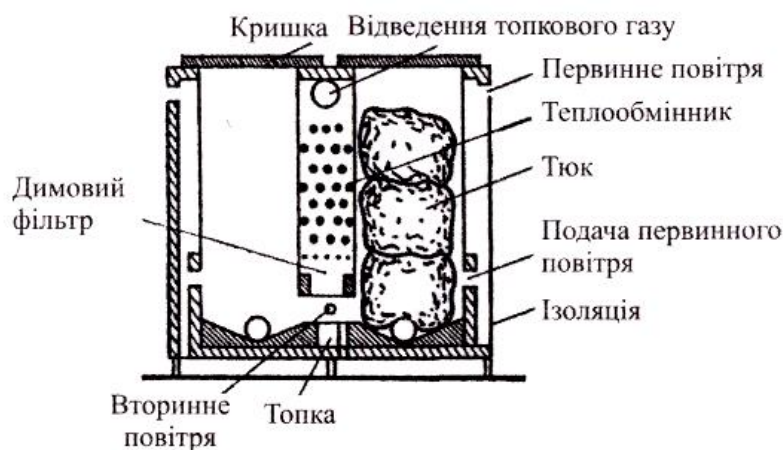


Рис. 2.5. Котел для безперервного спалювання тюків соломи

Спалювання соломи в печах проходить подібно до спалювання дерева. У першій фазі із соломи виділяються вода та леткі речовини, а у другій фазі відбувається безполумєневе спалювання вугільних сполук. У порівнянні зі спалюванням деревини обидві фази спалювання соломи проходять повільніше, що при застосуванні подрібненої соломи робить необхідним постійну подачу матеріалу. У зв'язку із цим застосовують спеціальну конструкцію рухомого

ростверка (наприклад із шнековою системою видалення відходів).

В усіх цих випадках для повного згоряння газів, які утворюються в процесі газифікації органічної речовини, застосовують підведення вторинного повітря, а також встановлюють у топці додаткові поверхні для спалювання біомаси. Установки з автоматичним завантаженням сировини відрізняються тим, що до їх складу входить пристрій для дозування кількості біопалива та автоматичної безперервної або циклічної подачі соломи в топку.

Вдосконаленням даного способу є сучасне спалювання в флюїдальних печах. Паливо у вигляді подрібнених частинок біомаси підвішують в потоці повітря (рис. 2.6) разом із частинками матеріалів, що спеціально додаються (вугілля, пісок), створюючи шар, який поводить себе як кипляча рідина й частинки якого не виносяться потоком повітря, котре нагнітається з дна камери.



Рис. 2.6. Флюїдальна піч для спалювання відходів деревини

При перемішуванні частинок палива з повітрям на великій поверхні їх контакту збільшується інтенсивність спалювання. Існування киплячого шару забезпечується вентилятором, продуктивність якого регулюється. Клапан (3), закріплений на верхній частині кришки, виконує функцію запобіжника і запобігає вибуху. Піч завантажується гравітаційно трісками через трубчастий дозатор і загрузочну горловину (2) завдовжки приблизно 4 м (діаметр - 150 мм). Бункер для відходів знаходиться ззовні котла. Така конструкція печі дозволяє зменшити розміри камери згоряння (4), а також знизити температуру спалювання до 800 - 900°C. Флюїдальне спалювання при атмосферному або

підвищеному тисках збільшує коефіцієнт корисної дії і зменшує розміри установок. Флюїдальні напірні печі вимагають застосування відповідного компресора.

**Газифікація та піроліз.** Крім традиційних методів отримання енергії з біомаси в процесі спалювання, використовують також сучасні технології газифікації та піролізу (термолізу), який є різновидом газифікації. Газифікація полягає в хімічному розпаді органічних компонентів біомаси, частіше за все з деревини, в умовах обмеженого доступу кисню з повітря у суміші різних газів. Термічний розпад деревини проходить в послідовних фазах, що відбуваються одна за одною:

- виділення води (температура до 170°C);
- виділення CO та CO<sub>2</sub> (температура 170 - 270°C);
- виділення з вуглеводнів летких речовин (температура 250 - 350°C).

Для спалювання біомаси застосовують печі з колосниковими та газовими топками (камерами). Високі вимоги в галузі охорони навколишнього середовища відносно установок, що використовують деревину чи соломку в різних видах, привели до значного технічного прогресу в розробці спеціальних котлів. Температури розм'якшення і плавлення золи соломи порівняно з вугіллям низькі у зв'язку з високим вмістом лужних металів. Так, якщо для вугілля температура початку деформації складає 1175°C, розм'якшення — 1225°C і рідкого стану — 1275°C, то для жовтої соломи відповідно — 950, 1050, 1150°C, а для сірої соломи — 1100, 1150, 1250°C. З 82 - 86% складових соломи зернових культур до 75% — леткі речовини. Вони вивільнюються у великій кількості при температурі горіння 250 - 300°C. Для їх повного спалювання потрібна велика кількість повітря, тому виділяється значна кількість диму, що сильно забруднює навколишнє середовище. Для попередження цього небажаного явища сконструйовані такі пристрої спалювання біомаси, в яких горіння проходить за два прийоми. У первинній зоні горіння паливо газифікується, а вивільнені таким чином газу у вторинній зоні з добавкою додаткової кількості повітря спалюються. Знайдено

раціональну форму топок для енергетичної утилізації біомаси, визначені обсяги камер для газифікації деревини та спалювання газів, в ряді конструкцій введено автоматизоване управління процесом горіння.

Отже, за сучасними технологіями біомасу спалюють у двофазних генераторах. У першій фазі відбуваються дегазування та газифікація біомаси при зниженому вмісті кисню. У другій фазі отриманий газ подається у високотемпературну камеру, де після перемішування з нагрітим повітрям спалюється при температурі близько 1000°C.

Газ, що утворюється зі зрубков деревини, враховуючи його низьку теплоту згоряння, яка не перевищує 4-5 МДж/м<sup>3</sup>, використовують як моторне паливо для приводу електричних генераторів. Можливе отримання більш високої теплоти згоряння, яка сягає 10 МДж/м<sup>3</sup>, при виробництві газу із сухої деревини з дерев твердих порід. Через низьку теплоту згоряння газу двигуни досягають лише близько 70% своєї номінальної потужності. Крім застосування як палива для двигунів, газ також використовують як джерело теплової енергії[7].

Конструкція газових генераторів та спосіб спалювання залежать від величини установки, виду та якості біомаси, а також способу використання газу. Технологічне рішення з нижнім забором генераторного газу (рис. 2.7, а) застосовується у генераторах потужністю до 1 МВт і вимагає дотримання постійних розмірів, видів та вологості подрібненої біомаси, а якість газу, що виробляється, є високою і досить стабільною. Конструкція газового генератору з верхнім забором газу (рис. 2.7, б) застосовується в генераторах більшої потужності, до декількох МВт.

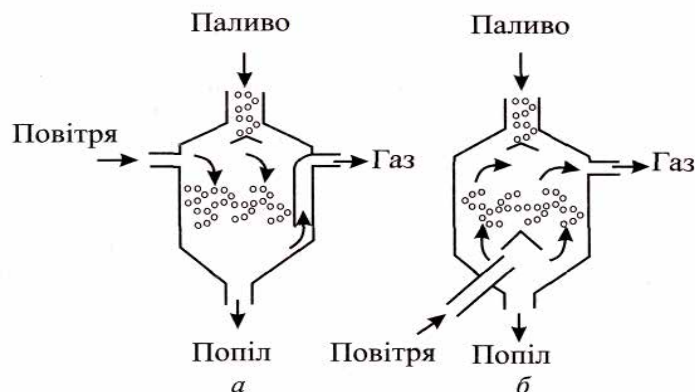


Рис. 2.7. Схеми газових генераторів: а – нижній, б - верхній

Так само, як і для процесів спалювання, для газифікації (виробництва газу) біомаси застосовують флюїдальні генератори, схематично представлені на рис. 2.8. Перевагою цих генераторів є можливість їх використання у великих установках потужністю більше 100 МВт і невелика вірогідність агломерації попелу завдяки відносно низькій температурі протікання процесу, яка не перевищує 800 - 900°C.

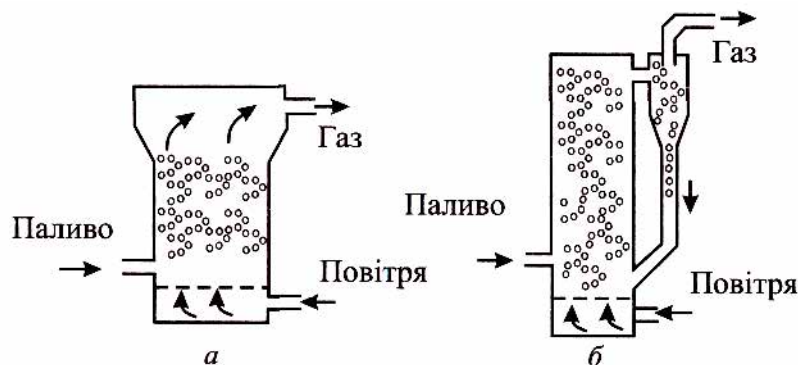


Рис. 2.8. Схеми флюїдальних газових генераторів: а — з постійним шаром; б — з нахиленим (циркулюючим) шаром

Піроліз проходить при температурі 1000°C, а його продуктом є суміш горючих газів, що містить окис вуглецю (CO), водень  $H_2$  та сліди метану. Різновидом газових генераторів є піролізні генератори.

Наступним етапом є об'єднання газифікації біомаси з роботою газових турбін у так званих змішаних системах. У конструктивно-технологічному рішенні, представленому на рис. 2.9, біомасу газифікують у флюїдальному газовому генераторі. При спалюванні газу утворюється пара, що приводить у рух турбіну, яка працює разом з електричним генератором. Конденсат з турбіни спрямовується в котел. Коефіцієнт корисної дії цих систем не перевищує 35 - 37% (10 МДж/кВт·год).

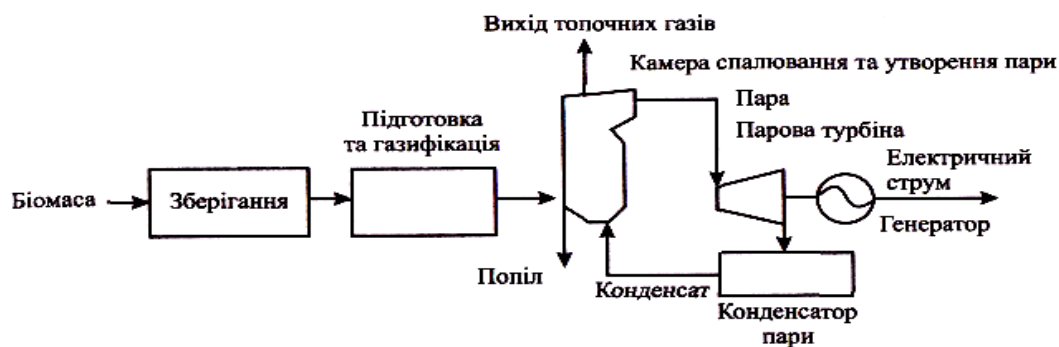


Рис. 2.9. Схема комбінованої системи перетворення біомаси в електроенергію

Подальшим розвитком енергогенеруючих систем є інтеграція генератора для газифікації біомаси та газової турбіни з паровим котлом, схема яких представлена на рис. 2.10.

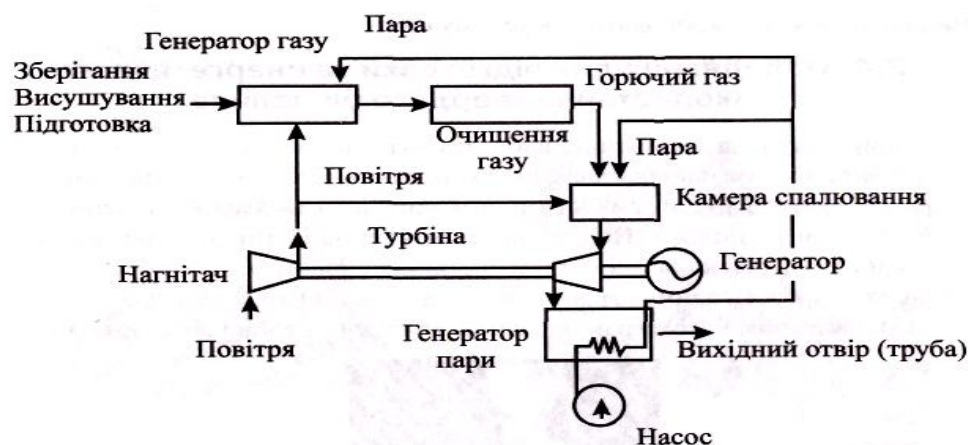


Рис. 2.10. Схема інтегрованої системи трансформації біомаси в електроенергію

Таке рішення являє собою поєднання газифікації біомаси та змішаного циклу роботи турбін, що має на меті збільшення коефіцієнта корисної дії перетворення енергії, яка міститься в біомасі. Газифікація біомаси відбувається у флюїдальному газифікаторі з підвищеним тиском, а вироблений газ після проходження через сепаратор і камеру спалювання приводить у рух газову турбіну, що працює разом з електричним генератором.

Такі змішані системи дозволяють отримувати енергоефективність, яка досягає 50% (7,2 МДж/кВт·год), а завдяки зниженню температури спалювання в газифікаторі стає можливим обмеження емісії окислів азоту.

Ступінь їх технічного розвитку ще не досяг досконалості, але необхідність

ефективного використання ресурсів поновлюваної енергії, що тісно пов'язана з екологічними аспектами, вимагає пошуків нових і вдосконалення вже існуючих інтегрованих систем.

### **2.1.3. Технічні засоби для використання твердого біопалива**

Особливу увагу слід звертати на вибір технологій й обладнання для енергетичного використання твердої біомаси, які визначають величину капітальних витрат.

Для виготовлення різних видів твердого біопалива з відходів деревини розроблені промислові технології. Наприклад, для утилізації тирси, стружки, пилу та інших залишків деревообробної галузі сировину спершу підсушують до стандартного рівня вологості, а потім гранулюють з додаванням 1-2% в'язучих речовин. Гранулюванню піддають також і січку із соломи.

Гранульоване біопаливо з біомаси - одне з найбільш придатних до автоматизованого процесу спалювання. Весь процес переміщення гранул можна здійснювати без застосування ручної праці.

Результати розробки проблем енергетичного використання біопалив з рослинної маси втілилися у створенні нового покоління опалювальних пристроїв, що мають при оптимальному режимі роботи коефіцієнт корисної дії у межах від 85 до 90%.

Зрубки деревини одержують з допомогою механічних подрібнювачів, які випускає промисловість. Печі для спалювання зрубків деревини мають різні типорозміри (від печей з тепловою потужністю у 15 кВт при витратах палива на рівні 3,5 кг/год до великих установок з тепловою потужністю у кілька сот МВт). Для різних видів деревини необхідні різні типи печей.

Для спалювання полін, коротких та довгих шматочків деревини застосовують малі та великі топки. Деревина у в'язанках може спалюватися в печах з механічною подачею, у камери згоряння невеликих печей поліна закладаються в основному вручну, у великі — механічним шляхом.

Ефективне використання котлів, що спалюють тверде біопаливо, обумовлене розробкою сучасних технологій підготовки сировини, систем автоматичного

управління процесом спалювання та спеціальних (керамічних) матеріалів камер згоряння (рис. 2.11).

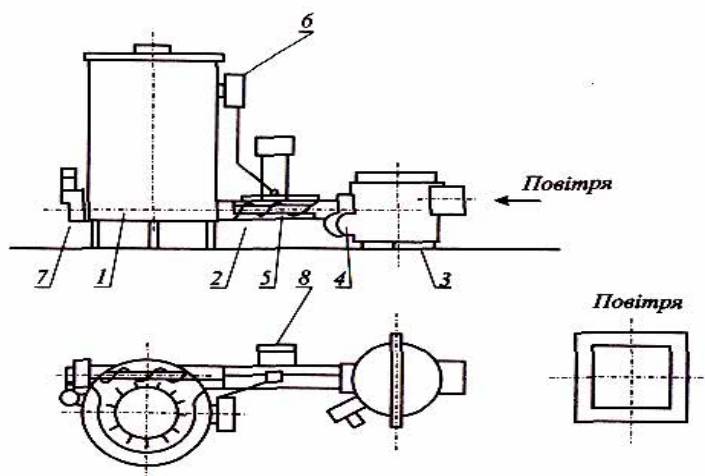


Рис. 2.11. Автоматична установка для спалювання відходів подрібненої деревини AZSO-50: 1 — дозуючий бункер; 2 — шнековий транспортер; 3 — реторта; 4 — нагнітальний вентилятор; 5 — термостатичний вентиль з датчиком; 6 — резервуар з водою для гасіння; 7 — привід транспортера; 8 — система керування

Окремий тип являють собою котли-теплогенератори для безпосереднього нагрівання повітря у виробничих приміщеннях, які працюють на гранулах з біомаси .

Для спалювання соломи, стебел кукурудзи та інших відходів у брикетах і тюках розроблені спеціальні котли потужністю до 250 кВт на добу.

Для покращання умов протікання процесу горіння і зменшення емісії часток у продуктах спалювання витрати повітряного дуття регулюються, поступово змінюючись від верхньої до нижньої секцій котла. При поступовому переміщенні області подачі повітря можна досягти рівномірного горіння тюка соломи. Для забезпечення старанного перемішування продуктів горіння повітря повинно подаватися в напрямку, протилежному виходу димових газів з топки котла.

Коефіцієнт корисної дії котла з періодичним циклом роботи складає біля 75%, рівень вмісту CO<sub>2</sub> в продуктах горіння — менше 0,5%. Практично всі кот-

ли такої потужності обладнані баком-акумулятором для зберігання гарячої води, що дає можливість більш якісно спалювати соломі, хоча її витрати при цьому суттєво не знижуються.

У с. Дрозди Київської області встановлено котел потужністю 980 кВт для спалювання соломи. Перспективним напрямком є енергетичне використання біомаси в технологічних агрегатах і в першу чергу в сушарках. Досвід реалізації генераторів, що використовують органічні відходи, показує високу рентабельність даних технологій при сушінні деревини.

Подібні установки з протиточними камерами (рис. 2.12) характеризуються більш високою теплоефективністю, яка досягає 75 — 85%, і мають більш низьку емісію продуктів згоряння.

Процеси, що проходять у сучасних піролізних установках, контролюються та автоматично стабілізуються, що дозволяє застосовувати їх для опалювання житлових будинків.

Суттєвою перевагою піролізних установок вважається можливість використання палива з досить низькою теплотою згоряння (нижче 12 - 15 МДж/кг) і вологістю 40 - 45%. Ця властивість дозволяє використовувати як паливо не лише суху деревину, а й зрубки верби, висушеної природним шляхом. Умовою раціональної роботи такого типу установок є обов'язкове виконання вимог до розмірів окремих елементів біопалива (довжина 25 - 30 мм, "діаметр" — 10 - 15 мм).

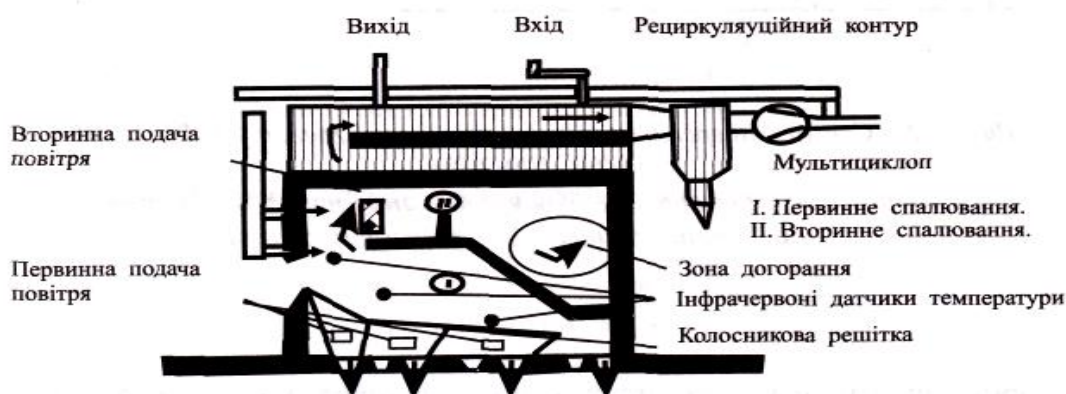


Рис. 2.12. Схема установки для спалювання січки соломи з протиточними камерами

За останній час в Україні виконано декілька демонстраційних проектів в

галузі біоенергетики. Однак розвиток використання біомаси як енергоресурсу досі перебуває на початковому рівні. Для прискорення впровадження сучасних енергетичних установок, що працюють на біомасі, необхідно:

- створити відповідне обладнання для брикетування, перевезення, навантаження, зберігання і подрібнення соломи та деревини;
- розпочати виведення енергетичних культур та розміщення енергетичних лісів;
- розгорнути розробку та виготовлення вітчизняних котлів для спалювання біомаси;
- підготувати законодавчу базу впровадження економічного стимулювання виробників і споживачів обладнання для енергетичного використання соломи і деревини (надання субсидій на виробництво тепла та електроенергії, інвестування частини капітальних витрат тощо).

#### **2.1.4. Вплив котлів, що працюють на твердому біопаливі на довкілля**

Екологічна вагомість впливу емісії газів на навколишнє середовище при одержанні енергії шляхом спалювання біопалива з рослинної біомаси може бути оцінена частковими критеріями — чистотою повітря, використанням тепла (коефіцієнтом корисної дії опалювальної установки) та безпекою експлуатації цієї установки. Чинник емісії (питома емісія) виражається за допомогою відношення маси емісії до кількості теплоти, що міститься в паливі. Коефіцієнт корисної дії котла опалення визначається зі співвідношення його теплопродуктивності (кВт) до спожитої теплової потужності (кВт). Непрямим методом ККД опалювальної установки обчислюється через відносні втрати продуктів згоряння, а також вимірюється теплом (%), газовим недопалом (%), механічним недопалом (%) і теплообміном із навколишнім середовищем (%).

Використання соломи для прямого спалювання є одним із способів зменшення викидів  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Солома, як і біомаса в цілому, є  $\text{CO}_2$  - нейтральним паливом, тобто споживання  $\text{CO}_2$  з атмосфери в процесі вирощування злакових культур відповідає емісії  $\text{CO}_2$  в атмосферу при спалюванні соломи. Враховуючи додаткові викиди  $\text{CO}_2$ , які проходять при збиранні, транспортуванні та підготовці соломи до спалювання, зменшення емісії  $\text{CO}_2$  при заміні вугілля, що

спалюється в котлі, на соломі складає біля 90%.

Збирання біомаси і використання її з енергетичною метою впливає на стан родючості ґрунту. Разом із рослинною біомасою з ґрунту видаляються поживні речовини і такі елементи, як Ca, Mg, K, N. Розв'язується вказана проблема внесенням добрив, поверненням золи і вапнуванням ґрунту. За оцінками фахівців [6], додаткові витрати на внесення добрив, які можуть знадобитися при вилученні соломи з поля, складають до 10% її вартості як твердого біопалива.

У випадку газифікаційного спалювання подрібненої соломи, враховуючи її невисоку щільність, деяка кількість часток соломи виноситься потоком повітря і після проходження крізь циклон знову повертається у топку. Температура флюїдального спалювання не перевищує 1200°C, тобто вона є відносно низькою, а відповідно їй легко контролюється, завдяки чому знижується емісія  $\text{NO}_x$ . Емісія  $\text{NO}_x$  суттєво збільшується при спалюванні у киплячому шарі при температурі вище 1400°C. До киплячої маси можна додавати окис вапняку (молоте вапнякове каміння), який з'єднується із сіркою та хлором і зменшує емісію  $\text{SO}_2$  та  $\text{HCl}$ . Додавання піску, особливо корундового (а не кварцевого), зменшує тенденцію до розплавлення попелу та зашлаковування ним решіток топки. Додавання подрібненого кам'яного вугілля полегшує спалювання частинок біомаси, що важко згоряють. При застосуванні добавки попелу з вугілля (4 - 5%) знижується температура процесу горіння до 1100°C. Частинки вугілля, добре перемішані з повітрям у киплячому шарі, та нижча температура шару в порівнянні з температурою плавлення попелу дозволяють спалювати малокалорійну біомасу (<6 МДж/кг) із вмістом частинок, що не горять, до 60%, при коефіцієнті корисної дії спалювання до 99%.

Ще однією перевагою газифікаційного спалювання біомаси, окрім отримання теплової енергії, є можливість утилізації шкідливих токсичних речовин. Проте у цьому випадку необхідні особлива обережність і контроль процесу горіння, оскільки зниження температури протікання процесу, навіть при спалюванні деревини та соломи, може легко викликати збільшення емісії

таких токсичних компонентів, як канцерогенні діоксини та ароматичні вуглеводні.

Біомаса, особливо з деревини, все частіше використовується як паливо для спільного спалювання з вугіллям. Спільне спалювання вугілля і біомаси дає можливість отримання суттєвої екологічної користі за рахунок обмеження газових, пилових та органічних забруднень, а також дозволяє досягти певних економічних переваг. При спільному спалюванні вугілля з біомасою використовують звичайні колосникові, піролізні та пилові котли, в які завантажують попередньо змішані вугілля та біомасу, рідше їх завантажують окремо (бо виникає необхідність у застосуванні додаткових систем дозування). Кількість біомаси, що завантажується, коливається від декількох відсотків до декількох десятків відсотків (< 33% в об'ємному вимірі - V/V). У звичайній електроцентралі, що опалюється вугільним пилом, з однієї тонни вугілля отримують 20 - 22 ГДж теплоти, що викликає емісію 16 - 17 кг SO<sub>2</sub>, близько 2 т CO<sub>2</sub> та 16 - 200 кг попелу, який належить до відходів. При спільному спалюванні вугілля зі зрубками з енергетичних лісів і відходами деревини у кількості 15 - 20% (у масовому вимірі — т/т) помітно зменшуються емісія, особливо окислів сірки, та кількість попелу, що впливає на поліпшення економічних показників.

Отже, при спорудженні сучасних теплотехнічних установок в сільській місцевості для оцінки комплексної ефективності використання біомаси як палива необхідно проводити енергетичний та екологічний аналіз кожного проекту.

## 2.4. Висновки до розділу

1. Як енергоресурси біомасу широко використовують в сільському господарстві. Для опалення застосовують побічні продукти агропромислового виробництва — солону зернових культур, стебла кукурудзи та соняшнику, гілки плодкових дерев і лозу винограду, відходи переробки очерету тощо.
2. В Україні є досвід використання біомаси як палива. Він охоплює розробку відповідних технологій виробництва біомаси, спеціальних котлів, установок та обладнання для транспортування і підготовки до зберігання соломи у вигляді брикетів, гранул і тюків тощо.
3. Найбільші економічний та енергетичний ефекти отримують при спалюванні зрубков дерев. Промислові ж відходи ( тирса, стружка тощо) перед спалюванням необхідно брикетувати, що вимагає додаткових витрат енергії, але поліпшує ефективність спалювання.
4. Результати розробки проблем енергетичного використання біопалив з рослинної маси втілилися у створенні нового покоління опалювальних пристроїв, що мають при оптимальному режимі роботи коефіцієнт корисної дії у межах від 85 до 90%.
5. Використання соломи для прямого спалювання є одним із способів зменшення викидів  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Солома, як і біомаса в цілому, є  $\text{CO}_2$  - нейтральним паливом.
6. У розвитку біоенергетики сільської місцевості у світі домінують процеси скорочення загальних витрат енергії в агропромисловому виробництві при поступовому збільшенні використання поновлюваних джерел енергії. Огляд світового досвіду свідчить, що рідкі біопалива являють собою перспективний для сільської місцевості вид енергетичних ресурсів, який займає за своїм поширенням другу позицію після твердих палив з біомаси.

## РОЗДІЛ 3

### ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ СОНЯШНИКА НА МИРОНІВСЬКОМУ ЗАВОДІ КРУП І КОМБІКОРМІВ

Товариство з обмеженою відповідальністю Миронівський ЗКК (Миронівський завод круп і комбікормів) займається переробкою насіння соняшнику. Підприємство реалізує свій товар не тільки на території України, а й експортує до Польщі, Грузії, країн Прибалтики (Естонія, Латвія), Монголії, а нещодавно пробні партії були направлені до Канади.

Мета підприємства – сертифікація ISO якості вхідної сировини і збільшення виходу готової продукції.

Завод має великотоннажні потоки рослинних відходів. Зокрема, на маслоекстракційному цеху, що переробляє насіння соняшнику, утворюється велика кількість лушпиння. Вивіз і штрафи за складування лушпиння вимагають значних витрат.

В той же час лушпиння може бути використане як котельне паливо для вироблення водяної пари і тепла на технологічні потреби заводу. До теперішнього часу в більшості котельних цих підприємств для вироблення технологічної пари використовують традиційні дорогі і дефіцитні види палива - газ і мазут.

#### 3.1. Теплоенергетичне забезпечення Миронівського ЗКК

В даний час на Миронівському ЗКК є котельня з двома котлами ДКВР - 4 – 13 паропроодуктивністю 4 т/год кожен, і одним котлом «Viessman», паропроодуктивністю 7 т/год. Загальна встановлена паропроодуктивність котельної становить 11 т/год. Котли ДКВР - 4 - 13 фізично і морально зношені.

Основне паливо для існуючої котельної – природний газ.

Водопідготовча установка цієї котельні, оснащена імпортомним устаткуванням, працює за схемою двохступінчатого натрій-катіонування

Відведення димових газів від котлів здійснюється в цегляний димар заввишки 45 м діаметром 1м. Ця котельня сьогодні використовується як резервна.

З пуском в експлуатацію маслопресового цеху на території Миронівського заводу круп і комбікормів і появою відходів виробництва у вигляді лушпиння соняшнику, що вимагають значних витрат на їх утилізацію, було ухвалено рішення про будівництво нової котельної з котлом, що використовує як паливо лушпиння соняшнику.

Проект котельні виконаний на підставі завдання на проектування, виданого ТОВ «Енергетична компанія «Трансенерго» м. Одеса.

Проект виконаний відповідно до норм, що діють, і правил:

- ДБН В.2.5-77:2014 Котельні «Котельні установки»;
- ДНАОП 0.00-1.08-94 «Правила монтажу і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів»

По надійності відпустки тепла споживачам котельня відноситься до другої категорії.

В новій котельні встановлено котел типу «JNO-HD» бельгійської фірми «Vyncke», паропродуктивністю 10 т/год. (рис.3.1-3.7). Продуктивність встановленого котла забезпечує покриття потреби в пари для технологічних процесів основного виробництва і потреб опалення та вентиляції.

Таблиця 3.1

Обсяги теплового навантаження котельні Миронівського ЗІКК, яка працює на лушпинні соняшника

№п/п	Вид споживання	Од. виміру	Теплове навантаження
1.	Технологічні потреби: (маслопресовий цех і комбікормовий цех)	т/год (Гкал/год)	6,5 (3,5)
2.	Опалювання і вентиляція	Гкал/год	1,6
3.	Власні потреби котельної	Гкал/год	0,1
4.	Втрати в теплових мережах	Гкал/год	0,15
	РАЗОМ		5,35

Теплова потужність котельної складає 6,28 МВт (5,4 Гкал/год).

При розробці технологічних рішень прийняті наступні початкові дані:

- вид палива - лушпиння соняшнику з нижчою теплотою згорання -18000 кДж/кг (4296 ккал/кг);
- вид і параметри теплоносія на виході з котельній - пара з температурою 186 °С і тиском 1,1 МПа (1.1 кг/см<sup>2</sup>).

Таблиця 3.2

Технічні характеристики котла «JNO-HD» бельгійської фірми «Vyncke», встановленого на Миронівському ЗІКК

№п/п	Основні показники	Одиниця вимірювання	Значення параметру
1	Номінальна	т/год	10,0
		Гкал/год	5,4
2	Розрахунковий тиск пари	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,2 (12)
3	Робочий тиск пари	Мпа(кгс/см <sup>2</sup> )	1,1 (11)
4	Температура живильної води	°С	104
5	Розрахунковий ККД котла	%	85
6	Витрата палива (лушпиння соняшника)	кг/год	1900

Повернення конденсату в котельню становить:

- від технології з маслопресового і комбікормового цехів - 0,5 т/год з температурою 80 °С;
- від системи опалювання і вентиляції 3 т/год (100%) з температурою 80 °С.

Скидання дренажних вод від котельної здійснюється в продувочний колодязь.

Відведення димових газів від котла здійснюється в металевий димар заввишки 45м і діаметром 1,0 м.

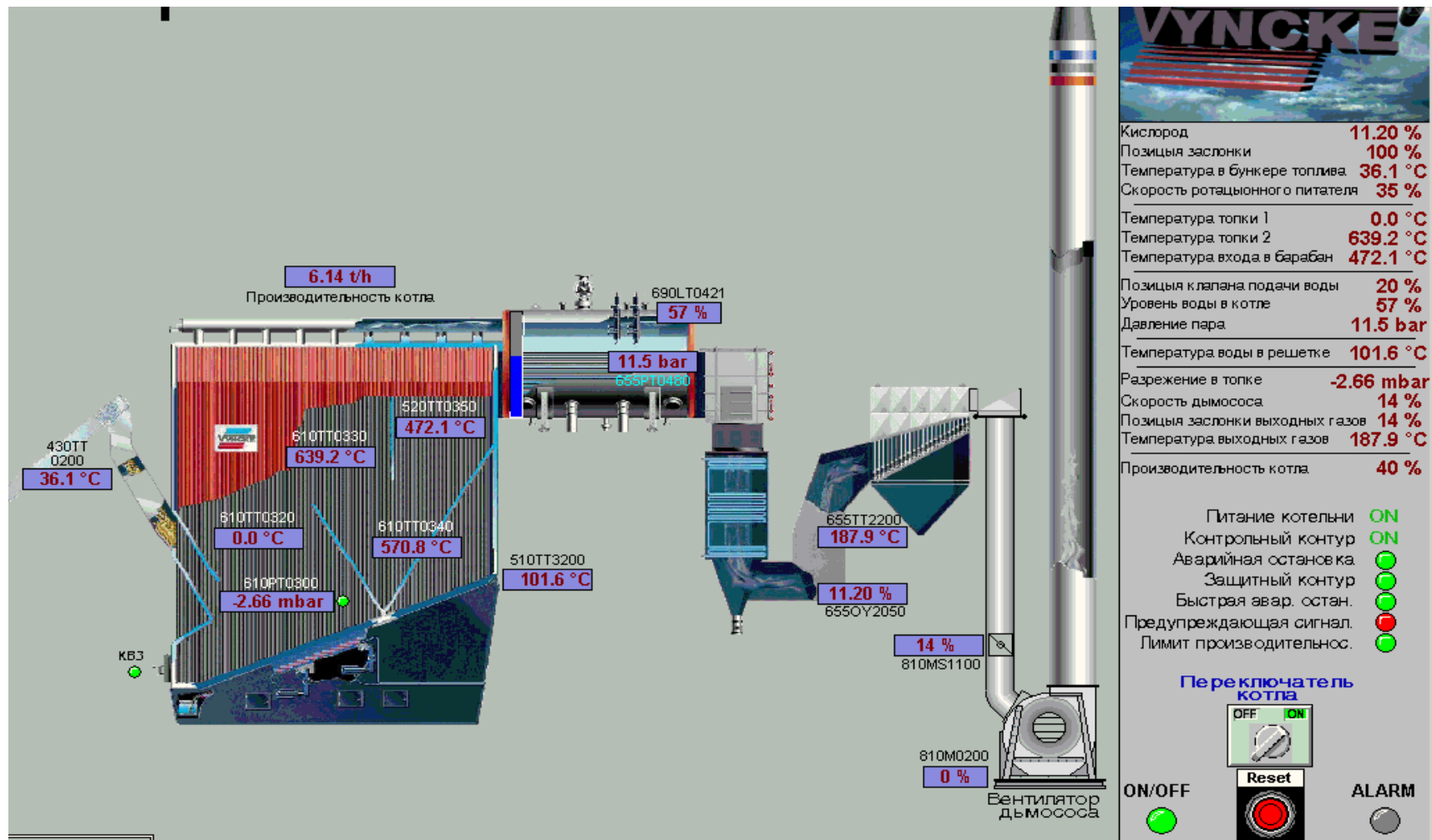


Рис. 3.1. Технологічна схема котла «JNO-HD» бельгійської фірми «Vyncke», встановленому на Миронівському ЗКК

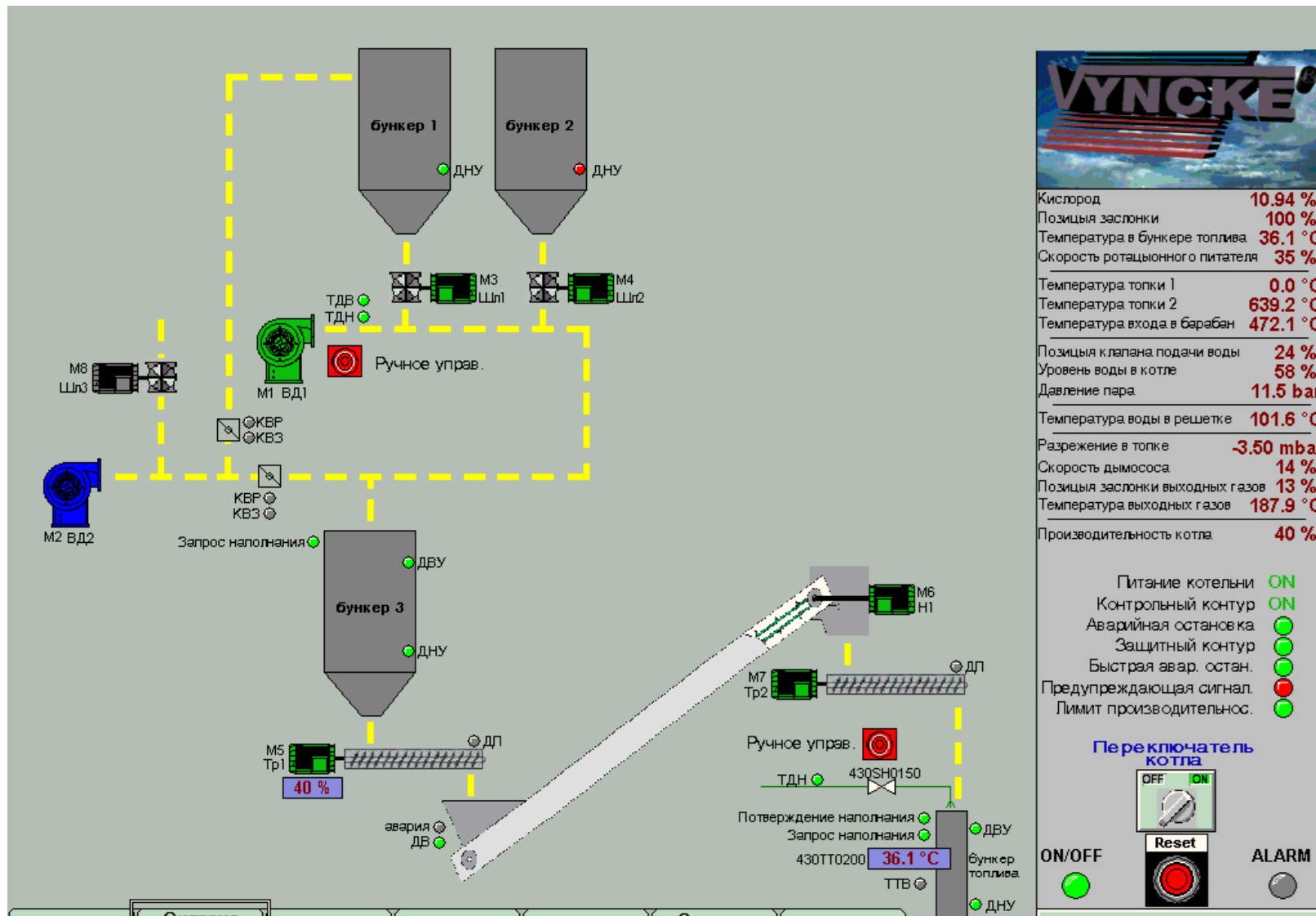


Рис. 3.2. Схема системы живлення котла «JNO-HD» бельгійської фірми «Vyncke», встановленому на Миронівському ЗКК

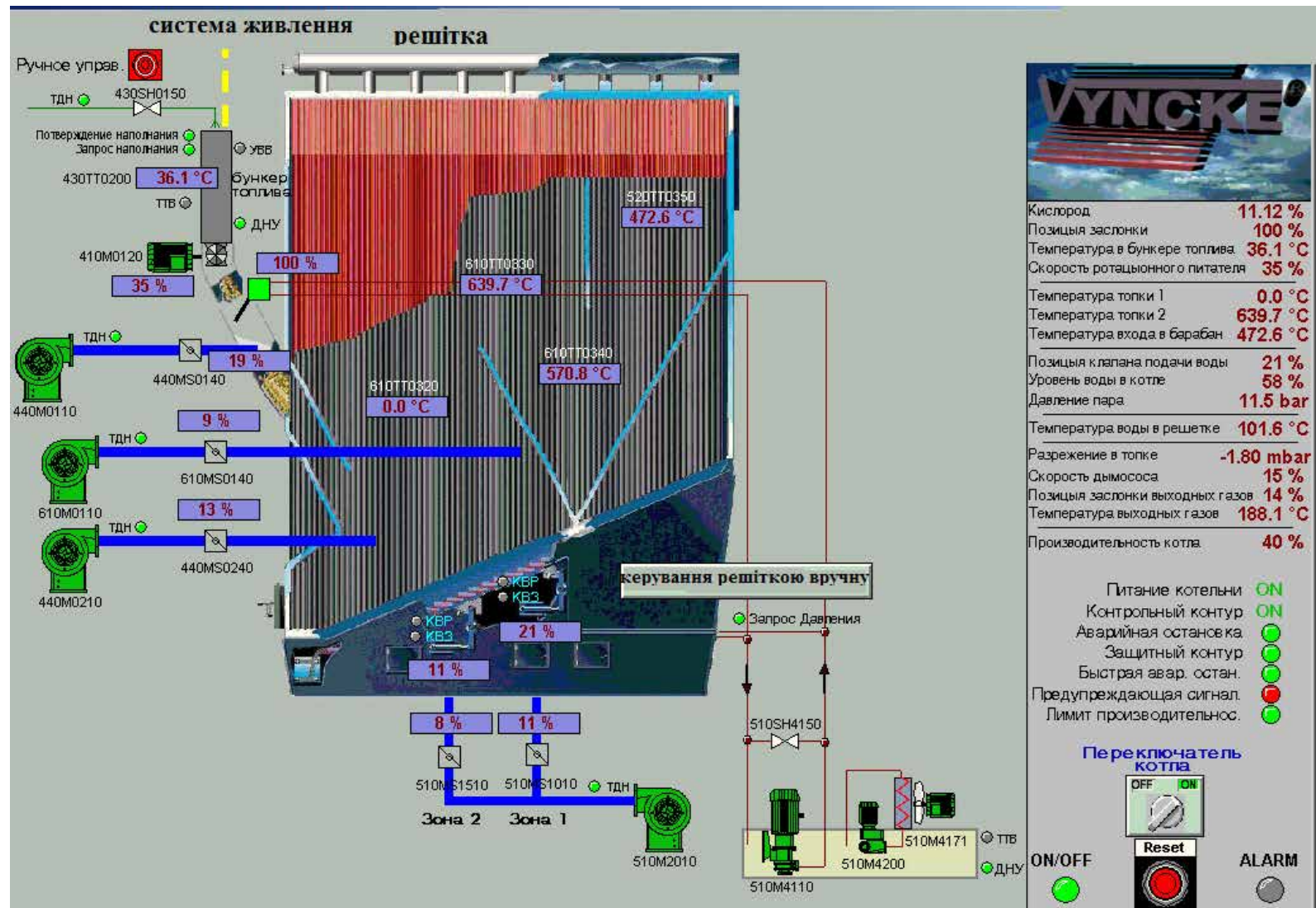


Рис.3.3. Паро-водяний контур котла «JNO-HD» бельгійської фірми «Vyncke», встановленому на Миронівському ЗКК

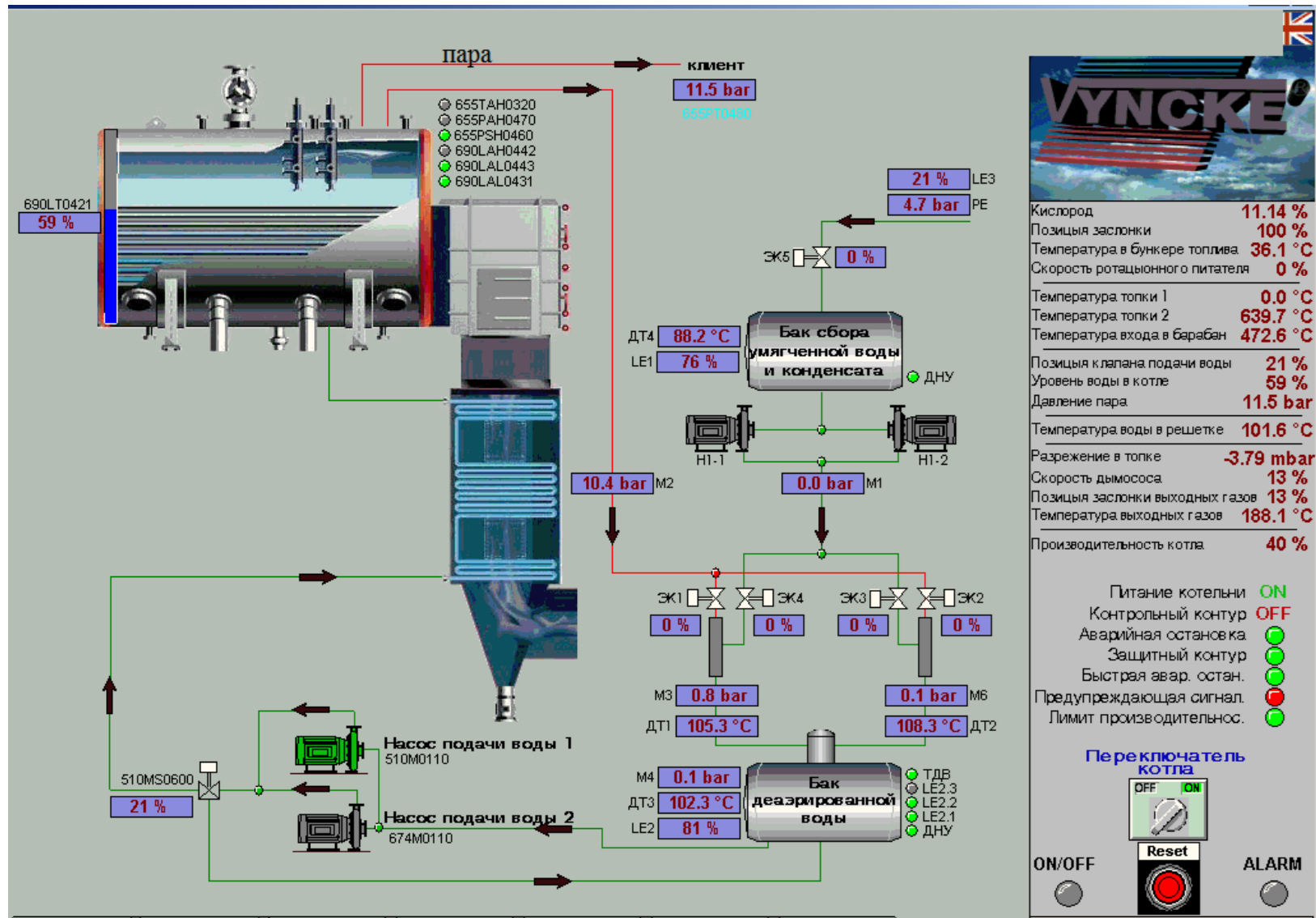


Рис.3.4. Паро-конденсатный контур котла «JNO-HD» бельгийской фирмы «Vyncke», встановленому на Миронівському ЗКК

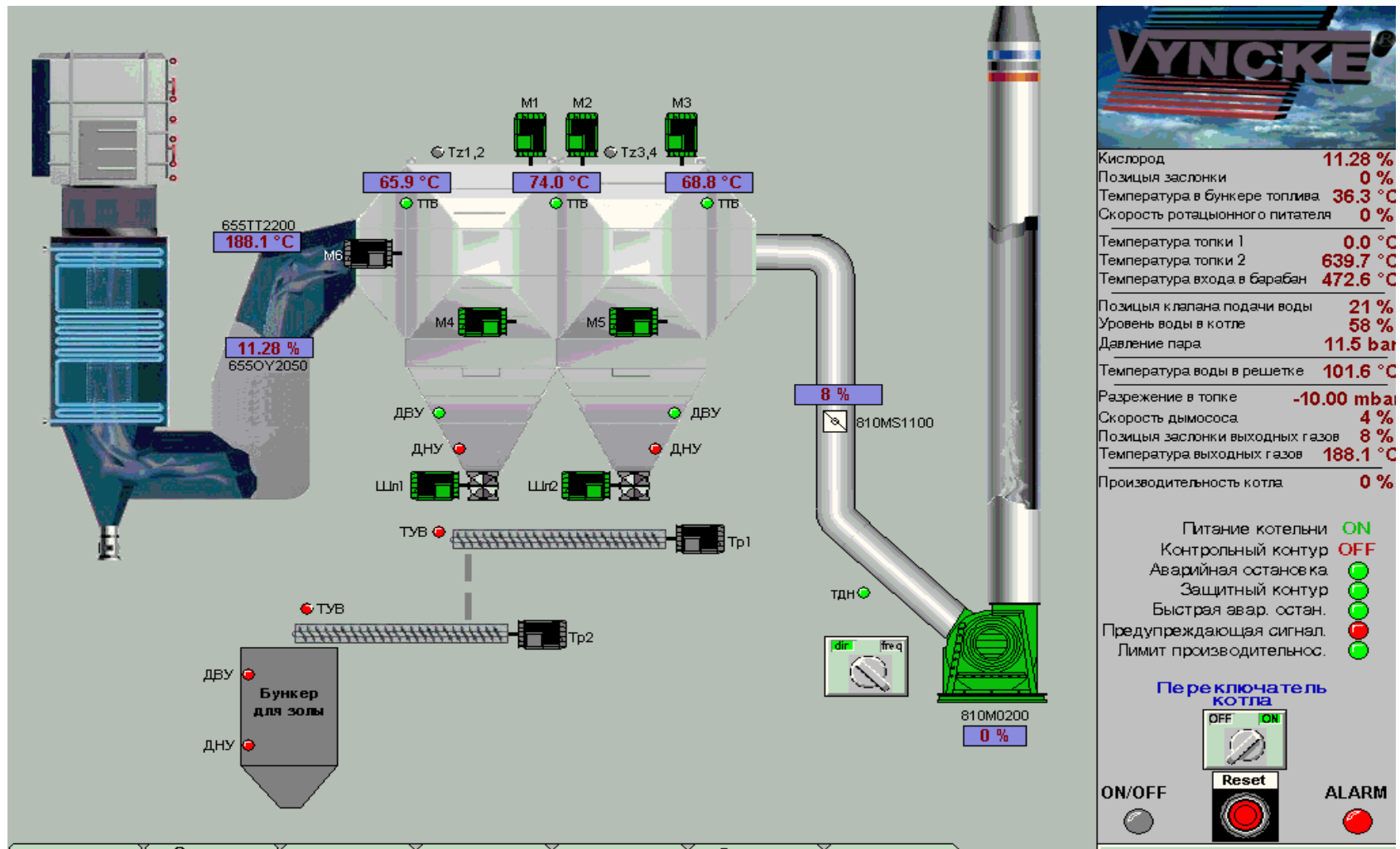


Рис.3.5. Димо-газовый контур та система золовидалення котла «JNO-HD» бельгійської фірми «Vyncke»

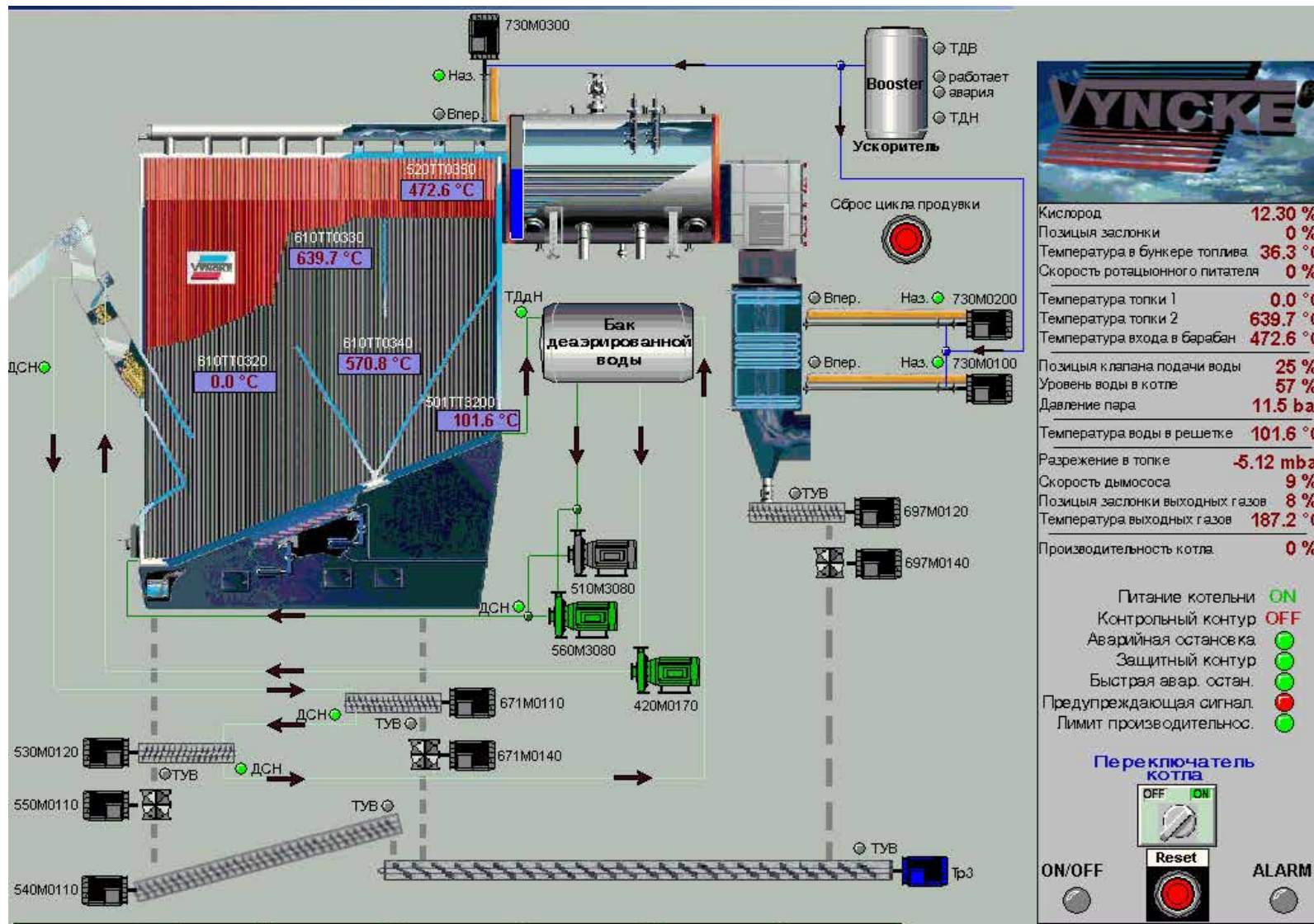


Рис.3.6. Водяной контур та система золовідалення котла «JNO-HD» бельгійської фірми «Vyncke»

## Запуск

Питание котельни включено  
 Управляющая цепь в норме

**Контрольный контур**

Фактическая величина управляющей цепи **11.4 bar**  
 Установленная величина управляющей цепи **10.4 bar**  
 Остановка котла при максимальном давлении **11.5 bar**  
 Перезапуск котла при давлении дельта **0.5 bar**

Переключатель давления пара в норме  
 Аварийная остановка в норме  
 Защитный контур в норме  
 Безопасная остановка в норме  
 Аварийная сигнализация в норме  
 Установленная DWS производительность в норме

**Установленная DWS производительность**

Фактическая величина **571.3 °C**  
 Установленная температура печи DWS в норме **350.0 °C**  
 Температура дельта **50.0 °C**  
 Лимит производительности **45 %**  
 Максимальная производительность **75 %**

Паровая безопасность  
 Питательные насосы работают  
 Регуляция уровне воды работает

Насосы охлаждающей решетки работают  
 Охлаждающая заслонка и шнеки работают  
 Вентилятор дымососа работает  
 Верхний воздух работает  
 Вторичный воздух работает  
 Нижний воздух работает  
 Первичный воздух работает  
 Решетка работает  
 Отделитель работает  
 Гидравлические части работают  
 Удаление золы DWS работает  
 Части удаления золы работают  
 Удаление золы ECO работает  
 Продувка  
 Система питания


производительность

aut

man

/

Ручное управ. **45 %**    **0 %**



Кислород	<b>13.13 %</b>
Позиция заслонки	<b>0 %</b>
Температура в бункере топлива	<b>36.3 °C</b>
Скорость ротационного питателя	<b>0 %</b>
Температура топки 1	<b>0.0 °C</b>
Температура топки 2	<b>639.7 °C</b>
Температура входа в барабан	<b>472.6 °C</b>
Позиция клапана подачи воды	<b>29 %</b>
Уровень воды в котле	<b>56 %</b>
Давление пара	<b>11.4 bar</b>
Температура воды в решетке	<b>101.6 °C</b>
Разрежение в топке	<b>-4.72 mbar</b>
Скорость дымососа	<b>9 %</b>
Позиция заслонки выходных газов	<b>9 %</b>
Температура выходных газов	<b>185.5 °C</b>
Производительность котла	<b>0 %</b>

Питание котельни **ON**  
 Контрольный контур **OFF**  
 Аварийная остановка   
 Защитный контур   
 Быстрая авар. остан.   
 Предупреждающая сигнал.   
 Лимит производительнос.

**Переключатель котла**

ON/OFF

Reset

ALARM

Рис.3.7. Запуск котла «JNO-HD» бельгийської фірми «Vyncke» (відображення на екрані управляючої ПЕОМ)

**Компонувальні рішення.** Котельне устаткування розміщується в будівлі котельної з розмірами в плані 12х24 м.

У котельному залі на відм. 0.000 встановлені:

- один котел типу «JNO-HD» в комплекті з допоміжним устаткуванням, що поставляється бельгійською фірмою «Vyncke» (рис.3.1);
- бак збору конденсату і хімічищеної води об'ємом 5 м<sup>3</sup>;
- два циркуляційні насоси типу Willo.

Біля котла на майданчику + 9,650 (у осях 1-2 по ряду Г) розміщена деаераціонно-живильна установка КДДА -12, продуктивністю 12 т/год з сгрумінно-циклонною деаераційною колонкою ДСЦА, розробки І.Ц. «Трансзвук» і деаераторним баком  $V = 10 \text{ м}^3$ .

Тут же на майданчику 13,650 встановлений циклон охолоджувач з утилізацією теплоти охолодження розробки І.Ц. «Трансзвук».

На майданчику +6,915 (у осях 3-5 по ряду Г) встановлений блок сепаратора безперервного продування, парові колектора з вузлом редукування. На майданчику 4.380 встановлений охолоджувач випару.

Технологічна схема котельної показано на рис. 3.1. Поза будівлею котельної розміщуються:

- електрофільтр;
- димосос;
- продувочний колодязь;
- димар (рис.3.8);
- накопичувальний бункер лущиння соняшнику  $V=220 \text{ м}^3$  (рис.3.9).

**Теплова схема котельної.** Пара від котла тиском  $P=11 \text{ кгс/см}^2$  йде на паровий колектор звідки подається на:

- виробничі потреби (по трубопроводу діаметром 159мм;
- редуційну установку, де редукується до тиску  $P=2 \text{ кг/см}^2$ ;
- деаераційно-живильну установку.

Конденсат, що повертається в котельню, збирається в баку збору конденсату і хімічищеної води. Хімічищена вода від водопідготовчої установки (рис.3.10), пройшовши через охолоджувач випару, поступає в бак збору конденсату і хімічищеної води, звідки суміш конденсату і хімічищеної води за допомогою насосів перекачується через теплообмінник безперервного продування в деаераційну колонку типу ДСЦА. У деаераційній колонці відбувається дегазація хімічищеної води, яка, потім, поступає в деаераторний бак, звідки за допомогою живильних насосів, що входять в комплект постачання фірми «Vyncke», поступає в економайзер і далі на живлення котла.

Тепловою схемою котельної передбачена установка охолодження живильної води, що йде на охолодження грат котла. Живильна вода з деаераторного бака з температурою  $104^{\circ}\text{C}$  поступає на циркуляційні насоси «Vyncke» лінії системи охолодження грат.

Вода, що повертається від охолодження грат температурою  $114^{\circ}\text{C}$ , подається в циклон-охлоджувач (розробка И.Ц. «Трансзвук»), де охолоджується до температури  $104^{\circ}\text{C}$  і повертається назад в деаераторний бак.

Скидання дренажних вод проводиться в продув очний колодязь.

У проекті виконаний облік витрат:

- пари від котла (рис. 3.11);
- пари на виробничі потреби;
- конденсату.

**Паливоподача.** У проекті котельні Миронівського ЗІКК, яка працює на лушпинні соняшника прийнята наступна схема паливоподачі – пневмотранспортна установка нагнітального типу середнього тиску.



Рис.3.8. Димовідвідна труба котла «JNO-HD» Миронівського ЗІКК



Рис.3.9. Бункер-накопичувач соняшникового лущиння



Рис.3.10. Апаратура хімводопідготовки



Рис.3.11. Паровитратомір

Для створення добового запасу палива біля котельній у осі «1» по ряду «Г» на відокремленому майданчику на власній металоконструкції встановлюється бункер-накопичувач типу «Лорд» (рис.3.9). У проекті передбачається два варіанти подачі лушпиння соняшнику у бункер-накопичувач:

1. За допомогою існуючого компресора з бункерів, встановлених у масло пресовому цеху.
2. За допомогою окремого компресора по трубчатому паливопроводу від існуючих бункерів.

Для кріплення паливопроводів використовується естакада.

З бункера-накопичувача лушпиння за допомогою норії металевої Н-10/20 поступає у витратний бак котла (постачання фірми «Vynske») і далі – в бункер паливоподачі котла.

**Золошлаковидалення.** При спалюванні палива негорючі складові залишаються в топці або виносяться з димовими газами.

Шлак і зола, лушпиння соняшнику, що утворюється після спалювання, збираються в бункер, розташований безпосередньо під водоохолоджуваними зольними ґратами котла і в бункер під економайзером.

З бункера шлак і зола за допомогою водоохолоджуваного шнека вивантаження золи перевантажуються в контейнер золи.

Вивіз шлаку і золи з котельної проводиться в контейнерах з допомогою електрокари.

Контейнера вивозяться в склад габаритом 6,0х7,0 м, розміщений біля будівлі котельної. До складу передбачається під'їзд автотранспорту.

Кількість контейнерів - 30 шт, що складає 3-х добовий запас.

**Автоматизація.** Програмований логічний регулятор, встановлений на пульті управління, контролює роботу котла (рис.3.7). Регулююча система виконує наступні основні функції:

- постійний моніторинг головних показників процесу (температур, вмісту кисню в димовому газі, розрідження в топці);

- автоматизований контроль процесу для оптимального управління котлом, що складається з трьох контрольних контурів:
  - тиск пари і контроль температури(PIС);
  - контролю рівня води в паровому котлі (LIC);
  - регулювання розрідження в топці.
  - Автоматизація передбачає постійний контроль безпечної роботи устаткування і подачу сигналів у разі відхилень від заданої програми.

Автоматизація установки передачі соняшникового лушпиння в котельню передбачає:

1.Контроль рівнів лушпиння в накопичувальному бункері (силосі) і приймальному бункері котельної установки датчиками-реле рівня типу PIС-101-021И;

2.Видача команди на закриття або відкриття затворів, клапанів «Норії» досягши граничних значень рівнів лушпиння в бункері-накопичувачі і приймальному бункері котельної установки.

3.Видача сигналів на пульт управління про наповнення і спорожнення накопичувального бункера і приймального бункера котельної установки.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом електроприлади необхідно занулити, а також необхідно виконувати правила пожежної безпеки і правила техніки безпеки згідно «Правил експлуатації електроустановок споживачів» і «Правил устрою електроустановок».

### **Заходи щодо охорони навколишнього середовища.**

При спалюванні палива з димаря котельної в атмосферу викидаються шкідливі речовини (СО, N0<sub>2</sub>) і зола у вигляді пилу.

Проектом передбачено зниження концентрації шкідливих речовин в приземному шарі шляхом розсіювання димових газів за допомогою димаря заввишки 45м, діаметром 1000 мм

Для уловлювання золи, що міститься в димових газах за котлом встановлюється електрофільтр типу ЭФД1-24-2-1К1 продуктивністю 49000 м<sup>3</sup>/год, площею активного перетину 24 м<sup>2</sup>.

Видалення уловленого пилю і золи з електродів електрофільтру механічне, періодичним струшуванням.

### **Охорона праці і техніка безпеки.**

Для забезпечення вимог техніки безпеки і охорони праці в робочому проекті передбачені наступні заходи:

- компоновка устаткування забезпечує вільний доступ до нього, безпека при монтажі, експлуатації і ремонті;
- автоматизація роботи технологічного устаткування, забезпечення захисту від аварійних режимів;
- оперативна, попереджувальна і аварійна сигналізація;
- огорожа рухомих частин механізмів;
- теплоізоляція гарячих поверхонь устаткування, арматури і трубопроводів;
- аварійне освітлення в необхідних місцях;
- захист від поразки електрострумом;
- заземлення струмоведучих частин;
- протипожежні пости, інвентар;
- зниження рівня виробничого шуму, що впливає на людину на робочих місцях;
- приміщення оснащені відповідними системами опалювання, вентиляції і освітлення;
- рівень звуку на робочому місці оператора складає 75 дБ.

Багато відходів, що залишаються можуть використовуватись не лише для тепло- енергозабезпечення технологічних процесів заводу. Перспективним напрямком є гранулювання лушпиння (рис.3.12) насіння соняшника (соняшникової лузги) і його реалізація в якості палива.

Таблиця 3.3

## Техніко-економічні показники роботи котельної

№п/п	Найменування показників	Одиниця вимірювання	Показник
1.	Розрахункова продуктивність	МВт Гкал/год	6,2 5,35
2.	Установлена продуктивність	МВт Гкал/год	6,26 5,4
3.	Річне виробництво тепла	Гкал	42800
4.	Річна відпуск тепла	Гкал	40800
5.	Річне число годин використання встановленої продуктивності		8000
6.	Річна витрата палива	тис. т.у.п	6,85
		тыс.т лушпини	11,16
7.	Питома витрата умовного палива на 1 Гкал відпущеного тепла	кг.у.п/Гкал	168

З введенням в експлуатацію нової котельної існуюча котельна використовується як резервна.

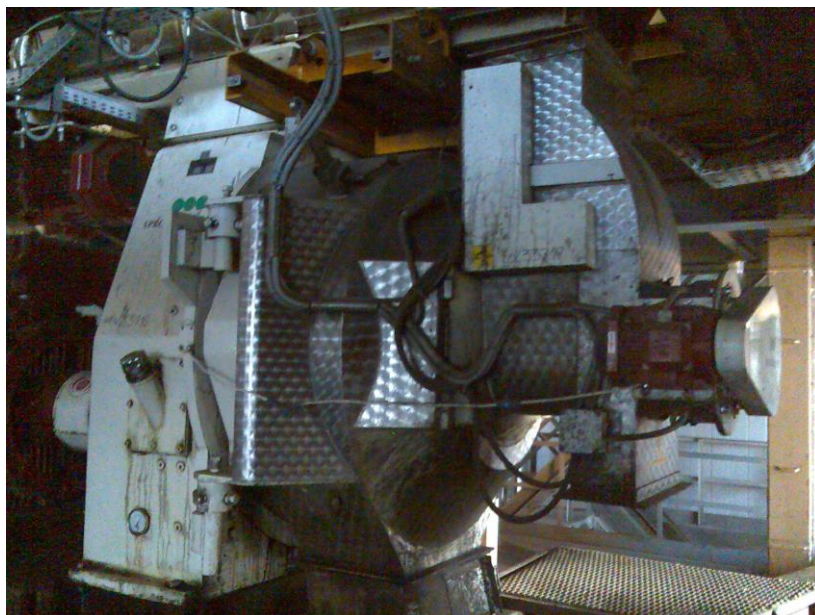


Рис. 3.12. Прес-гранулятор та паливні гранули з соняшникового лушпиння

### 3.2. Особливості роботи парового котла на соняшниковій лушпинні

До теперішнього часу в більшості котельних цих підприємств для вироблення технологічної пари використовують традиційні дорогі і дефіцитні види палива - газ і мазут. Заміна традиційних палив на лушпиння дозволить утилізувати її безпосередньо на переробних підприємствах і отримати значний економічний і екологічний ефект. Проте, не дивлячись на явну вигоду застосування вказаної технології утилізації лушпиння, практична широка її реалізація стримується відсутністю надійно працюючих топкових пристроїв і котлів для спалювання лушпиння, що обумовлене специфічними властивостями лушпиння як палива.

#### 3.2.1. Характеристика соняшникового лушпиння, як палива

Лушпиння, як паливо, по складу горючої маси і золи близька до деревини: має невелику зольність (2-7%), великий вихід летючих ( $\approx 80\%$ ), швидко запалає, добре газифікується, нижча теплота згорання складає 16750 - 17580 кДж/кг. Проте, на відміну від деревини у складі золи лушпиння міститься підвищена кількість оксидів лужних металів, оксидів кальцію (CaO), кремнію (SiO<sub>2</sub>), алюмінію (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) та ін.

У топковому процесі під впливом високих температур і газового середовища складові золи взаємодіють один з одним, утворюючи низькотемпературні евтектики. Особливо легкоплавкі евтектики утворюються на основі SiO<sub>2</sub> і Na<sub>2</sub>O [1].

Температура плавлення цих евтектик залежить від співвідношення компонентів і може складати 800 °C і нижче. Наявність в пилу в димових газах і шлаку таких легкоплавких евтектик викликає посилене шлакування як радіаційних, так і конвективних поверхонь нагріву котла, що накладає серйозні обмеження на організацію і параметри топкового процесу.

На жаль, до теперішнього часу не досліджені в достатній мірі ні властивості золи лушпиння, ні умови її спалювання. Тому при розробці

топкового пристрою можна в першому наближенні керуватися даними про особливості спалювання деяких марок бурого вугілля (Кансько-ачинського, Югославських, Німецьких і ін.), склад і властивості золи яких близькі до таких золи лушпиння.

Характеристики плавкості золи визначаються складом продуктів її розкладання. Продукти термічного розкладання початкових мінералів, що складаються з кислих ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) або основних ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) оксидів, вельми тугоплавкі. В той же час евтектики, що утворюються при їх взаємодії, легкоплавкі. Мінімальна температура плавлення евтектики виходить при приблизно рівному відношенні молей кислих і основних оксидів. Присутність в золі лужних металів – калію і натрію - зменшує температуру плавкості золи. При вмісті в золі понад 3 %  $\text{Na}_2\text{O}$  шлакуючі властивості палива виявляються більшою мірою [1].

Дослідження і досвід експлуатації котлів показали, що інтенсивність утворення відкладень залежить від хімічної активності золи, що наноситься на поверхні труб, інтенсивності випромінювання факела, температури поверхні труб, коефіцієнта надлишку повітря в топці і інтенсивності масопереносу від продуктів згорання до поверхні. Забруднення екранів починається з моменту механічної і хімічної взаємодії частинок золи і шлаку з металом, що відбувається під впливом газового середовища, що наноситься на поверхню. Зчеплення частинок залежить від сили молекулярного тяжіння і параметрів первинної шорсткості поверхні.

Як впливає з наявності в золі палива кальцію і сірки утворюються евтектики,  $\text{CaS}$ , що містять +  $\text{CaSO}_4$ , температура плавлення яких складає 850 °С.

Шлакуючі властивості золи можна заздалегідь оцінити по показнику шлакованості  $R$ , визначуваному по хімічному складу золи:

$$R = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \cdot \text{Na}_2\text{O} \quad (3.1)$$

Розплавлені шлаки лушпиння можуть, крім того, надавати роз'їдаючу дію на вогнетривкі елементи топкових пристроїв і газоходів, тим паче, що в лушпинні міститься сірка (до 0,5 %).

### 3.2.2. Особливості спалювання лушпиння

Принципово соняшникове лушпиння можна спалювати при двох режимах - високотемпературному і низькотемпературному. Високотемпературний режим реалізується, як правило, спалюванням додаткового висококалорійного палива - мазуту або природного газу. Особливістю високотемпературного режиму спалювання є повне проплавлення і усереднювання всієї маси золи з освітою вказаних вище легкоплавких евтектик, а також сублімацією частини золи з утворенням найдрібніших частинок віднесення. При цьому утворюється рідкий шлак в топці, відбувається шлакування топкових і притопочних поверхонь нагріву, інтенсивне занесення конвективних поверхонь нагріву летючою золою. Особливо міцні відкладення утворюються при їх сульфатизації, тобто при реагуванні оксидів сірі з первинними відкладами золи. При підсвічуванні топки мазутом процес сульфатизації посилюється, оскільки до оксидів сірі, що утворюється від згорання сірки лушпиння, додаються оксиди сірі від згорання мазуту.

Особливістю низькотемпературного спалювання лушпиння є відсутність високотемпературної сублімації золи, взаємодії CaO з іншими компонентами, тобто температурне перетворення кожного компоненту протікає незалежно від інших компонентів золи. В результаті утворюється зола з високою температурою плавлення, що запобігає її спіканню і розплавлення і виключає появу рідкого шлаку і шлакування поверхонь нагріву.

Низькотемпературний топковий процес можна реалізувати, використовуючи двоступінчасту схему горіння, за рахунок недостатньої для повного спалювання лушпиння подачі дуття в першій зоні (коефіцієнт витрати повітря  $\alpha = 0,6 \div 0,7$ ) і допалюванням продуктів неповного згорання у другій зоні. Низькотемпературне спалювання можна забезпечити також за рахунок

залишкової подачі дуття (коефіцієнт залишку повітря  $\alpha \approx 0,2$ ), рециркуляції димових газів і інтенсивним охолодженням топки екранами.

При спалюванні лушпиння з недоліком повітря в першому ступені можуть утворюватися смолянисті речовини, що підсилюють забруднення поверхонь нагріву.

За досвідченими даними, отриманими при низькотемпературному спалюванні бурого вугілля, спостерігається зниження викидів оксидів сірі за рахунок їх взаємодії з CaO і з'єднаннями лужних металів. Розглянуті особливості горіння лушпиння відносяться як до факельного, так і до шарового способу спалювання.

На сьогодні в СНД немає котлів, що серійно виготовляються, і топок, призначених для спалювання лушпиння. Існуючі казани створені на базі котлів типу КЕ, ДКВР і інших твердопаливних котлів. Основні висновки, які можна зробити за наслідками роботи цих котлів:

- лушпиння може добре спалюватися у факельно-шарових і шахтних топках при низькому форсуванні топкового процесу, що придатне для котлів малої потужності або можливо при 1,5-3 кратному зниженні паровиробництва котлів середньої потужності;
- велике винесення легких парусних частинок лушпиння вимагає їх надійного утримання в топці в процесі спалювання;
- має місце підвищена пожежобезпечність котельних установок із-за накопичення в димарях і золоперехоплювачах недопалювання, зокрема у вигляді зерен, що не догорають;
- навіть при малій зольності лушпиння, можливе утворення великих надтрубних відкладень, що перешкоджають роботі котла;

Найбільш могутні надтрубні відкладення формуються в топці і на перших трубах котельного пучка. По структурі ці відкладення жорсткі, але крихкі. При руйнуванні ці відкладення утворюють ті, що не крупні відносяться потоком газів шматки, які заповнюють газохід. У зоні нижчих температур в котлі і економайзері відкладення рихлі, такі, що легко видаляються.

Шлакуюча здатність золи росте із зростанням температури в топці. Температура розм'якшення золи із-за наявності в складі до 15 % CaO і оксидів лужних металів, як зазначено вище, досить низька і вже при температурі на виході з топки  $850 \div 900$  °C шлакування поверхонь нагріву набуває лавиноподібний характер. Тому для спалювання лушпиння потрібний низькотемпературний режим в топці.

### 3.2.3. Пропонована конструкція топкового пристрою

Принцип спалювання лушпиння - факельне спалювання у фонтануючому киплячому шарі. Великий об'єм топки (теплонапруженість топкового об'єму  $160 \cdot 10^3$  Вт/м<sup>3</sup>), установка двокольорового екрану, рециркуляція димових газів, організація горіння з великим коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha \approx 1,8$ , також своєчасне обдування екранів стислим повітрям дозволяє тримати температуру газів на виході з топки в діапазоні 700

Топка складається з 3-х об'ємних зон:

- нижня зона – під топки з фонтануючим шаром лушпиння. У цій зоні відбувається початкове горіння крупних частинок лушпиння;
- середня зона – конічна частина об'єму топки. У цій зоні відбувається горіння середніх і крупних частинок лушпиння;
- верхня зона – призматична частина об'єму топки. У цій зоні відбувається опалювання СО і дрібних частинок лушпиння.

Середня і верхня зони топки виконують також роль гравітаційного сепаратора частинок лушпиння, що виключає необхідність застосування традиційних гарячих циклонів в схемі ЦКС.

З метою підвищення ефективності гравітаційного сепаратора на виході з верхньої зони встановлюється слабконахилені дросельні ґрати з опором 10 кгс/м<sup>2</sup>.

Для зниження температури газів на вході в котельний пучок перед дросельною стелею встановлений ширмовий радіаційний пароперегрівач замість традиційного для таких котлів конвективного пароперегрівача,

котельного пучка, що розташовується в зоні.

Завантаження лушпиння здійснюється пневмотранспортом в середню зону топки.

Постійне відведення золи з нижньої зони топки відсутнє.

Комбіновані плоскофакельні пальники забезпечують розігрівання топки на резервному паливі (природному газі) і подачу лушпиння в топку. Горіли розташовуються з фронту топки. Помел лушпиння перед спалюванням не проводиться.

Основне повітря на горіння подається через під, що є ґратами, виконаними у вигляді довгих паралельних щілин. Ширина щілин забезпечує оптимальну швидкість повітря  $W_B$ , яка перевищує швидкість вітання максимальних по розміру частинок лушпиння, в той же час забезпечує видалення в бункер, розташований під решіткою, ядер соняшника і шматків, які спеклися, золи, які мають швидкість вітання  $W_3 > W_B$ . Ядра і зола видаляються транспортером в бункер золи.

#### 3.2.4. Повітряний режим роботи котла

Для розрахунку режиму роботи топки при спалюванні лузги пропонується наступна методика.

Рівняння балансу витрат повітря

$$V_B^{ОРГ} = V_B^{ТР} + V_B^Г + V_Л^Ф, \quad (3.2)$$

де  $V_B^{ОРГ}$  - загальна витрата повітря, що організовано подається в топку повітря;

$V_B^{ОРГ} = V_B^{ТР} + V_B^Г + V_Л^Ф$  - витрата транспортного повітря, що потрапляє в топку з лушпинням;

$V_B^Г$  - витрата додатково повітря, що організовано подається в топку, через пальники;

$V_L^\Phi$  – витрата повітря, необхідного для згорання лушпиння у верхній зоні топки.

Після перетворення рівняння (1), отримаємо

$$V_L \cdot V_B^0 \cdot \alpha_T^{\text{ОРГ}} = \frac{V_L}{\mu} + \kappa_r \cdot (V_L \cdot V_B^0 \cdot \alpha_T^{\text{ОРГ}}) + (1 - g_L^\Phi) V_L \cdot V_B^0 \cdot \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (3.3)$$

де  $V_L$  – витрата лушпиння;

$V_B^0$  – теоретична кількість повітря для спалювання 1 кг лушпиння;

$\alpha_T^{\text{ОРГ}}$  - коефіцієнт надлишку організованого повітря в топці;

$\mu$  – концентрація лузги в транспортному повітрі;

$\kappa_r$  – частина від загального організованого повітря в топці, яка додатково подається в топку через горілки;

$g_L^\Phi$  – частина лузги, яка згорає у верхній частині топки;

$\alpha_{\text{ПОД}}$  – коефіцієнт надлишку повітря, яке подається через черинь топки.

Після ділення рівняння (3.3) на  $V_L \cdot V_B^0$ , отримаємо

$$\alpha_T^{\text{ОРГ}} = \frac{1}{\mu \cdot V_B^0} + \kappa_r \cdot \alpha_T^{\text{ОРГ}} + (1 - g_L^\Phi) \cdot \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (3.4)$$

Основним параметром режиму горіння лушпиння, що визначає, зокрема, температуру газів в топці, є коефіцієнт надлишку повітря в зоні поду топки –  $\alpha_{\text{ПОД}}$ .

З формули (3.3) після перетворення отримаємо

$$\alpha_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_T^{\text{ОРГ}} \cdot (1 - \kappa_r) - \frac{1}{\mu \cdot V_B^0}}{1 - g_L^\Phi}, \quad (3.5)$$

Формула (3) є універсальною для котлів такого типу. Вона дозволяє контролювати паливоповітряний режим поду топки незалежно від потужності котла.

## ВИСНОВКИ

1. Поновлювані джерела енергії можуть складати значну частку в енергетичному балансі окремих районів та областей України. Вони здатні сприяти збільшенню енергетичного забезпечення регіонів, особливо для покращання забезпечення енергією у місцевостях зі слабо розвиненою енергетичною інфраструктурою.

2. Потенційно найбільше енергії з поновлюваних джерел енергії можна отримати в сільському і комунальному господарствах. Для регіонів, що страждають від безробіття, поновлювані джерела енергії породжують нові можливості у сфері створення нових робочих місць. До того ж сільськогосподарські райони, які через радіоактивне чи інше забруднення ґрунтів непридатні для вирощування рослин на харчові потреби, можуть вирощувати енергетичні культури.

3. Розвиток альтернативної енергетики в сільській місцевості — це нормальна реакція світового співтовариства на зменшення викопних запасів палива, вихід, що має реальну перспективу. Водночас використання поновлюваних джерел енергії в сільській місцевості дозволяє істотно здешевити процес агропромислового виробництва.

4. Як енергоресурси біомасу широко використовують в сільському господарстві. Для опалення застосовують побічні продукти агропромислового виробництва — солону зернових культур, стебла кукурудзи та соняшнику, гілки плодкових дерев і лозу винограду, відходи переробки очерету тощо.

5. В Україні є досвід використання біомаси як палива. Він охоплює розробку відповідних технологій виробництва біомаси, спеціальних котлів, установок та обладнання для транспортування і підготовки до зберігання соломи у вигляді брикетів, гранул і тюків тощо.

7. Найбільші економічний та енергетичний ефекти отримують при спалюванні зрубків дерев. Промислові ж відходи ( тирса, стружка тощо) перед спалюванням необхідно брикетувати, що вимагає додаткових витрат енергії,

але поліпшує ефективність спалювання.

8. Використання твердих відходів агровиробництва (солома, бадилля, лушпина соняшника) для прямого спалювання є одним із способів зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу. Тверда біомаса агровиробництва, в плані викидів в атмосферу CO<sub>2</sub> є нейтральним паливом.

9. У розвитку біоенергетики сільської місцевості у світі домінують процеси скорочення загальних витрат енергії в агропромисловому виробництві при поступовому збільшенні використання поновлюваних джерел енергії. Огляд світового досвіду свідчить, що рідкі біопалива являють собою перспективний для сільської місцевості вид енергетичних ресурсів, який займає за своїм поширенням другу позицію після твердих палив з біомаси.

10. У відповідності з державними пріоритетами в Національному аграрному університеті розроблено ресурозберігаючу технологію та відповідний комплекс машин для вирощування ріпаку на енергетичні потреби. Реальний стан сировинної бази, технологій та засобів механізації вирощування ріпаку в Україні істотно залежить від цільового інвестування та відповідної державної підтримки.

11. Використання біопалив з рослинної маси втілилися у створенні нового покоління опалювальних пристроїв, що мають при оптимальному режимі роботи коефіцієнт корисної дії у межах від 85 до 90%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р. Затверджений розпорядженням КМУ № 902-р від 01.10.2014 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>
2. Закон України «Про альтернативні види палива», Ст.1 <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>
3. Развитие децентрализованого энергопоставчання на основі нетрадиційних місцевих енергоресурсів / [за ред. Долинського АА] АВ Щурчков, ГМ Забарний, АМ Разаков – К.: ІТТФ НАН України. 2001, – 131 с.
4. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г. М. Забарний, А. В. Щурчков; НАН України. Інститут технічної теплофізики. – К., 2002. – 210 с.
5. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія // Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін – К.:«Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с.
6. Амон Т., Амон Б., Дубровин В.О. и др. Технология использования биомассы в биогазовых установках. – К.: Збірник наукових праць НАУ, 2003. №60. – С. 18-22
7. Гелетуша Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 1998.-№ 6.-С. 3-11.
8. Горбатенко В.Я., Данилин Е.А., Колосов М.В. Топочное устройство для сжигания лузги.//– Харків: НТУ «ХПІ». Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування». – 2007. – № 2. – С. 159-163.
9. Грабов Л. Н., Мерший В. Й., Грабова Т. Л., Чаплыгин С. М. Современное состояние науки и техники и перспективы развития производства

- биотоплива как источника возобновляемого вида энергии. – К.: Пром. Теплотехника. – 2003. – Т. 25. - № 4. – с. 265 – 267.
10. Грабов Л.М., Мерщій В.І. Альтернативне відновлювальне джерело енергії - біодизельне пальне з ріпаку. - Львів: журнал "Ринок інсталяції", вересень 2001. - № 5. - с.14-16.
  11. Гулько Т., Лукашевич Т., Мищенко А. Комплексное использование возобновляемых источников энергии // Междунар. сельскохозяйственный журн. — 1997. — № 19. — С. 24-26.
  12. Драганов Б.Х. Использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельском хозяйстве. – К.: Выща шк.,1988. – 56с.
  13. Драганов Б.Х., Буляндра О.Ф., Міщенко А.В. Теплоэнергетичні установки і системи в сільському господарстві / За ред. Б.Х. Драганова. — К.: Урожай, 1995. — 224 с.
  14. Дубровін В.О., Масло І.П., Шептицький О., Рожковський А., Гжибек А., Євич П., Амон Т., Криворучко В.В. БІОПАЛИВА (Технології, машини і обладнання). – К.: ЦТІ “Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с., іл. 157.
  15. Євич П., Шедива З., Дубровин В. Развитие альтернативной энергетики в сельской местности// Сб.науч.трудов ННЦ "ИМЕСХ", - Глеваха: ИМЭСХ, 2001.- Вип. 85.- С.69-76.
  16. Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербань В.В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль. «Підручники & посібники», 2001. – 984 с.
  17. Мовсесов Г.Є. Стан та перспективи одержання біогазу з відходів тваринництва в Україні. – К.: Вісн. аграрної науки, 1995.-№10.- с. 74-78.
  18. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. // –К.: Наукова думка, 1999.-314 с.
  19. Мхитарян Н.М., Кудря С.О., Щокін А.Р. Стан та розвиток використання альтернативних джерел енергії в Україні за період дії Програми НВДЕ 1997-2005р./ Відновлювана енергетика. науково-прикл. Журн. № 4(7), 2006р. – С. 7-16.

20. Шульга В. Г., Коробко В. П., Жовнір М. М. Основні результати та завдання впровадження нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії в Україні // Энергетика и электрификация. - 1995. - № 2. - С. 39-42.
21. Заміщення природного газу альтернативними паливами: наук. вид. / І. М. Карп, Є. Є. Нікітін, К. Є. П'яних, К. К. П'яних ; НАН України. Ін-т газу. - Київ: Наук. думка, 2019. - 231 с
22. Eurostat news release 27/2019, 12.02.2019  
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9571695/8-12022019-AP-EN.pdf/b7d237c1-ccea-4adc-a0ba-45e13602b428>
23. Biomass supply. Bioenergy Europe Statistical Report, 2019  
<https://bioenergyeurope.org/statistical-report.html>
24. Biomass for heat. Bioenergy Europe Statistical Report, 2019  
<https://bioenergyeurope.org/statistical-report.html>
25. Bioelectricity. Bioenergy Europe Statistical Report, 2019  
<https://bioenergyeurope.org/statistical-report.html>
26. Енергетичний баланс України за 2018-2023 р.р. Експрес-випуски Державної служби статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/> (розділ «Експрес випуски»)