USAID
ВІД АМЕРИКАНСЬКОГО НАРОДУ

ПОСІБНИК

ПІДГОТОВКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЕКТІВ ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ БІОМАСОЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

КИЇВ • 2016

ПОСІБНИК

ПІДГОТОВКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЕКТІВ ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ БІОМАСОЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

2016 р.

Цей документ розроблено для розгляду Агентством США з міжнародного розвитку (USAID).

Підготовлено Проектом USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні».

УДК 620.925:662.767]:621.311.22](477)(083.13)
ББК 31.36(4Укр)+31.354(4Укр)
П32

Авторський колектив:

Олійник Євген, Антоненко Вячеслав, Чаплигін Сергій, Зубенко Віталій

Редакція:

Гелетуха Георгій

Рецензенти:

Желєзна Тетяна, Крамар Володимир

П32 **«Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні».** Практичний посібник/За ред. Г. Гелетухи. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 104 с.

ISBN 978-966-8977-67-1.

Посібник «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні» підготовлений Проектом USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». Завдання посібника – дати відповіді на питання, що найчастіше виникають при плануванні та реалізації проектів енергетичного використання біомаси в галузі теплопостачання, висвітлити ряд технічних, економічних та організаційних особливостей, підвищити загальний рівень обізнаності суспільства щодо можливості використання біомаси.

УДК 620.925:662.767]:621.311.22](477)(083.13)
ББК 31.36(4Укр)+31.354(4Укр)

Цей документ був підготовлений завдяки підтримці, наданій Агентством США з міжнародного розвитку (USAID).

Думки авторів, викладені у цій публікації, можуть не співпадати з позицією Агентства США з міжнародного розвитку чи Уряду Сполучених Штатів Америки.

Усі права захищені.

Електронні версія Посібника доступна на сайті ГО «Агентство відновлюваної енергетики»: http://www.rea.org.ua/

Використання тексту Посібника можливе за умови посилання на джерело інформації.

Благодійна допомога. Продаж заборонено

ISBN 978-966-8977-67-1 Будь-яке використання тексту посібника без посилання на джерело інформації заборонено.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ 4
ВСТУП 5

1 БАЗОВІ ПОНЯТТЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ
1.1. Що таке біомаса? 6
1.2. Види біомаси 6
1.3. Переваги біомаси перед традиційними джерелами енергії. 7
1.4. Використання біомаси для виробництва теплової енергії в ЄС та Україні 8
1.5. Потенціал біомаси в Україні. 9
1.6. Прогноз розвитку біоенергетики до 2020 р. 10
1.7. Політика України щодо підтримки розвитку виробництва енергії з біомаси 12

2 ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ БІОМАСИ
2.1. Який вид біомаси обрати в якості палива?. 14
2.2. Логістичні схеми постачання деревної та агробіомаси 16
2.3. Договірні відносини з постачальниками біопалива 21
2.4. Організаційно-технічні рішення постачання деревної біомаси 21
2.5. Організаційно-технічні рішення по постачанню агробіомаси 28
2.6. Використання енергетичних культур 33
2.7. Гранули з соломи та їх енергетичне використання 37

3 ПРАКТИКА РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ
3.1. Технічні рішення та обладнання для виробництва теплової енергії з біомаси 41
3.2. Особливості розробки ТЕО та бізнес-плану проектів виробництва теплової енергії з біомаси 60

4 УСПІШНІ ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ 66

ДОДАТКИ 83

Додаток А. Основні виробники теплогенеруючого обладнання на твердій біомасі. . . . 84
Виробники в Україні 84
Зарубіжні виробники 86
Додаток Б. Виробники подрібнювачів деревини та соломи 88
Додаток В. Перелік виробників систем паливоподачі 89
Додаток Г. Перелік виробників газоочисного обладнання 90
Додаток Д. Коефіцієнти перерахунку та базові розрахункові формули 92
Додаток Е. Типові показники біомаси як палива 96

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

USAID	Агентство США з міжнародного розвитку
АЕС	Атомна електростанція
БАУ	Біоенергетична асоціація України
ВДЕ	Відновлювальні джерела енергії
ВКЕ	Валове кінцеве енергоспоживання
ГВП	Гаряче водопостачання
Гкал	Гігакалорія
ГОСТ	Государственные отраслевые стандарты
ДБН	Державні будівельні норми
Держнаглядохоронпраці	Державний Комітет України по нагляду за охороною праці
Директива 2009/28/ЄС	Директива 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 р. про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел
ДНАОП	Державний нормативний акт з охорони праці
дол. США ($)	Долар США
ДПП	Державно-приватне партнерство
ДСТУ	Державний стандарт України
ЄБРР	Європейський банк реконструкції і розвитку
ЄС	Європейський союз
ЖКГ	Житлово-комунальне господарство
ЗУ	Закон України
кВт	Кіловат
кВт•год	Кіловат-година
кгс/см^2	Кілограм-сила на сантиметр квадратний, одиниця вимірювання тиску
ккал	Кілокалорія
ккал/год	Кілокалорій на годину
ккал/кг	Кілокалорій на кілограм
ККД	Коефіцієнт корисної дії
КМУ, КМ України	Кабінет міністрів України
куб.м, м^3	Кубічний метр
МВт	Мегават
МВт•год	Мегават-година
МВт$_{ел}$, кВт$_{ел}$	Одиниці вимірювання потужності електричних пристроїв: Мегават, кіловат
МДж/кг	Мегаджоуль на кілограм
Мінекономрозвитку	Міністерство економічного розвитку і торгівлі України
Мінрегіон	Міністерство регіонального розвитку, будівництва та жилого-комунального господарства України
Мінфін	Міністерство фінансів України
млн. грн.	Мільйонів гривень
МСП	Малі та середні підприємства
МПа	Мегапаскаль
МФО	Міжнародні фінансові організації
н.е.	Нафтовий еквівалент
НКРЕ	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики
НКРКП	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері комунальних послуг
НКРЕКП	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг
ОВНС	Оцінка впливів на навколишнє середовище
од.	Одиниця
ООН	Організація об'єднаних націй
ПКУ	Податковий кодекс України
СЗЗ	Санітарно-захисні зони
СНиП	Строительные нормы и правила
сух. т	Сухих тонн
ТЕ	Теплова енергія
ТЕО	Техніко-економічне обґрунтування
ТЕС	Теплова електростанція
ТЕЦ	Теплоелектроцентраль
ТПВ	Тверді побутові відходи
т н.е.	тонни нафтового еквіваленту
т у.п.	тонни умовного палива
УкрСЕПРО	Українська державна система сертифікації продукції
УКТ ЗЕД	Українська класифікація товарів зовнішньоекономічної діяльності
у.п.	Умовне паливо

ВСТУП

Практичний посібник «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні» підготовлений ГО «Агентство з відновлюваної енергетики» в рамках завдання Проекту USAID «Сприяння заміщенню природного газу біомасою при виробництві теплової енергії».

Завдання цього посібника – дати відповіді на питання, що найчастіше виникають при плануванні та реалізації проектів енергетичного використання біомаси в галузі теплопостачання, висвітлити ряд технічних, економічних та організаційних особливостей, підвищити загальний рівень обізнаності суспільства в питаннях енергетичного використання біомаси.

Друге видання Посібника враховує побажання та рекомендації зацікавлених сторін, новий досвід реалізації біоенергетичних проектів в Україні за останні роки та місить актуальну на 2016 рік інформацію про стан ринку, державне регулювання та перспективи його розвитку. Авторами було зібрано значну кількість довідкових матеріалів, що можуть бути корисними при підготовці власних проектів та прийнятті найбільш оптимальних та зважених рішень.

Питання енергетичної безпеки країни, зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв, перш за все – природного газу залишаються пріоритетними напрямками державної політики в сфері енергоефективності. Стрімке зростання тарифів та вирівнювання цін для всіх категорій споживачів, позитивний досвід реалізованих проектів, державна та міжнародна підтримка, усвідомлення споживачів про необхідність пошуку альтернативних шляхів енергозабезпечення, розвиток внутрішнього ринку виробництва енергетичного обладнання сприяють подальшому стрімкому розвитку сектору біоенергетики в Україні. Прийнятий Урядом Національний план дій з ВДЕ до 2020 р ставить задачу перед сектором біоенергетики додатково замістити 5,27 млрд. м^3/рік природного газу твердим біопаливом й досягти загального заміщення газу в обсязі 7,2 млрд. м^3/рік у 2020 р. Сектор біоенергетики вже сьогодні фактично заміщує понад 1,93 млрд. м^3/рік природного газу в Україні.

Виконання поставлених цілей неможливе без швидкого нарощування енергетичного споживання аграрних відходів й біопалива з енергетичних плантацій. Потужність котлів, що працюватимуть на відходах сільського господарства й енергетичних культурах збільшуватиметься з понад 310 МВт (9% загальної встановленої потужності на біомасі) у 2013 р. до 11050 МВт (68%) в 2020. Фактично це еквівалентно росту споживання даних видів біомаси у 35 разів за найближчі 5 років.

Стимулююче тарифоутворення, передача повноважень по ліцензіювання та встановленню тарифів на місця, перехід до конкурентного ринку теплової енергії є подальшими етапами ефективного розвитку сектору теплопостачання в Україні.

Станом на кінець опалювального періоду 2015-2016 року в бюджетній сфері та ЖКГ встановлена потужність котлів на біопаливі складає понад 1 тис. Гкал, а кількість встановлених котлів близько 2000 од. На даний час, найбільш динамічно розвивається бюджетний сектор виробництва теплової енергії з використанням деревини у вигляді дров та гранул. Поступово зростає інтерес до використання деревної тріски, соломи зернових та відходів і залишків кукурудзи, енергетичних культур. Спостерігається тенденція до збільшення потужності реалізованих об'єктів. Все більше проектів виробництва теплової енергії з біомаси реалізується в секторі комунального теплопостачання де споживачами є населення. Найбільша кількість реалізованих біоенергетичних проектів в Рівненській, Житомирській, Волинській та Сумській областях. В Харківській, Кіровоградській та Запорізькій областях найбільше використовують агрогранули з лушпиння соняшника та соломи.

Понад 80 вітчизняних компаній вже освоїли випуск котлів на біомасі як для побутових, так і промислових споживачів. З'явився позитивний досвід використання солом'яних гранул в якості палива та спеціальне енергетичне обладнання. Енергетичні компанії розширяють межі своє діяльності та розвивають суміжні напрямки діяльності – вирощування енергетичних культур, логістика палива.

1. БАЗОВІ ПОНЯТТЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ

1.1. Що таке біомаса?

В загальному сенсі, біомаса являє собою органічну матерію, що утворюється популяцією в певних просторових та часових межах, та є мірою біологічної продуктивності. Ця маса матерії, що міститься в живих організмах або рослинах в момент вимірювання, оцінюється в одиницях маси (натуральна маса організмів), сухої маси (маса, що не містить води), або в енергетичних одиницях (наприклад в перерахунку на умовне паливо або калорії, Дж, кВт×год).

Основа біомаси – органічні сполуки вуглецю, які в процесі з'єднання з киснем при спалюванні або в результаті природного метаболізму виділяють тепло. Початкова енергія системи «біомаса-кисень» виникає під дією сонячного випромінювання в процесі фотосинтезу, що є природним варіантом перетворення сонячної енергії. За допомогою хімічних або біохімічних процесів біомаса може бути трансформована в інші види палива або в кінцеву енергію. При спалюванні біомаси кисень з атмосфери і вуглець, що міститься в рослинах, вступають в реакцію з утворенням двоокису вуглецю і води. Процес є циклічним, тому що двоокис вуглецю, що виділився при спаленні, може знову брати участь у виробництві нової біомаси.

Згідно визначення, наведеного в директиві Європарламенту та Ради Європи 2009/28/ЕС, біомасою є речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу – продукти, відходи та залишки сільського господарства (включаючи речовини рослинного та тваринного походження), лісового господарства та пов'язаних з ними галузей, враховуючи рибальство та рибництво, а також частина промислових та побутових відходів, що зазнає біологічного розкладу.

В законодавстві України визначення біомаси як сировини для енергетичного використання міститься в Законі України (ЗУ) «Про альтернативні види палива»: біомаса – невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу.

На такому визначенні біомаси базується визначення поняття біологічних видів палива (біопалива): тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива.

Стосовно виробництва електроенергії з біомаси, в Україні діє схоже визначення, наведене в ЗУ «Про електроенергетику»: біомасою є невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження у вигляді відходів лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства та технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, що зазнає біологічного розкладу, а також складова промислових або побутових відходів, що здатна до біологічного розкладу.

1.2. Види біомаси

Походження біомаси може бути досить різноманітним, починаючи з відходів та залишків сільського господарства, харчової промисловості, домашнього господарства і закінчуючи відходами комунального господарства. Джерелом біомаси є також відходи деревини в лісовому господарстві, деревообробній та целюлозно-паперовій промисловості. Для виробництва біомаси використовуються також спеціальні енергетичні культури, що дають швидкий приріст маси (верба, тополя, платан), або певних сортів трав'янистих рослин (міскантус, просо, сорго та ін.). До енергетичних культур також можна віднести ріпак, соняшник для виробництва рідких моторних палив. З метою енергетичного використання може вирощуватись і кукурудза та сорго як для виробництва твердого біопалива так і біогазу. Важливим джерелом біомаси є відходи тваринництва (гноївка, гній, інші відходи), а також відходи комунального господарства (стічні осади, відходи домашнього господарства, органічна фракція твердих побутових відходів, тощо), що можуть бути використанні для виробництва твердого біопалива та біогазу.

Таблиця 1.2.1. Класифікація біомаси для енергетичних потреб

Сторона утворення	Група походження	Сторона споживання
Деревина, відходи деревини, вторинна деревина, відновлювана деревина	ДЕРЕВНІ ПАЛИВА	Тверді: необроблена деревина, тирса тріска, гранули Рідкі: чорний луг, метанол, піролізні смоли Газоподібні: продукти газифікації та піролізу
Відходи агрокультур, відходи тваринництва, відходи переробки агропродукції, енергетичні культури	АГРОПАЛИВА	Тверді: солома, стебла, лушпиння, енергетичні трави Рідкі: етанол, метанол, піролізні смоли, жом, олії Газоподібні: біогаз, продукти газифікації та піролізу
Муніципальні відходи, промислові відходи	ВІДХОДИ	Тверді: побутові відходи Рідкі: стоки, піролізні смоли Газоподібні: біогаз з полігонів ТПВ, біогаз зі стоків

Біомасу можна використовувати в енергетичних цілях шляхом безпосереднього спалювання (деревини, соломи, стічних відкладень), а також у переробленому вигляді рідких (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) або газоподібних біопалив (біогаз з відходів сільського господарства та рослинництва, осаду стічних вод, твердих побутових відходів, продукти газифікації твердих палив) (**Рис. 1.2.1**). Конверсія біомаси в інші види енергоносіїв або кінцеву енергію (теплову або електричну) може відбуватись фізичними, хімічними і біохімічними методами.

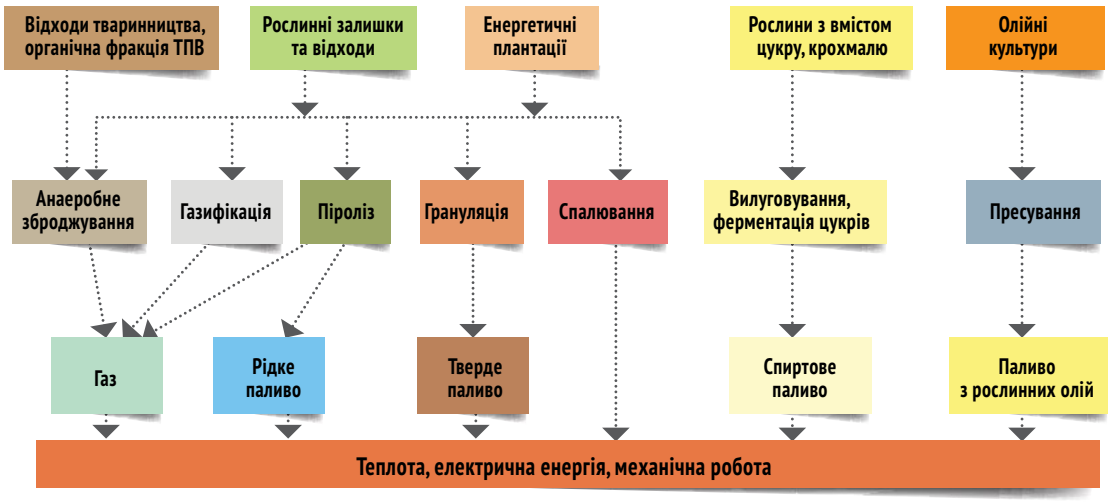


Рис. 1.2.1. *Способи виробництва енергії з біомаси.*

1.3. Переваги біомаси перед традиційними джерелами енергії

Досить часто від пересічних громадян, власників підприємств, держслужбовців та деяких науковців можна почути різке несприйняття технологій виробництва енергії з біомаси. Ці технології вважаються складними, незрозумілими, уявно «застарілими», а біомаса сприймається як «складне» паливо, використання якого потребує великих зусиль у порівнянні з традиційними енергоносіями. Таке помилкове суспільне бачення цього виду палива раніше існувало також в ЄС і в інших країнах. Тому перед тим, як розпочинати реалізацію проектів, важливо розуміти реальні переваги біомаси над традиційними джерелами енергії. Правильне, позитивне бачення енергетичного використання біомаси є запорукою сталості та успішності реалізації майбутнього проекту. Отже, основні переваги біомаси це:

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

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

Біомаса є екологічно чистим паливом у порівнянні із іншими твердими видами палива, наприклад, вугіллям. Як правило, біомаса містить мало сірки, а її спалювання при відносно невисоких температурах не призводить до утворення окислів азоту. Крім того, завдяки включенню біомаси у природний цикл поглинання, зберігання та вивільнення CO_2, спалювання біомаси не призводить до посилення парникового ефекту та знижує негативний антропогенний вплив на оточуюче середовище;

Біомаса, як правило, є більш дешевим паливом у перерахунку на одиницю енергії, ніж інші види традиційних енергоресурсів; при цьому тенденції останніх 20-ти років показують більш швидкі темпи росту цін на традиційні енергоресурси, ніж на відновлювані, і ця різниця з кожним роком збільшується;

Ринок виробництва енергії з біомаси є новим сектором економічної діяльності, що створює нові робочі місця, сприяє росту регіонального валового продукту та загальному «озелененню» економіки;

Використання біомаси зменшує кількість відходів та сміття у містах, а у випадку використання біогазу – призводить до утилізації небезпечних відходів з полігонів ТПВ, що сприяє очищенню засмічених територій, поверненню біорізноманіття, загальному покращенню екології;

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

1.4. Використання біомаси для виробництва теплової енергії в ЄС та Україні

Відновлювані джерела енергії наразі відіграють значну роль у світовій енергетиці. За даними 2012 р. їх внесок до валового кінцевого енергоспоживання (ВКЕ) становить більше 18%, в тому числі біомаса – 14% ВКЕ або 76% загального внеску всіх ВДЕ (**Рис. 1.4.1**). В Європейському Союзі ситуація схожа: частка відновлюваних джерел у валовому кінцевому енергоспоживанні складає 15% (2013 р.), в тому числі біомаса – близько 9% ВКЕ або 62% загального внеску всіх ВДЕ. В окремих країнах ЄС частка біомаси від усіх відновлюваних джерел коливається від 30-40% (Люксембург, Кіпр, Ірландія) до 80-95% (Естонія, Латвія, Литва, Угорщина, Польща, Фінляндія).

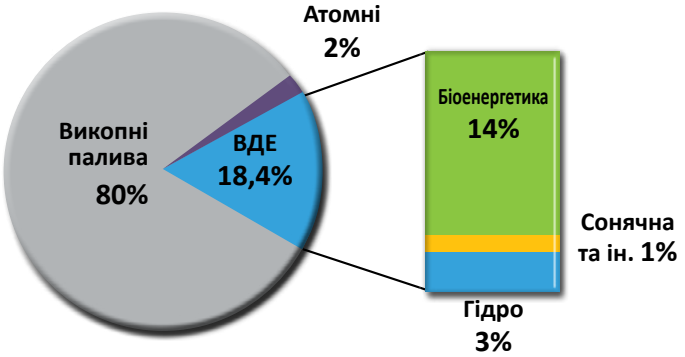


Рис. 1.4.1. *Структура ВКЕ у світі (загалом 342 000 ПДж), 2012 р.*

Найбільші успіхи у використанні біомаси досягнуті в секторі теплової енергії – біомаса забезпечує майже 16% загального обсягу генерації, що відповідає третьому місцю після природного газу (43%) та вугілля (28,5%). При цьому з біомаси виробляється більше 95% всієї відновлюваної теплової енергії. У ряді країн частка виробництва теплової енергії з біомаси набагато вище середньоєвропейської: Швеція – 60%, Австрія – 31%, Фінляндія – 27%, Данія – 25%.

Порівняємо ці дані із ситуацією в Україні. Згідно енергетичного балансу України за 2013 р., підготовленого Державною службою статистики України, частка ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 3,62%, в тому числі біомаса – 2,28%, що складає 63% від усіх ВДЕ або 1,61 млн. т н.е. (*таблиця 1.4.1*). У порівнянні з 2012 р. спостерігається помітний ріст внеску біомаси до загального постачанні первинної енергії – на 23%, з 1,52 до 1,88 млн. т н.е./рік (*рис. 1.4.2*). На 2014 р. прогнозується ще більший ріст у зв'язку з нагальною необхідністю заміщення природного газу альтернативними видами палива.

Таблиця 1.4.1. Місце відновлюваних джерел енергії та біомаси в енергобалансі України

Показники	2010	2011	2012	2013	2014
Біопалива/відходи у валовому кінцевому енергоспоживанні*, млн. т н.е.	1,40	1,45	1,47	1,61	1,68
%*	1,86	1,88	1,99	2,28	2,67
Частка біопалив/відходів від усіх ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні*, %	62	67	68	63	72

* Розрахунок авторів за даними енергетичного балансу України за 2010-2014 рр., підготовленого Державною службою статистики України.

1.5. Потенціал біомаси в Україні

Україна володіє достатнім потенціалом біомаси, доступної для виробництва енергії – більше 30 млн. т у.п./рік за оцінками 2014 р. (**таблиця 1.5.1**).

Основними складовими потенціалу є первинні агровідходи (солома, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника) та енергетичні культури, вирощування яких у промислових масштабах активно розвивається в країні останніми роками. Загалом економічний потенціал відходів сільського господарства складає 11,6 млн. т у.п./рік, енергетичних культур – 7 млн. т у.п./рік.

Наразі на енергетичні потреби в Україні використовується лише близько 10% загального потенціалу біомаси – 3 млн. т у.п./рік (**таблиця 1.5.2**). Головним чином це деревна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (загалом 87,2% всього річного обсягу використання біомаси), та лушпиння соняшника (6,6%). Найменш активно застосовуються рослинні відходи – 52 тис. т соломи на рік, що становить <1% економічного потенціалу соломи в Україні.

Таблиця 1.5.1. Енергетичний потенціал біомаси в Україні (2014 р.)

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Частка, доступна для отримання енергії, %	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	33,5	30	4,98
Солома ріпаку	4,0	40	0,78
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	37,0	40	4,04
Відходи виробництва соняшника (стебла, корзинки)	19,1	40	1,57
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	8,8	80	1,2
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	6,0	97	2,07
Деревна біомаса (сухостій, деревина захисних лісосмуг)	10,6	57	2,46
Біодизель (з ріпаку)	–		0,35
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряка)	–		0,97
Біогаз з відходів та побічної продукції АПК	1,6 млрд. м^3 метану (CH_4)	50	0,97
Біогаз з полігонів ТПВ	0,6 млрд. м^3 CH_4	34	0,26
Біогаз зі стічних вод (промислових та комунальних)	1,0 млрд. м^3 CH_4	23	0,27
Енергетичні культури:			
- верба, тополя, міскантус	11,5	90	6,28
- кукурудза (біогаз)	3,3 млрд. м^3 CH_4	90	3,68
Торф	–		0,40
Всього	–		**30,28**

Таблиця 1.5.2. Використання біомаси для виробництва енергії в Україні (2014 р.)

Вид біомаси / біопалива	Річний обсяг споживання*		Частка в річному обсязі споживання	Частка використання економічного потенціалу
	натуральні одиниці	тис. т у.п.		
Солома зернових культур та ріпаку	102 тис. т	52	1,7%	0,9%
Дрова (населення, з урахуванням самозаготівлі)	8,1 млн. м^3	1930	45,1%	>59%
Деревна біомаса (крім споживання населенням)	2,1 млн. т	728	40,9%	
Лушпиння соняшнику	366,5 тис. т	208	7,8%	23%
Біоетанол	65 тис. т	60	2,3%	6,2%
Біодизель	18 тис. т	23	0,9%	6,5%
Біогаз з відходів с/г	49,5 млн. м^3	30	0,5%	3,1%
Біогаз з полігонів ТПВ	33 млн. м^3	22	0,8%	8,6%
Всього		**3047****	**100%**	–

* Експорт гранул/брикетів з біомаси не враховується.
** Перевищує дані Державної статистики України: 2,76 млн. т у.п. у 2014 р.

На сьогодні в Україні працюють більше 4 тис. сучасних котлів на деревині, більше 100 котлів на соломі й близько 70 котлів на лушпинні соняшника. Є кілька ТЕЦ на твердій біомасі: 1 – на деревині в системі ЦТ, 3 – на лушпинні соняшника на підприємствах масложирової галузі. Крім того, населення використовує кілька десятків тисяч пічок та побутових котлів на дровах та деревних гранулах. Загальна встановлена потужність зазначеного біоенергетичного обладнання становить більше 3650 МВт$_т$ та 14 МВт$_е$ (*таблиця 1.5.3*).

Таблиця 1.5.3. Виробництво енергії з біомаси в Україні, 2013 р.

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

1.6. Прогноз розвитку біоенергетики до 2020 р.

За оцінками авторів, для додаткового заміщення 5,27 млрд. м^3/рік природного газу біомасою до 2020 р. відповідно до цілей затвердженого Національного плану дій з ВДЕ (див. п. 1.7) необхідно впровадження 12485 МВт$_т$ +756 МВт$_е$ в побутовому секторі, ЖКГ, бюджетній сфері, у промислових та комерційних споживачів (**таблиця 1.6.1**).

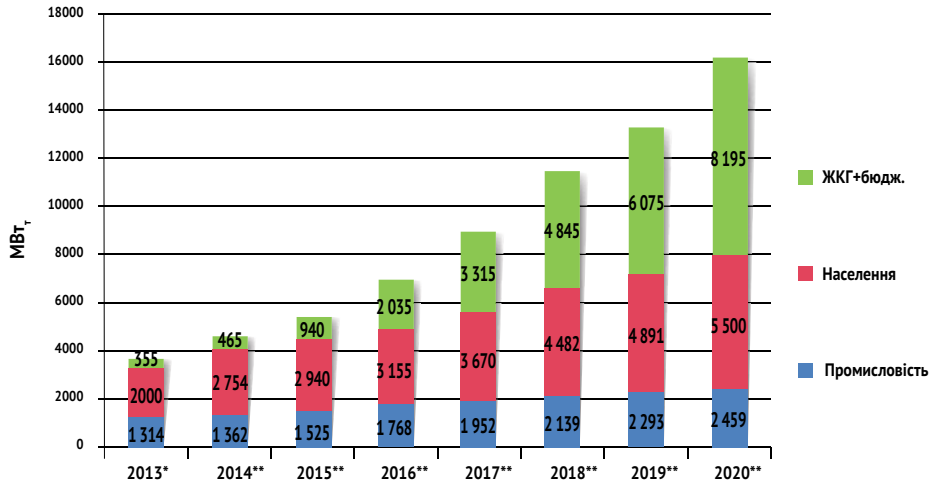
Для забезпечення необхідним обсягом палива всіх запланованих до впровадження біоенергетичних установок потрібне широке залучення відходів сільського господарства (соломи, стебел кукурудзи/соняшника) та енергетичних культур до паливно-енергетичного балансу країни. Крім того, доведеться збільшити обсяги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

Таблиця 1.6.1. Впровадження додаткового біоенергетичного обладнання для виробництва енергії в Україні до 2020 р. (у порівнянні з 2013 р.)

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

Відповідно до концепції розвитку біоенергетики, підготовленою Біоенергетичною асоціацією України (Аналітична записка № 12, червень 2015), найбільший ріст потужності біоенергетичного обладнання, обсягів використання біомаси та, відповідно, заміщення газу, прогнозується в ЖКГ та бюджетній сфері – на 3,18 млрд. м^3/рік (з 0,14 млрд. м^3/рік у 2013 р.). Загальне заміщення ПГ біомасою у цьому секторі у 2020 р. оцінюється у 3,32 млрд. м^3/рік. На другому місці по очікуваним обсягам заміщення природного газу знаходиться населення (2,23 млрд. м^3 у 2020 р.), найменший обсяг заміщення у 2020 р. прогнозується у промисловості та комерційних споживачів (1,66 млрд. м^3 у 2020 р.). Динаміку відповідного росту потужності біоенергетичного обладнання по секторах представлено на **Рис. 1.6.1.**

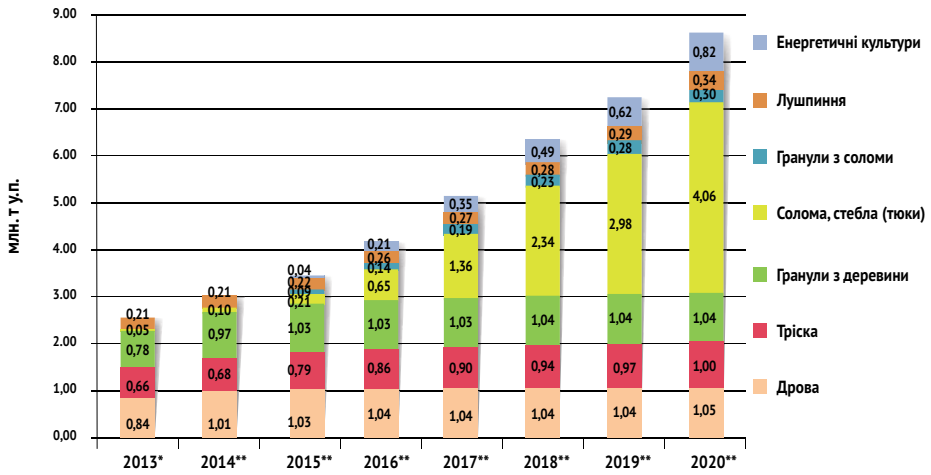
Виключно важливим є питання забезпечення необхідним обсягом палива всіх запланованих до впровадження біоенергетичних установок. Оцінку розподілу біопалив за видами представлено на **Рис. 1.6.2.** З даних рисунку видно, що для досягнення поставлених цілей найближчими роками потрібне широке залучення відходів сільського господарства (соломи, стебел кукурудзи/соняшника) та енергетичних культур до паливно-енергетичного балансу країни. Прогнозується, що у 2020 р. для виробництва енергії буде використовуватися близько 0,82 млн. т у.п. біомаси енергокультур. Для умов України найбільш придатними для вирощування (з метою отримання твердого біопалива) є верба, міскантус й тополя. Для отримання необхідної кількості біопалива з енергокультур під їх вирощування має буде задіяне загалом понад 118 тис. га у 2020 р. Це складатиме лише порядку 3% вільної площі сільськогосподарських земель в Україні.



* Оцінка згідно даних енергобалансу України.
** Прогноз згідно даних НПДВЕ та припущень БАУ

Рис. 1.6.1. *Динаміка росту потужності біоенергетичного обладнання в Україні*

Ресурси деревної біомаси для енергетичних цілей в Україні є відносно обмеженими і вже зараз активно використовуються. З огляду на це у представленій концепції розвитку теплової біоенергетики запланований відносно невеликий ріст потужності обладнання на деревині у порівнянні з іншими видами біомаси (в першу чергу, відходами сільського господарства). Тим не менш, у 2020 р. це обладнання потребуватиме понад 3 млн. у.п. деревного палива, що у 1,5 разів більше за наявний наразі потенціал.



* *Оцінка згідно даних енергобалансу України.*
** *Прогноз згідно даних НПДВЕ та припущень БАУ*

Рис. 1.6.2. *Структура біопалив для виробництва теплової енергії в Україні*

1.7. Політика України щодо підтримки розвитку виробництва енергії з біомаси

У 2014 р. в Україні було прийнято низку урядових постанов, спрямованих на стимулювання заміщення природного газу альтернативними паливами та видами енергії та на гармонізацію сектору ВДЕ України з європейським. Зокрема, Планом короткота середньострокових заходів щодо скорочення обсягу споживання природного газу на період до 2017 року, що затверджений Розпорядженням КМУ, передбачено 19 важливих заходів, в тому числі:

- Надання статусу першочергових інвестиційним проектам з переведення споживачів з природного газу на інші види палива та енергії.
- Спрощення порядку передачі у концесію, оренду та зняття заборони на приватизацію об'єктів теплоенергетики комунальної форми власності.
- Імплементація терміну «біомаса» у національне законодавство відповідно до Директиви 2009/28/ЕС.
- Розробка технічних умов приймання в газотранспортну систему України біометану, механізму стимулювання його виробництва та споживання.
- Внесення змін до Енергетичної стратегії України до 2030 р. в частині скорочення споживання природного газу, збільшення обсягу використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива.
- Спрощення процедури землевідведення під об'єкти виробництва теплової та/або електричної енергії з використанням інших видів палива, ніж природний газ.
- Скорочення строків видачі та кількості дозвільних документів для реалізації проектів по заміщенню газу.
- Внесення змін до Законів України стосовно переходу на альтернативні види палива та до стимулюючого регулювання відповідних суб'єктів господарювання.

Механізм стимулювання населення до впровадження енергоефективних заходів уведено **Постановою КМУ № 491** від 1.10.2014. Цей механізм полягає у відшкодуванні частини тіла кредиту, залученого на придбання котлів з використанням будь-яких видів палива та енергії (за винятком природного газу). Відшкодування частини суми кредиту проводиться одноразово кожному позичальнику – фізичній особі в розмірі 20% суми кредиту, залученого ним за одним кредитним договором в уповноваженому банку на придбання котла, але не більш як 5000 гривень за кожним кредитним договором. За даними Держенергоефективності України, станом на 17.12.2014 вже видано кредитів на суму більше 19 млн. грн., кредит отримали 1155 домогосподарств.

План заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС спрямований на гармонізацію українського та європейського законодавства в сфері відновлюваних джерел енергії. Серед іншого, План приділяє значну увагу питанням сталого розвитку. Передбачено розробку критеріїв сталості для рідкого та газоподібного палива, що виробляється з біомаси та використовується на транспорті, а також для рідкого палива, що виробляється з біомаси для енергетичного використання, іншого ніж транспорт. Також планується розробити технічні вимоги до виробництва і використання біопалив та біорідин.

Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 р. встановлено загальну мету з розвитку цього сектору в Україні до 2020 р. – внесок ВДЕ до валового кінцевого енергоспоживання має досягти 11% у 2020 р. у відповідності до зобов'язань України як члена Енергетичного співтовариства. Біомаса є вагомою складовою ВДЕ й згідно Нацплану дій основний її внесок передбачений в секторі опалення/охолодження – 5000 тис. т н.е./рік у 2020 р., що становитиме 85% внеску всіх відновлюваних джерел енергії (*таблиця 1.7.1*). До 2020 р. заплановано встановлення 950 МВт$_е$ енергообладнання на біомасі та використання 390 тис. т н.е./рік біопалив (біоетанолу та біодизелю).

Таблиця 1.7.1. Національна індикативна ціль ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні до 2020 р. та розрахункові траєкторії її досягнення

Показники	2009	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ВДЕ: виробництво теплової енергії, %,	3,4	5,7	6,7	7,7	8,9	10,0	11,2	12,4
- у т.ч. біомаса, тис. т н.е.	1433	2280	2700	3100	3580	4050	4525	5000 (85%*)
ВДЕ: виробництво е/е, %,	7,1	7,6	8,3	8,8	9,7	10,4	10,9	11,0
- у т.ч. біомаса, МВте: тверда біогаз	0	40 28 12	250 175 75	380 260 120	520 360 160	650 455 195	780 540 240	950 660 (12%*) 290 (5%*)
Загальна частка ВДЕ у ВКЕ, %	3,8	5,9	6,7	7,4	8,3	9,1	10,1	11,0

* Частка біомаси від внеску всіх ВДЕ в даному секторі (розрахунок авторів).

Зазначені цифри по внеску біомаси до виробництва енергії у 2020 р. відповідають заміщенню природного газу в обсязі 6,25 млрд. м^3/рік у секторі теплової енергії та 0,95 млрд. м^3/рік у секторі електроенергії (прогнозуючи, що 90% електричних потужностей на твердій біомасі буде працювати в режимі ТЕЦ). Віднімаючи від загального запланованого обсягу заміщення природного газу (7,2 млрд. м^3/рік) об'єм скорочення, вже досягнутий на сьогодні за рахунок біомаси (1,93 млрд. м^3/рік), отримуємо об'єм газу (5,27 млрд. м^3/рік), який **має бути додатково заміщений біомасою до 2020 р. згідно Національного плану** дій з відновлюваної енергетики.

Основним стимулом щодо виробництва електричної енергії з ВДЕ в Україні були і залишаються **«зелені» тарифи**, що встановлюються на електричну енергію, вироблену на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – вироблену лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями). Коефіцієнти «зеленого» тарифу за кожним видом електричної енергії відповідно до дати введення об'єктів електроенергетики в експлуатацію встановлені відповідними Законами України.

4 червня 2015 року внесено зміни до Закону України «Про електроенергетику», що встановлює:

- для електроенергії з біомаси та біогазу «зелений» тариф встановлюється з урахуванням коефіцієнтів, передбачених для об'єктів, введених в експлуатацію по 31.12.2014, тобто збільшується на 10% порівняно з чинним на сьогодні, тобто 12.39 Євроцентів/кВт*год;
- По «зеленому» тарифу електроенергія викуповується в обсязі за винятком обсягу, спожитого на власні потреби об'єкта електроенергетики, який здійснює виробництво електроенергії з альтернативних джерел;
- «Зелений» тариф переглядається за курсом євро на квартальній основі (1 раз в квартал за середнім курсом НБУ за 30 днів, що передують останньому в кварталі планового засідання НКРЕКП);
- Прив'язка до євро діє до 2030 року, однак не поширюється на об'єкти, введені в експлуатацію після 01.01.2025;
- За використання обладнання українського виробництва до «зеленого» тарифу встановлюється надбавка в розмірі 5% за 30% «місцевої складової» і 10% за 50% «місцевої складової».

Додатковими факторами, що сприяли розширенню використання біопалив й скороченню споживання природного газу у 2014-2016 р., були **ріст цін на газ для населення та підприємств ЖКГ** та встановлення адміністративних лімітів на споживання газу, введення спецрахунків для розрахунку за спожитий природний газ та встановлення стимулюючих середньозважених тарифів на теплову енергію з біомаси, що забезпечують потреби бюджетних установ та організацій. Незважаючи на певний прогрес у розвитку біоенергетичних технологій протягом минулого року, дотепер залишається ряд бар'єрів:

- ціна на природний у секторі ЖКГ багато років не відповідала ринковому рівню. За таких умов БМ не могла конкурувати з дотаційним газом у ЖКГ. **Вирішено:** *з 1 травня 2016 р встановлені ринкові ціни на газ для ЖКГ для опалення населення. З 1 липня2016 р. вступають в дію нові тарифи на теплову енергію.*
- Недосконале тарифоутворення на теплову енергію з біомаси (собівартість + 6%). Відмова національного регулятора НКРЕКП перераховувати та встановлювати середньозважений тариф для нових об'єктів. **Необхідно:** *прийняти законопроект № 4334 від 30.03.2016, що визначає спрощений підхід до методики визначення тарифів та встановлює тариф на теплову з біомаси для бюджетних організацій та населення на рівні 90% тарифу на теплову енергію з газу у відповідному населеному пункті. Місцевим органам виконавчої влади передаються повноваження по* ***ліцензуванню*** *господарської діяльності з виробництва, транспортування та постачання теплової енергії, що виробляється з використанням альтернативних джерел енергії.*
- Недосконала модель ринку централізованого теплопостачання (монопольне становище ТКЕ, проблеми з підключенням незалежних виробників теплової енергії з біомаси). **Необхідно:** *створити конкурентний ринок за моделлю «єдиного покупця» (за прикладом більшості країн Європи). Провести юридичний* ***анбандлінг*** *існуючих ТКЕ, принаймні, на дві незалежні компанії – з виробництва теплової енергії і з її транспортування та збуту.* ***Відмінити*** *заборону на приватизацію об'єктів комунальної власності для компаній, що генерують теплову енергію. Компанії, що транспортують теплову енергію, залишаються в комунальній власності та, як і раніше, не підлягатимуть приватизації.Законодавчо* ***гарантувати*** *доступ до тепломереж виробникам теплової енергії з ВДЕ. Запровадити систему* ***тендерів/аукціонів*** *на закупівлю теплової енергії.*
- Складність відведення земель під будівництво об'єктів відновлюваної енергетики. **Необхідно:** *прийняти законопроект № 2529а від 26.08.2015.*

2. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ БІОМАСИ

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

2.1. Який вид біомаси обрати в якості палива?

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

Деякі узагальнені дані щодо енергетичного потенціалу біомаси всіх областей України можна знайти у статтях та аналітичних записках Біоенергетичної асоціації України та Інституту відновлюваної енергетики НАНУ. З методикою оцінки теоретично досяжного енергетичного потенціалу біомаси можна ознайомитись в документі, погодженому Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України. На рисунках нижче (**2.1.1** та **2.1.2**) представлений енергетичний потенціал біомаси для 2013 року. Очевидно, що найбільший потенціал деревної біомаси доступний у найбільш лісистих північних та північно-західних районах України – Житомирська, Львівська, Рівненська, Київська області, а також гористі ділянки Карпат і Криму. Найбільший наявний потенціал агробіомаси доступний у центральних, південних та південно-східних районах України, де розвинуте сільське господарство і харчовий переробний сектор. Загальний потенціал деревної біомаси у 2013 р. складав 1378 тис. т н.е., агробіомаси – 8039 тис. т н.е. Слід мати на увазі, що потенціал деревної біомаси залежить від рівня розвитку деревообробної промисловості в регіоні, а також від рівня рубок деревини, що наразі становить приблизно 50 % від щорічного приросту. Для агробіомаси основним фактором, що впливає на потенціал, є щорічна урожайність агрокультур, що суттєво коливається в залежності від кліматичних умов кожного року. Крім того, вбачаючи тенденцію росту урожайності в Україні в найближчі роки, потенціал агробіомаси також зростатиме.

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

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

Сільськогосподарські підприємства наразі не досить активно виконують тюкування соломи через відсутність попиту на тюковану солому. Деякі підприємства мають свою техніку для тюкування соломи у циліндричні тюки. Однак, зазвичай, агрокомпанії не розглядають солому як товар, хоча володіють значними її ресурсами. Проте коли реальний споживач маючи свій власний або орендований прес-підбирач, звернеться до агрохолдінгу з пропозицією придбати солому у валках, то цілком ймовірно, що знайдеться достатньо велика кількість сільськогосподарських підприємств, що дадуть позитивну відповідь. При цьому варто також враховувати конкуренцію в регіоні з боку інших споживачів тріски чи соломи, дров (заводи МДФ та фанери, грибники, інші котельні та ТЕЦ, ступінь газифікації населених пунктів, тощо).

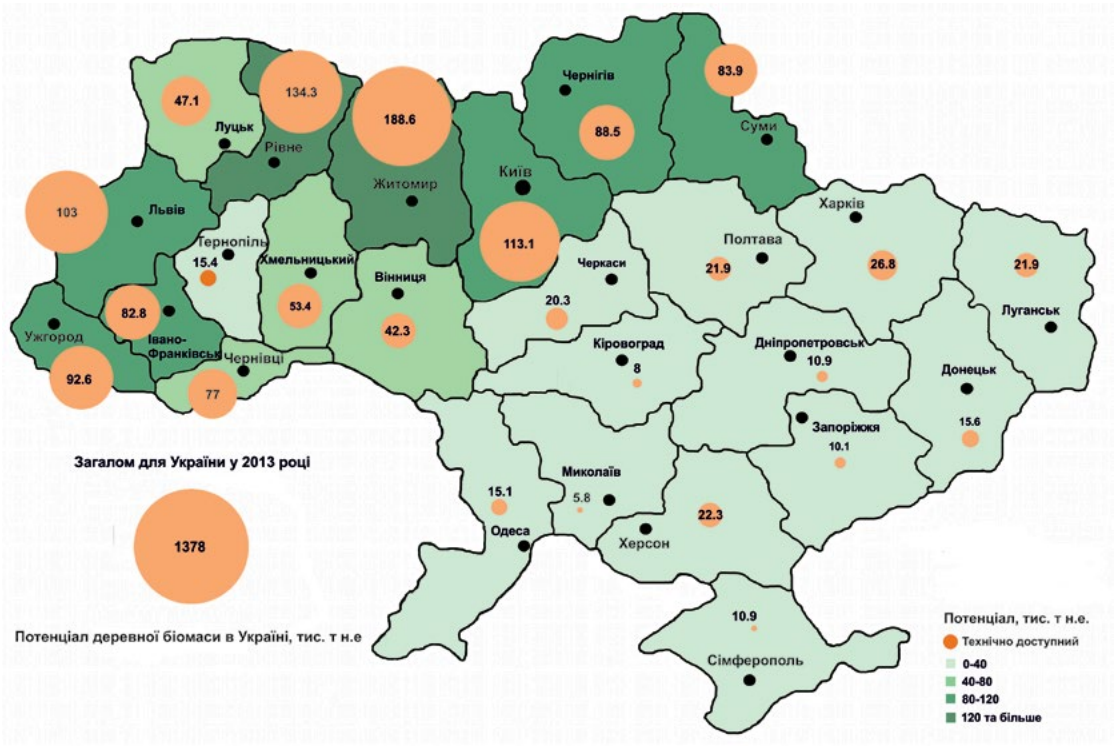


Рис. 2.1.1. *Потенціал деревної біомаси в Україні, 2013.*

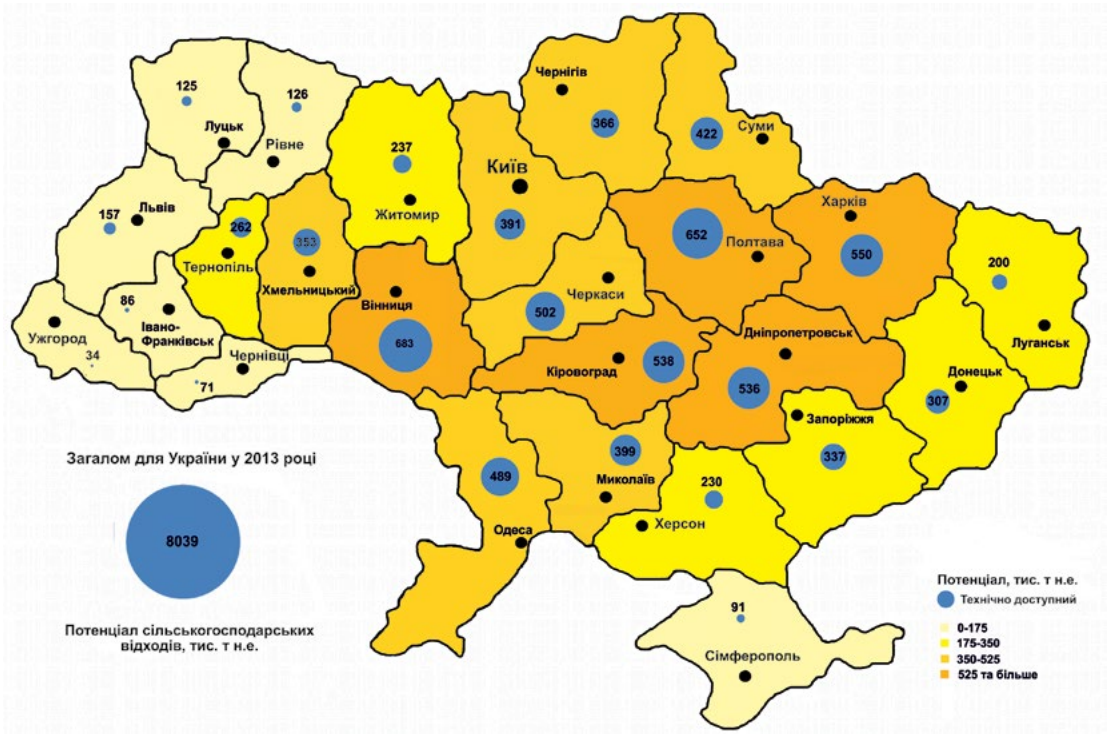


Рис. 2.1.2. *Потенціал агробіомаси в Україні, 2013.*

2.2. Логістичні схеми постачання деревної та агробіомаси

Успішність реалізації біоенергетичних проектів з виробництва теплової енергії в значній мірі залежить від правильного вибору виду біопалива та його логістики. Вибір паливної сировини повинен базуватися в першу чергу на його доступності та можливості технологічного використання при складуванні, транспортуванні, а також можливості його використання в якості палива. Досвід реалізації біоенергетичних проектів в Україні показує, що питанням логістики приділяється не достатньо уваги на етапі планування, що спричиняє відповідні ускладнення при експлуатації таких об'єктів. Організація логістики повинна включати планування, виконання та ефективний контроль.

Особливості організації логістики біопалива в першу чергу залежать від виду сировини – аграрні відходи такі як солома чи кукурудза, деревина чи деревні відходи, або ж готове покращене біопаливо у вигляді гранул та брикетів. Зовнішніми факторами впливу на схему організації логістики є клімат, ґрунти і рельєф місцевості, масштаб, відстань перевезення. Таким чином, визначаються межі схеми логістики біомаси, що можуть включати логістику: заготівлі, складування та транспортування.

На даний час схеми логістики виробників теплової енергії з біомаси, в переважній більшості, стосуються лише транспортної логістики. Поміж тим, відсутність розвиненого ринку біопалива змушує споживачів біомаси займатися питаннями заготівлі та складування для тривалого зберігання. Розширення організаційної схеми логістики дозволяє зменшити не лише організаційно-технічні ризики, а й зменшити витрати на біопаливо, що суттєво впливає на собівартість теплової енергії. В Україні існує позитивний досвід компаній, що самостійно займаються заготівлею деревних відходів та соломи, вирощують енергетичну біомасу чи виробляють гранули й брикети для забезпечення власних об'єктів паливом.

Ефективна схема логістики біомаси складається з наступних основних етапів:

- збір в полі/лісі;
- попередня обробка в полі/лісі та транспортування до шосе чи проміжного складу;
- зберігання (багато типів біомаси характеризуються сезонністю та доступні для збору у певний період року, а місце зберігання може бути в полі/лісі, на об'єкті або на проміжному складі);
- навантаження й розвантаження дорожнього транспорту;
- транспортування по шосе (економічність використання великогабаритного транспорту або польової/лісової техніки залежить від відстані доставки, енергетичної щільності біомаси, місткості транспорту, швидкості руху, витрат палива, а також доступності відповідної техніки);
- обробка біомаси для покращення паливних та транспортних характеристик (включає в себе збільшення щільності біомаси – подрібнення лісосічних відходів у тріску або створення в'язанок палива або уніфікація габаритів, наприклад, тюкування соломи, грануляція чи брикетування) може відбуватися на різних етапах логістики.

Кожен вид біомаси потребує спеціальних видів техніки та обладнання для збору, обробки, транспортування, що не дозволяє організувати процес логістики універсально, а тому схеми логістики є орієнтованими на конкретний вид біомаси та вимоги споживачів.

Організація заготівлі біомаси характеризується сезонністю, що особливо чітко проявляється при використанні біомаси сільськогосподарського походження. Часові рамки доступності збору агробіомаси досить обмежені від кількох тижнів до кількох місяців, а час заготівлі визначається періодом збирання врожаю, погодними умовами та агротехнічними вимогами. Таким чином, схема логістики заготівлі жорстко прив'язана до польових робіт, технології збору врожаю, а обмежені часові рамки потребують залучення значних трудових та матеріально-технічних ресурсів. Основною відмінністю організації логістики агробіомаси є сезонність заготівлі та необхідність зберігання відразу усього річного запасу палива до наступного сезону, що потребує відповідних площ для складування, охорони, забезпечення пожежних вимог та вимог до зберігання палива.

Іншою характерною особливістю організації логістики транспортування та складування пов'язана з низькою об'ємною та енергетичною щільністю сировини, що транспортується. Таким чином для транспортування та складування не ущільненої біомаси зростають площі складів, витрати на транспортування, збільшується кількість ходок транспорту, створюється додаткове навантаження на автомобільні шляхи. Таким чином, витрати на логістику в значній мірі впливають на вартість сировини, що транспортується.

Зазвичай вважається, що транспортування біомаси/біопалив автотранспортом (окрім гранул/брикетів) є доцільним на відстань в межах 150 км,

коли витрати на транспортування по відношенню до маси/енергії залишаються економічно прийнятними. В такому випадку витрати на транспортування можуть перевищувати вартість самої сировини, що транспортується. На практиці, радіус доставки намагаються звузити до 30 км.

Важливими є обсяги транспортування біомаси та залучення кількох можливих диверсифікованих джерел задля уникнення перебоїв з постачанням. Виходчи з потреби в паливі розробляється графік постачання паливної сировини з урахуванням наступних факторів: потреба в паливі; кількість робочих днів та годин, коли можливе завантаження автотранспорту та розвантаження на котельній; кількість наявних автомобілів у постачальника та плече транспортування, графік святкових та вихідних днів. Поставка палива може виконуватись в літній період при наявності вільних складських площ.

Згідно обраної схеми постачання біомаси, необхідно вибрати відповідний тип вантажного транспорту для перевезення деревної сировини з місця заготівлі до проміжного чи кінцевого складу.

У залежності від організації процесів прийому біомаси, її розвантаження та подачі на склад необхідно визначити вимоги до транспортних засобів, а саме: габаритних розмірів, вантажопідйомності, радіусів розворотів, способу розвантаження (заднє чи бокове), самовивантаження чи необхідність додаткового технічного оснащення гідравлічними маніпуляторами. Слід зазначити, що використання спеціалізованої техніки зменшує періодичність доставки завдяки їх збільшеній вантажопідйомності, час на операції розвантаження, а отже, і кінцеву вартість.

Зазвичай, більшість видів біомаси (тріска, тирса, стружки, обрізки, гранули, торф), перевозять самоскидами або іншим наявним автотранспортом. Для перевезення тюків соломи та паливних дров використовують спеціальні причепи/напівпричепи. Як правило, гранули перевозять у біг-бегах вагою 1-1,5 т будь-яким зручним для цієї мети транспортом, а також спеціалізованим транспортом – грануловозами (комбікормовози). В таких випадках вивантаження біг-бегів здійснюється гідроманіпулятором, що встановлений на шасі автомобіля, чи іншими підйомно-транспортними механізмами, а у випадку використання пелетовізів ¬– за допомогою систем вивантаження: шнеками чи стиснутим повітрям.

У випадку транспортування великих партій біомаси залізничним або річковим транспортом основні обмеження стосуються близького та зручного розташування залізничних станцій та річкових портів. Проте, як показує досвід Європейських країн, транспортування залізницею в межах країни залишається більш теоретичним способом і не може розглядатися як реальна альтернатива автотранспорту через більш складну побудову системи логістики. У таблиці нижче вказана орієнтовна вартість перевезення різними видами транспорту станом на грудень 2014 року. Варто зауважити, що організація власної логістичної схеми потребує значних капітальних витрат, а тому для малих та середніх споживачів біопалива альтернативним залишається оренда спеціалізованої техніки як для заготівлі так і для транспортування. На даний час в Україні відсутній досвід довготривалої оренди складів палива споживачами, як правило, цим питанням займається продавець. Враховуючи той факт, що вартість палива зростає в опалювальний період, то заготівля й складування в літній період за зниженою ціною є цілком виправданою. Чіткі, зрозумілі та реалістичні вимоги до постачальників біомаси є запорукою надійного постачання, а тому вимоги до постачальників повинні бути чітко описані.

Орієнтовна вартість перевезення сипучої біомаси різними видами транспорту (радіус транспортування приблизно 200 км)

Вид біомаси	Вартість транспортування, грн./т·км			
	Автомобільний транспорт		Залізничний транспорт	Річковий транспорт
	орендований	власний		
Солома неущільнена	4,55	1,78	0,35	0,53
Лушпиння неущільнене	1,90	0,75	0,35	0,53
Великі тюки соломи	1,59	0,62	0,48	0,72
Відходи від лісозаготівель	1,21	0,47	0,48	0,72
Тирса	1,21	0,47	0,31	0,47
Гранули з біомаси, деревна тріска, дрова, торф фрезерний	1,00	0,39	0,31	0,47
Брикети з біомаси	1,00	0,39	0,55	0,83

Особливості логістики деревних відходів.

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

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

Рис. 2.2.1. *Принципова схема логістики тріски.*

Особливості логістики агровідходів

Використання соломи як палива можливе у вигляді тюків різного розміру та у вигляді неущільненої січки. Збір соломи з поля повинен відбуватися відразу після збору урожаю зернових, щоб не заважати основній діяльності по сівозмінам.

Для формування тюків з соломи використовують прес-підбирачі, що дозволяють отримати щільні та заданої форми й потрібних розмірів прямокутні тюки або циліндричні рулони. Прес-підбирачі великогабаритних тюків мають незаперечні переваги перед іншими конструкціями машин, а саме: висока продуктивність, менші затрати праці, краще використання вантажопідйомності транспортних засобів, площ складських приміщень, підвищення продуктивності навантажувачів. Конкретні організаціно-технічні рішення представлені у розділі 2.5.

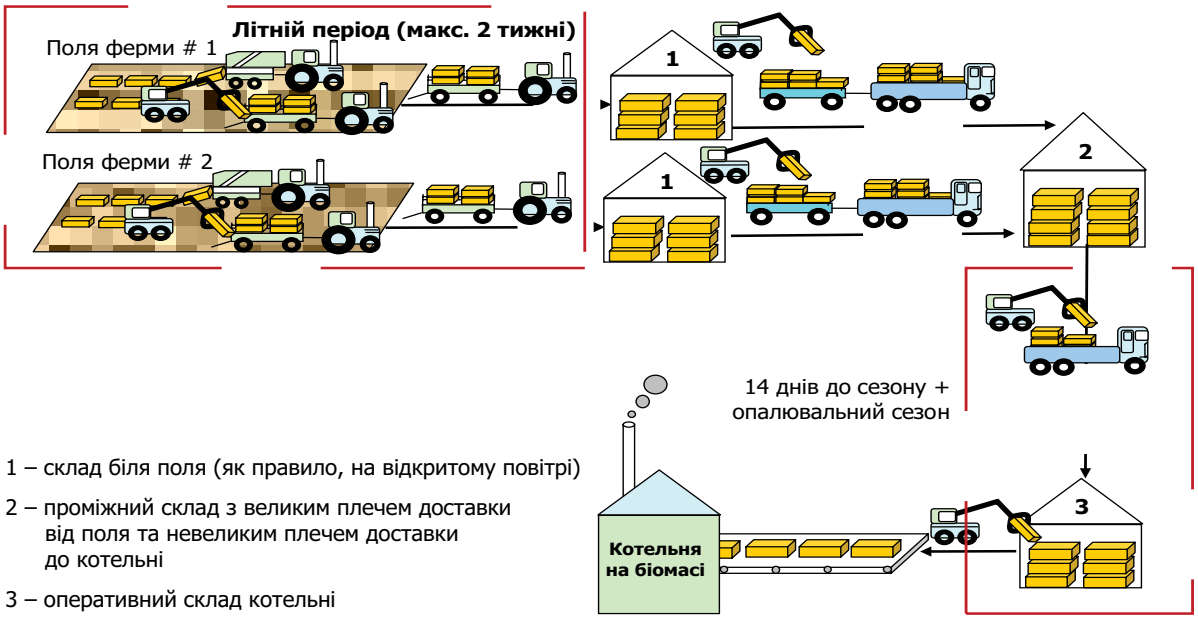


Рис. 2.2.2. *Принципова логістична схема для агровідходів.*

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

Особливістю транспортування гранул різного походження є можливість їх перевезення у великих мішках (біг бегах) вагою 1-1,5 т будь-яким зручним для цієї мети транспортом (зручність транспортування, захист палива від оточуючого середовища, покращена якість палива – утворюється менше дрібної фракції (пилу) при транспортуванні, мішки можуть бути використані повторно), а також спеціалізованим транспортом – грануловозами.

Деревна тріска на території теплогенеруючого підприємства може зберігатися як під відкритим небом, так і під навісом (у залежності від умов на майданчику енергогенеруючого підприємства). Рекомендується температурний контроль в насипах тріски для запобігання самозаймання, контроль утворення плісняви, вологості виділення СО (для великих складів). Популярний спосіб зберігання тирси та тріски на території споживача є механізовані склади з рухомим дном, перевагою яких є підтримання запасу сировини на декілька днів, автоматичне регулювання і подача сировини без участі персоналу, виключення зависання деревної тріски (тирси) в процесі подачі; низькі експлуатаційні витрати; надійність обладнання.

Важливим фактором є кількість біомаси, необхідна для роботи об'єкту протягом року, від чого залежать всі подальші рішення по складуванню та логістиці. Шляхи постачання біомаси мають бути диверсифіковані задля уникнення перебоїв роботи енергетичного об'єкту.

Для постачання біомаси (деревини та агровідходів), в залежності від обраної схеми постачання, необхідно забезпечити прохідні під'їзні дороги до місця складування сировини форвадерами/тюкувальниками; в місцях завантаження вантажного транспорту повинно бути організовано площадки для вільного розвороту вантажного транспорту; при використанні стаціонарного подрібнювача, розміщеного біля кінцевого споживача, необхідно організувати конвеєрну лінію доставки отриманої тріски до складу споживача.

Згідно обраній схемі постачання біомаси, необхідно вибрати відповідний тип вантажного транспорту для перевезення деревної сировини з місця заготівлі до проміжного чи кінцевого складу.

Найбільш поширенішим методом кількісного контролю обсягів заготівлі, складування чи постачання палива залишається ваговий метод. Варто відзначити, що в процесі заготівлі, транспортування чи зберігання маса палива може змінюватися, що пов'язано з атмосферним впливом, технологічною переробкою та ін. Поміж тим залишаються випадки несанкціонованого розкрадання.

Якісний контроль біомаси, як правило, перевіряють на основі наявних сертифікатів якості, візуально, експрес аналізів, періодичного контролю вологості, зольності та калорійності в лабораторіях. Тим не менше, основним методом перевірки якості є практичний метод спалювання та отримання характеристик обладнання при роботі на такому паливі.

При розробці організаційно-технічних рішень щодо створення інфраструктури з організації логістики біомаси значна увага має приділятись коректному визначенню вихідних умов, в яких дана інфраструктура буде формуватись. Зокрема, вагоме значення має територіальне розміщення перспективних постачальників біомаси та їх потенціал, близькість постачальника до споживача та можливість постачання великих обсягів біомаси необхідної якості протягом тривалого часу розглядається як суттєва перевага.

Не менш важливим завданням є визначення вихідного стану існуючих доріг для підвезення біомаси до місця розміщення споживача та наявних умов для створення оперативного складу на його території. Розміри цього складу, поряд із сезонними обсягами споживання палива, в подальшому обумовлюють обсяги та періодичність постачання біомаси до споживача, а також види техніки, що можуть бути використані для безпосередньої її доставки на оперативний склад.

Загалом можна виділити 3 основні зони господарських відносин під час використання біомаси як палива: заготівля, зберігання, транспортування. Організацією кожної стадії можуть займатись як власники енергетичного об'єкту, так і залучені сторонні організації. В залежності від річної кількості біомаси існують такі можливі схеми взаємодії з постачальниками біомаси:

- власник енергетичного об'єкту сам виконує заготівлю, зберігання та доставку біомаси;
- власник делегує всі стадії на сторонні організації;

– схема розмежування повноважень: коли, наприклад, заготівлею та доставкою біомаси займається стороння організація, а її зберігання відбувається на складах власника.

Закупівля обладнання для заготівлі та транспортування біомаси може мати суттєвий вплив на економіку проекту, тому, на практиці, має проводитись техніко-економічне обґрунтування з визначенням доцільності таких дій для кожного окремого випадку. Закупівля власного обладнання стає доцільною при великих потужностях енергетичного об'єкту, або якщо власник має стратегічні плани щодо розширення виробництва енергії з біомаси в найближчому майбутньому і закуповує техніку з перспективою подальшого розвитку. Для інших об'єктів рекомендується використання існуючої техніки або її оренди.

Тимчасовому та тривалому зберіганню палива необхідно приділяти достатньо уваги як з точки зору збереження кількісних та якісних показників так і з точки зору мінімізації витрат. Враховуючи, що вартість кожної операції завантаження/розвантаження складає близько 50 грн/т, то зростання таких операцій з врахуванням транспортування може збільшити вартість палива на 20-100%. Таким чином, завданням логістики є мінімізація кількості операцій з перевантаження, що можливо досягнути при прямих контрактах на постачання та прямій доставці біомаси від місця заготівлі/виробництва до котельні. Більше того, вибір виду біопалива визначає вимоги до його зберігання та очікуваних інвестиційних витрат на організацію складів.

Надмірне зволоження біомаси при тривалому зберіганні без відповідного захисту сприяє біологічному розкладанню біомаси, що призводить до погіршення якості палива та втрати товарних характеристик. Таким чином, необхідно забезпечити відповідні умови для зберігання біопалива, а зокрема від зовнішніх осадів. Вологі види біопалива можуть оброблятися і зберігатися на відкритому повітрі (тирса, деревні стружки, солома і т.д.) в той час як сухі види палива, такі як деревна тирса, гранули та брикети зберігаються в закритому приміщенні у великих штабелях або в бункерах.

Конструктивні рішення будівлі складу біомаси повинні враховувати такі умови:

- фізичні та механічні характеристики тюків (маса, форма, габарити, питома вага та ін..);
- площа та об'єм складу для зберігання необхідного запасу палива;
- компоновка обладнання повинна забезпечувати оптимальну механізацію та автоматизацію технологічних процесів, безпечне та зручне обслуговування;
- можливість в'їзду та маневру автотранспорту для розвантаження в залежності від технічних характеристик автотранспорту (висота, ширина, споряджена маса, радіуси розворотів, висота підйому навантажувачів та вантажопідйомність на витягнутій стрілі, висота до перекриття та ін.);
- забезпечення допустимих рівнів шуму, пожежної безпеки та стійкості конструкцій;
- забезпечення сприятливих умов для підсушування палива.

За попередніми розрахунками визначено орієнтовні питомі розміри складів для різних видів палива з урахуванням 7и денного запасу на кожні 100 кВт потужності: дрова – 18 м^3/(100 кВт*7 діб), тріска – 30 м^3/(100 кВт*7 діб), гранула – 6 м^3/(100 кВт*7 діб), 50 м^3/(100

Основні ризики, які можуть виникнути при зберіганні великих обсягів біомаси пов'язані з: формуванням пилу, отруєнням газами, самонагріванням та займанням, біологічною небезпекою.

Самонагрівання біомаси може відбуватися шляхом реакції окислення і/або за рахунок мікробіологічного розпаду. Чим більше свіжої біомаси і чим вищий вміст вологи, тим більше ризик для самонагрівання і самозаймання.

Отруєнням газами. При зберіганні біомаса поглинає кисень для мікробіологічних процесів та для хімічного окислення вуглецю. При цьому виділяється CO і CO_2. Ці гази не мають запаху і можуть привести до летального випадку навіть при низьких концентраціях. А низькі концентрації кисню можуть привести до удушення персоналу при вході в закрите сховище біомаси без належної вентиляції.

Формуванням пилу. Маніпуляції з біомасою можуть привести до формування значної кількості пилу. Частинки сухої біомаси часто мають низьку щільність і високий коефіцієнт лобового опору і можуть бути легко дисперговані в повітря. Летючі частинки пилу є великою небезпекою для персоналу, що контактує з біомасою, в основному за рахунок вдихання. Основний вплив пилу на здоров'я людини сфокусовано на легенях та дихальній системі. Другий значний ризик, пов'язаний з пиловою біомасою, є ризик вибуху пилу. Пил має дуже велику площу поверхні, в порівнянні з масою, і тому набагато більш горючий, ніж сипучий матеріал.

Біологічна небезпека. Біомаса є продуктом органічного походження, тому являється зручним середовищем для різних мікроорганізмів, тобто грибків і бактерій. Ризик мікробіологічного розпаду біомаси залежить від властивостей біомаси: її розміру і складу, вмісту вологи і температури. Розпад викликається, в основному, грибковими інфекціями. Гриби, зазвичай відомі як цвіль, утворюючи великі колонії здатні розкласти біомасу. В процесі росту гриби виділяють токсини, які потрапляють в повітря. Ці токсини можуть викликати роздратування і алергічні реакції дихальної системи.

2.3. Договірні відносини з постачальниками біопалива

На сьогодні, постачальник і споживач укладають договори на постачання палива на різний термін – від 1 поставки до 5 років. Як показує практика, в умовах України державні постачальники (наприклад, держлісгоспи) заключають договори терміном максимум на 1 рік виключно за результатами проведення загальних аукціонів продажу деревини. Для енергетичних об'єктів, таких як котельні, ТЕС/ТЕЦ рекомендується укладати довгострокові контракти з декількома постачальниками біомаси для зменшення ризиків.

В контракті обов'язково повинні бути передбачені терміни завчасного повідомлення про продовження контракту або його припинення.

Вимоги до якості біопалива, що постачається на енергетичний об'єкт (відповідність стандартам або технічним умовам на паливо, волога, розміри, зольність, наявність сторонніх домішок, щільність) – обов'язковий пункт договору, оскільки це є ключовим моментом безпосереднього впливу на ефективність роботи енергетичного обладнання та технологічний процес по заготівлі, транспортуванню та зберіганню.

Додатково в контракті повинні бути визначені процедури відбору зразків біомаси на проведення аналізів щодо відповідності вимогам до палива, а також відповідні дії при їх відхиленні (штрафні санкції або система бонусів, перерахунок ціни на паливо, поставка іншого палива відповідної якості і т.д.) та відповідальних за контроль ключових характеристик.

Незалежно від виду біомаси, гарантією безперебійної поставки палива перш за все є чітко складений договір з постачальником палива, в якому відображені всі необхідні вимоги до біомаси, яка поставляється, а саме кількості/якості, способу доставки, періодичності і т.д., а також дії сторін у разі можливих ускладнень постачання палива.

В умовах України деревна біомаса зазвичай відпускається у щільних м^3, солома та торф – в тонах. Для енергогенеруючого підприємства важливим показником є енерговміст палива. Саме тому один з рекомендованих прогресивних підходів до формування ціни у світовій практиці є оплата саме за енергію, яка міститься в паливі. Недоліком такого методу є підвищені фінансові витрати на постійний аналіз теплотворної здатності палива. Спрощений підхід полягає у корекції ціни у залежності від вологості палива.

Укладання прямих договорів дає наступні переваги сторонам:

- відсутність посередника призводить до зменшення ціни, оперативнішого та ефективнішого вирішення різноманітних складних ситуацій, які можуть виникнути на різних етапах взаємодії постачальник-замовник (наприклад, зміна якості палива, його кількості, періодичності і т.п.);
- «прозора» взаємодія з постачальником;
- прямі фінансові стосунки з постачальником;
- зменшення ризиків перебоїв доставки біомаси на об'єкт завдяки оперативнішому реагуванню.

Тим не менше, в європейській практиці часто реалізується метод закупівлі біопалива на біржах та в логістичних компаній-посередників, що несуть гарантії по надійності постачання й самостійно працюють з власниками біомаси. Такий підхід зручний для теплогенеруючих організацій оскільки зменшує обсяг організаційних витрат та дозволяє працювати з одним надійним постачальником.

2.4. Організаційно-технічні рішення постачання деревної біомаси

Рис. 2.4.1. *Техніка для подрібнення та вивезення деревини.*

При лісозаготівлі, в процесі рубок головного користування та рубок догляду/санітарних рубок, утворюються кілька «потоків» деревної біомаси, які можна розглядати як паливо. Це паливна тріска, паливні дрова, відходи від лісозаготівель (крона, сучки, пні, гілля, тощо), відходи первинної та вторинної обробки деревини (тирса, стружка, обрізки).

Наразі найбільш доступними для використання з метою виробництва енергії є дрова, відходи лісозаготівель у вигляді крон, сучків, гілля, хмизу а також відходи обробки деревини (тирса, кора, стружка, тощо). Велика частка заготовлених дров вже споживається населенням та різними підприємствами/ організаціями на енергетичні потреби, значна частка експортується, з певної частини виробляються гранули/брикети і тріска, а решта використовується для виробництва промислової та сільськогосподарської продукції. Залишки від лісозаготівель майже не утилізуються і практично є вільною сировиною для енергетичного використання.

В лісосіках, для заготівлі та подрібнення лісосічних відходів, можуть використовуватися **мобільні подрібнювачі (рис. 2.4.2)**, на одному шасі якого змонтовано маніпулятор, подрібнювач та накопичувальний бункер.

Рис. 2.4.2. *Зліва направо: харвестер, в'язанки відходів рубки, мобільний подрібнювач.*

Рис. 2.4.3. *Мобільний подрібнювач на шасі вантажного автомобіля.*

Метод подрібнення безпосередньо в лісі був дуже розповсюджений в Європі у середині 1990-х, але тепер його значення знижується, оскільки за продуктивністю і ефективністю він поступається методу упаковки у в'язанки і переробки на проміжних складах. Мобільні подрібнювачі – дорогі машини. Оскільки більша частина їх робочого часу витрачається на переїзд і збір сировини, то цю роботу більш легко виконувати звичайними форвардерами. Для підвищення продуктивності подрібнювачів збільшили їх розмір, що зробило їх досить громіздкими.

Збір відходів проводиться форвардером, кузов якого розширений для збільшення вантажопідйомності. Відходи рубки збирають у високі кипи на узбіччі, накривають водостійким папером і залишають на просушування. Подрібнення відбувається наступною зимою мобільним подрібнювачем (**рис. 2.4.3**).

Для **транспортування** тріски та подрібненої деревини використовують як змінні контейнери (**рис. 2.4.4**) так і спеціальні причепи та напівпричепи. Об'єми типових трісковозів: 35, 45, 55, 60, 65, 75 м^3. Перевезення подрібненої деревини здійснюється в закритих або напівзакритих контейнерах, що дозволяє зберегти її від дії опадів та зменшити вивітрювання при транспортуванні. Завантаження може здійснюватися за допомогою ковшових навантажувачів (**рис. 2.4.5**) або системи пневматичного навантаження. Для швидкого розвантаження можуть використовуватися причепи-самоскиди та причепи з рухомим дном (**рис. 2.4.6, 2.4.7**).

Рис. 2.4.4. *Мультиліфт з контейнером для тріски.*

Рис. 2.4.5. *Ковшовий навантажувач подрібненої деревини.*

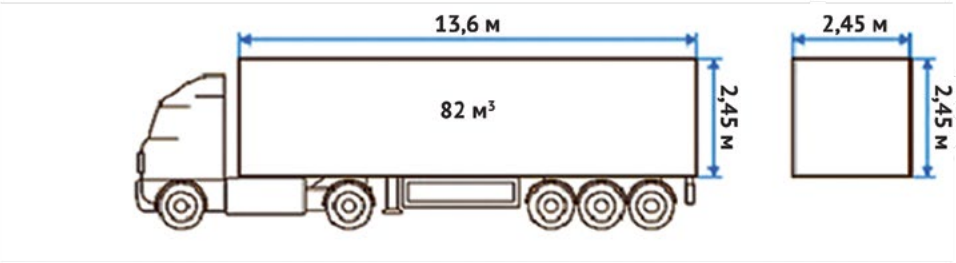
Рис. 2.4.6. *Види вантажних причепів для перевезення подрібненої деревини.*

Рис. 2.4.7. *Види вантажних причепів для перевезення подрібненої деревини.*

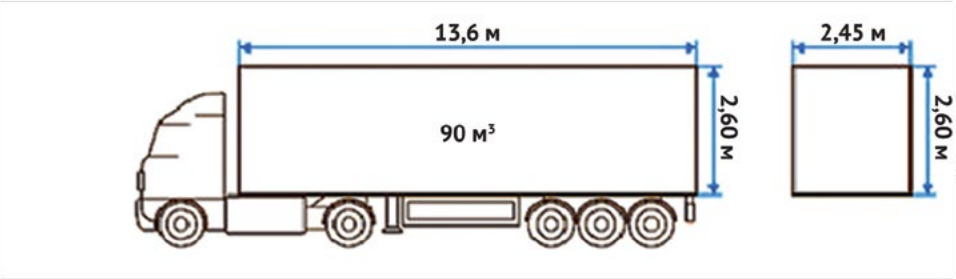
Рис. 2.4.8. *Процес спорожнення контейнера мобільного подрібнювача та подальше навантаження контейнера на тягач.*

Отримана мобільним подрібнювачем тріска, що накопичується у власній ємності після заповнення, пересипається у контейнери, які далі завантажуються на контейнеровози, що транспортують їх до складу сировини (**рис. 2.4.8**). Також застосовуються контейнеровози, в яких можна організовувати вивіз сировини незалежно від процесу збору і, цим самим, зменшити час очікування водіями. Контейнеровози є значно дорожчими за звичайні вантажівки, що придатні до перевезення тріски. Їх застосування є економічно виправданим при високій вартості робочої сили.

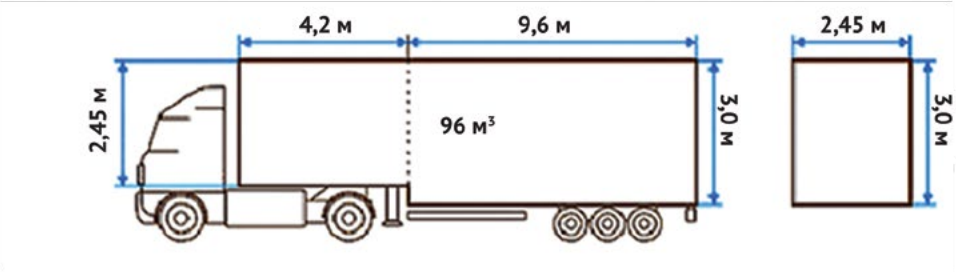
Найчастіше для транспортування даних напівпричепів використовуються автомобілі: DAF; Mercedes; MAN; Renault; Scania; Volvo; Iveco, що відповідають сучасним вимогам надійності, безпеки, комфорту та економічності. Характеристики напів-причепів для перевезення тріски наведено на **рис 2.4.9**.



Вантажопідйомність 20-24 т;
Внутрішні розміри: 13,6х2,45х2,45 м;
Об'єм: 82 м3

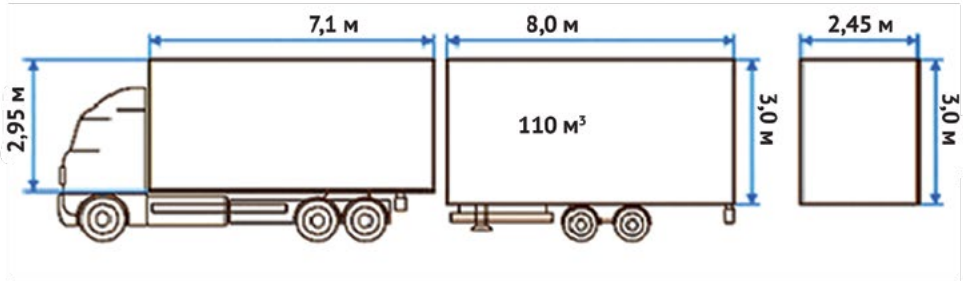


Вантажопідйомність 20-24 т;
Внутрішні розміри: 13,6х2,45х2,6 м;
Об'єм: 90 м³



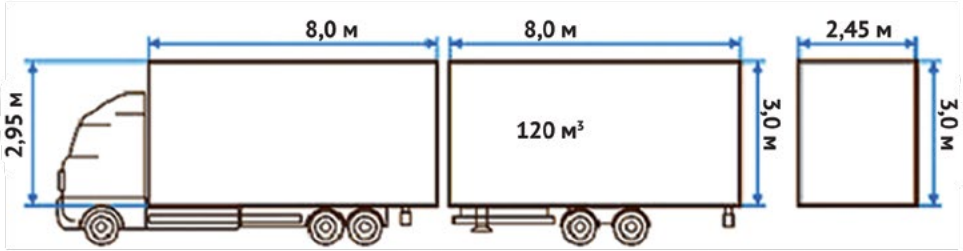
Тип – JUMBO

Вантажопідйомність 20-24 т;
Внутрішні розміри: 13,8х2,45х3,0 м;
Об'єм: 96 м³



Автозцепка

Внутрішні розміри: 7,1х2,45х3,0 м;
Об'єм: 2х60 м³



Автозцепка

Внутрішні розміри: 8,0х2,45х3,0 м;
Об'єм: 2х60 м³

Рис. 2.4.9. *Технічні характеристики причепів для перевезення тріски.*

Для подрібнення деревини перед її транспортуванням використовують мобільні подрібнювачі як причіпне обладнання для тракторів, так і на базі автомобільного чи самостійного шасі. В переважній більшості для подачі відходів в подрібнювач використовується гідроманіпулятор з захватом.

Основними виробниками подрібнювачів деревини є:

Подрібнювачі дискові: Teknamotor, Junkkari, Linddana A/S, Vermeer, Bandit, Pezzolato, Farmi Forest, Morbark, Peterson, РубМастер;

Подрібнювачі барабанні: Pezzolato, Bandit, Vermeer, Dynamic, Doppstadt, Jenz, Bruks, Heinola, Morbark, Peterson;

Мобільні подрібнювачі: Vermeer, Jenz, Doppstadt, Peterson, Bandit, Morbark.

Зовнішній вигляд подрібнювачів та технічні характеристики деяких наведені на (**рис. 2.4.10**) та в **табл. 2.4.1**.

Рис. 2.4.10. *Зовнішній вигляд мобільних подрібнювачів відходів деревини.*

Таблиця 2.4.1. Технічні характеристики мобільних подрібнювачів та маніпуляторів для подачі деревини

Параметр/Виробник	FARMI (Фінляндія)		Heizohack (Німеччина)		Tekna
Марка	260 HFC	380 HFC	HM-8-400	HM-10-500 K	Scorpion
Продуктивність, м^3/год	10-30	30-100	20-30	50-75	50
Максимальний розмір деревини, мм	260	380	400	500	360
Потужність приводу	90-125 кВт	125-205 кВт	60-100 к.с.	200-230 к.с. (170 кВт)	130 кВт
Оберти ВОМ	750 (540)	750 (540)	540 (750)	540 (750)	540
Маніпулятор	FARMI 4571	FARMI 6185	-	так	так
Піднімальний момент, кН*м	45,1	17,4	-	-	-
Виліт, м	7,1	8,5	-	-	-

Зберігання відходів деревини здійснюється типово двома способами – на узбіччі під відкритим небом (стовбури, відходи рубки), або на спеціальному критому складі у вигляді дров, пучків чи в'язанок до їх подрібнення. Переваги такого методу зберігання – менший об'єм у порівнянні з тріскою, не відбувається розігрів тріски у штабелях, опади мають менший вплив на вологість такого палива. В подальшому деревні відходи подрібнюються в тріску на нижньому складі й вивозяться на об'єкти споживання.

Рис. 2.4.11. *Вивезення та подрібнення деревних відходів.*

Складування сировини та підготовленого палива на території котельні може включати в себе відкритий проміжний склад тимчасового зберігання запасу палива (дров, тріски) для роботи протягом декількох днів (як правило від 2 до 8 днів) та складу з автоматичною системою паливоподачі з ємністю «живе дно» або силоса для сухого сипучого палива (гранули, лушпиння). Необхідна площа складів визначається з урахуванням графіків постачання, обраної автотехніки та наявної території. Для потужних об'єктів, з значним обсягом споживання палива, рекомендується використання відкритих складів, що значно зменшує обсяг інвестицій в будівництво таких об'єктів.

Рис. 2.4.12. *Види складів палива зліва направо: навіс, силос, критий склад, відкритий склад.*

Технічне забезпечення паливних складів визначається обраною схемою логістики й повинна враховувати необхідність та можливість розвантаження, перевантаження, подрібнення, складування та подачі в котельню для спалювання. За допомогою стаціонарних або автомобільних гідроманіпуляторів з захватом паливні дрова будуть перевантажуватись безпосередньо на відкритий паливний склад або безпосередньо на робочий стіл стаціонарного подрібнювача тріски.

Механізація розвантаження та транспортування паливних дров може бути організована з використанням існуючих підйомно-транспортних механізмів, таких як фронтальні навантажувачі, з доукомплектуванням їх відповідним навісним обладнанням.

Обслуговування паливного складу, як правило, здійснюється ковшовим навантажувачем (**рис. 2.4.13.**). Основними виробниками фронтальних та телескопічних навантажувачів є VOLVO, CLAAS, JOHN DEER, BOBCAT, TOYOTA, JCB, CAT та інші. До основних технічних характеристик фронтальних навантажувачів відносять: вантажопідйомність 1,5-12 т, максимальна висота вивантаження 2,8-13 м, об'єм ковша 0,5-5 м^3 та радіус розвороту 3,5-8 м. Найбільш придатними є телескопічні ковшові навантажувачі з висотою вивантаження не менше 3,5 м, що можуть бути використані і для завантаження автотранспорту.

Рис. 2.4.13. *Технічне забезпечення розвантаження паливних дров та біг бегів.*

Рис. 2.4.14. *Ковшові навантажувачі.*

Загалом, система подачі палива твердопаливної котельні складається з системи зберігання палива та системи її подачі. Для зберігання палива можуть використовуватися накопичувальні склади та ангари, силоса, бункера в т.ч. склади, що оснащені системою «рухома підлога». В якості систем транспортування палива можуть використовуватися пневматичні системи транспортування сухого однорідного палива (тирса, гранули) та механічні з використанням стрічкових, скребкових, шнекових, а також гідравлічні транспортери, транспортні циклони та різного типу мішалки та ворошителі та дозуюче обладнання.

Транспортер забезпечує дозоване транспортування палива зі складу до котлоагрегату. Причому, шнекові дозатори зазвичай використовують при відносно невеликій продуктивності подачі палива та відносно малих лінійних розмірах однорідної подрібненої сировини. Слід зауважити необхідність зміні кроку транспортних шнеків для уникнення їх забивання і відповідно заклинювання на виході сировини, а та-

кож відповідні обмеження по вмісту вологи в паливі. Скребкові та стрічкові можуть забезпечити більшу продуктивність та менш чутливі до фракційного стану подрібненого палива та вмісту вологи в ньому.

Для подачі подрібненої соломи використовують пневмотранспорт у сукупності зі шнековим чи гідравлічним транспортером для подачі палива в топку котла. При спалюванні цілих тюків соломи використовуються гідравлічні штовхачі.

Паливні склади типу «живе дно» виготовляються вітчизняними та зарубіжними виробниками. В переважній більшості виробники та постачальники котлів на біопаливі готові укомплектувати котел паливним складом та системою подачі палива в котел. Встановлення системи «живе дно» для котлів з автоматичною подачею палива потужністю до 1 МВт економічно недоцільно, що значно збільшує бюджет таких проектів.

2.5. Організаційно-технічні рішення по постачанню агробіомаси

Іншою вагомою складовою потенціалу біомаси в Україні є сільськогосподарські відходи. Первинні відходи включають солому зернових, зернобобових, відходи виробництва кукурудзи на зерно та соняшника. Вони утворюються безпосередньо в процесі збору врожаю відповідних сільськогосподарських культур. Вторинні відходи – це відходи, які утворюються в процесі переробки врожаю на профільних підприємствах (наприклад, лушпиння соняшника, лушпайки рису, жом цукрового буряка, тощо).

В процесі збирання врожаю зернова частина культури відділяється від стеблової, і солома за допомогою зернозбиральних комбайнів, косарок та граблів вкладається у валки. Частина соломи залишається у вигляді стерні на полі, потім вона приорюється у ґрунт. Тюкування соломи прес-підбирачем виконується в тих випадках, коли агропідприємство має конкретні плани щодо використання тюків. Зібрана солома використовується на потреби тваринництва (підстилка та грубий корм для худоби), як органічне добриво, для вирощування грибів у закритому ґрунті, на енергетичні потреби. Невикористаний залишок, фактично спалюється на полях (що є офіційно незаконним в Україні у відповідності до Кодексу України про адміністративні правопорушення).

В Україні на сьогоднішній день найбільш розповсюдженим методом збору соломи є потоковий спосіб (рис. 2.5.1), при якому подрібнена зернозбиральним комбайном солома збирається у змінні причепи і вивозиться до місця скиртування (при відсутності причепа солома розкидається по полю). Після цього солома зберігається у великих стогах, як правило не накритих. Такий спосіб зберігання призводить до її надмірного зволоження внаслідок дії опадів та сильних вітрів.

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

Рис. 2.5.1. *Потокове збирання соломи.*

При застосуванні соломи як палива використовуються переважно великі прямокутні тюки. В процесі збирання врожаю зернова частина відділяється від стеблової й за допомогою зернозбиральних комбайнів, косарок та граблів солома вкладається у валки (**рис. 2.5.2-2.5.3**) для формування щільних тюків. Збір соломи з поля повинен відбуватися відразу після збору урожаю зернових, що унеможливить збільшення вологості в наслідок випадання опадів, та дозволить відразу приступити до операцій по обробці ґрунту (підготовка для вирощування врожаю зернових в наступному році). Згідно типових сівозмін господарств, збір соломи з полів може тривати не більше 14 днів після закінчення збору урожаю зернових.

Рис. 2.5.2. *Формування валків.*

Рис. 2.5.3. *Укрупнення валків.*

Для **формування тюків** соломи використовують прес-підбирачі (**рис. 2.5.4**), що дозволяють отримати щільні прямокутні тюки або циліндричні рулони заданої форми і потрібних розмірів. Прес-підбирачі великогабаритних тюків мають незаперечні переваги перед іншими конструкціями машин, а саме: висока продуктивність, менші затрати праці, краще використання вантажопідйомності транспортних засобів, площ складських приміщень, підвищення продуктивності навантажувачів. Провідні машинобудівні фірми світу John Deere, Challenger, Hesston, Vicon, Claas і Krone та інші пропонують понад 20 моделей прес-підбирачів великогабаритних тюків, які різняться між собою площею перетину пресувальної камери, кількістю ходів поршня, конструкційним виконанням робочих органів (**Таблиця 2.5.1**).

Таблиця 2.5.1. Характеристики великих тюків соломи

Характеристика тюків	Типи прес-підбирачів					
	CLAAS, Quadrant 3200	Massey Ferguson MF 2160	New Holland BB9080-Standart	KRONE BiG Pack 1270	Challenger LB24B	CASE
Ширина, мм	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Висота, мм	700	700	900	700	700	700
Довжина, мм	1000-3000	1000-2700	1000-2600	1000-2700	1000-2700	1000-2600
Паспортна щільність пресування, кг/м^3	160-200	160-200	160-200	160-200	160-200	160-200

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

Вантаження тюків можна організовувати різними способами. Великі прямокутні та циліндричні тюки навантажуються фронтальним завантажувачем, тракторами-вантажниками, телескопічними навантажувачами та механічними підбирачами-укладачами тюків (**рис. 2.5.5**). Телескопічний навантажувач найкраще підходить для розвантаження, оскільки досягає висоту штабелів, в яких зберігаються тюки соломи. Для завантаження найчастіше застосовують фронтальні завантажувачі, оскільки для цього достатньо прикріпити насадку на трактор, що є в наявності. В залежності від обладнання фронтального завантажувача та його вантажопідйомності, вантажної потужності та стійкості, завантажувач може нести одночасно один або кілька тюків.

Рис. 2.5.4. *Прес-підбирачі тюків провідних виробників світу.*

Рис. 2.5.5. *Навантаження тюків фронтальним навантажувачем.*

При заготівлі великих об'ємів тюкованої соломи використовують сучасні автоматичні підбирачі тюків. Поєднання в одній установці функції збору, транспортування та розвантаження тюків дозволяє максимально ефективно й з великою продуктивністю організувати процес логістики заготівлі. Такими автоматизованими підбирачами можна перевозити за ходку до 12 тюків розміром 0,9 × 1,2 м. Це дає змогу зібрати тюки розкидані на полі та звести їх до місця завантаження вантажного автопоїзду або безпосередньо до проміжного складу. Загальний вигляд підбирачів тюків в процесі збирання, транспортування та розвантаження зображено на **рис. 2.5.6**.

Рис. 2.5.6. *Спеціалізовані підбирачі великих прямокутних тюків соломи.*

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

При перевезенні довгомірними вантажними автомобілями (**рис. 2.5.7**), як правило, завантажуються 12 тюків на платформу автомобіля і 12 на причеп-платформу. Завантаження відбувається у 2-3 яруси. При незначних відстанях широко застосовують навантаження до 16-20 тюків на автотранспорт. Розвантаження на паливному складі відбувається за допомогою фронтального/телескопічного навантажувача або спеціальних кранів.

Рис. 2.5.7. *Перевезення великих тюків соломи*

Рисунок 2.5.8. *Розвантаження тюків з вантажівки на складі.*

Для транспортування тюків соломи на невеликі відстані також можна використовувати трактор зі спеціальним причепом, що здійснює самозавантаження тюків соломи. Такі причепи дозволяють перевозити до 12 великих тюків соломи. Причіп призначений для підбору, транспортування та складування прямокутних тюків довжиною до 2,5 м. Варто зазначити, що перевезення соломи таким обладнанням можливо здійснювати на проміжний склад, який буде знаходитись на території агровиробника.

Солома, призначена для спалювання, повинна **зберігатися** в умовах, що забезпечують її захист від замокання, гниття, займання. Солому можна зберігати як у закритих приміщеннях, так і на вулиці **(рис. 2.5.10-2.5.11)**. Зберігання у закритих приміщеннях дозволяє підтримувати вологість соломи на одному рівні, запобігає гниттю. Великі склади соломи мають питоме навантаження на площу складу 1,5-2,5 т/м^2. Важливо забезпечити вільний доступ до соломи для спрощення зберігання та процесів її навантаження і розвантаження. Для операцій з великими тюками потрібен трактор з фронтальним навантажувачем. Крім того, у приміщенні має бути достатньо вільного місця для маневрів розвантажувача/навантажувача. Необхідний контроль вологості та протипожежної безпеки.

Рис. 2.5.10. *Зберігання тюків соломи під навісом.*

Рис. 2.5.11. *Зберігання тюкованої соломи на критому складі.*

Зберігання на вулиці є значно дешевшим, але у більшості випадків цей спосіб підходить лише для короткочасного зберігання. При зберіганні на відкритому повітрі існує ризик підвищення вологості соломи (особливо її верхнього шару) до рівня, що перевищує допустимий для спалювання в енергетичних установках (17-20%). Також солому можна зберігати під плівковим покриттям (**рис. 2.5.12**), але це не рекомендується за умов вітряного клімату. Як альтернатива, солому можна загорнути у плівку, що розтягується і є вітростійкою (**рис. 2.5.13**).

Рис. 2.5.12. *Зберігання тюкованої соломи на відкритому повітрі під захисною плівкою.*

Рис. 2.5.13. *Зберігання тюкованої соломи загорнутої в плівку, на відкритому повітрі.*

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

збирають кукурудзу зі стаціонарним обмолотом качанів на підприємстві.

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

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

На сьогоднішній день обсяги використання лушпиння оцінюється приблизно у 500 тис. т/рік, що дозволяє зекономити 200 млн. м³/рік природного газу.

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

2.6. Використання енергетичних культур

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

- цикл вирощування – однолітні (ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополя);
- тип – деревоподібні (верба, тополя), трав'янисті (міскантус, просо прутоподібне);
- характеристики й, відповідно, отримуваний кінцевий продукт – олійні (ріпак/соняшник на біодизель), крохмале- та цукровмісні (цукровий буряк/кукурудза на біоетанол), лігноцелюлозні (верба/тополя для безпосереднього виробництва теплової та електричної енергії, виробництва твердих біопалив або отримання рідких біопалив 2-го покоління);
- «походження» – класичні культури, які призначені для енергетичних цілей (міскантус, двукісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз).

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

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

Розглянемо особливості вирощування на прикладі кількох енергетичних культур, найбільш придатних для умов України – верби, тополі та міскантусу[1].

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

[1] «Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні». Аналітична записка БАУ №10 http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics

Таблиця 2.6.1. Характеристики енергокультур по відношенню до умов вирощування.

Енергокультура	Температура, °C			Потреба у воді	Морозо-стійкість	Посухостійкість
	проростання насіння	ріст культури				
		min	max			
Однорічні культури						
Ріпак	>5	5	30	середня	висока	середня
Соняшник	10	5	35	середня	низька	середня
Льон	7-9	8	30	середня	середня	середня
Сорго	12	10	40	середня	низька	висока
Швидкозростаючі деревовидні культури						
Верба	-	0	30	висока	висока	низька
Тополя	-	0	30	середня	середня	середня
Евкаліпт	-	5	35	висока	низька	висока
Багаторічні трав'янисті культури						
Двукісточник тростиноподібний	>7	7	30	висока	висока	низька
Просо прутоподібне	>15	10	35	середня	висока	середня/ висока
Міскантус	>8	10	40	середня/висока	середня	низька

Насадження верби залишаються продуктивними 20-30 років, а врожай протягом цього періоду можна збирати кожні 2-3 роки. Середній врожай верби становить 10-12 т сухої маси з га за рік. Найбільший врожай отримують на 4-5 рік вирощування – 16-20 сух. т/га/рік. За даними деяких авторів, при особливо сприятливих умовах врожай може досягати 30-40 сух. т/га/рік. Ступінь виснаження землі вербою в 3-5 разів нижче, ніж зерновими культурами, до того ж близько 60-80% поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям (**Рис. 2.6.1**).

Рис. 2.6.1. *Плантація верби та збір врожаю.*

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

Посадку верби доцільно проводити ранньою весною, відразу після морозів, оскільки в цей період вологість ґрунту є найбільш сприятливою. Посадка може виконуватися вручну або механізовано. При ручній посадці використовують саджанці завдовжки близько 20 см, при машинної – саджанці 1,5-2 м, які ріжуться в процесі посадки машинним способом на черешки 18-20 см. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений – зораний, прокультивований і очищений від бур'янів. Щільність посадки становить

15-20 тис. шт./га. У перші місяці особливу увагу слід приділяти контролю бур'янів, поки кущі культури ще не зімкнуться і не закриють бур'яни.

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

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

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

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

Рис. 2.6.2. *Плантація тополі і збір врожаю.*

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

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

Існують різні види тополі, серед яких для умов України фахівці рекомендують тополю Торопогрицького (гібрид тополі євроамериканської I-214 і пірамідальної). Цей клон характеризується високою продуктивністю і стійкістю до несприятливих умов. У звичайних умовах середній приріст тополі Торопогрицького становить 14 м^3/га на рік, а при високій зволоженості і трофності[2] ґрунту цей показник може вирости майже до 37 м^3/га на рік.

[2] Трофність – характеристика ґрунту по її біологічній продуктивності, зумовленій вмістом біогенних елементів. Поняття «трофність ґрунту» практично ідентично поняттю «родючість ґрунту». Зазвичай за рівнем трофності ґрунти умовно діляться на багаті і бідні. Типовим представником багатих ґрунтів є чорноземи. https://ru.wikipedia.org/wiki/Трофність

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

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

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

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

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

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

Досвід вирощування енергетичних культур в Україні

На сьогодні в Україні є лише кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні. Деякі з них коротко описані нижче.

Компанія *"Salix Energy"*, що була заснована в 2010 році, основним видом своєї діяльності визначила вирощування енергетичної верби (Salix Viminalis) для отримання паливної біомаси. Кінцевим продуктом є деревна тріска з енергетичних плантацій, яка може використовуватися для виробництва теплової та електричної енергії. *"Salix Energy"* має найбільші в Україні плантації енергетичної верби, розташовані у Волинській та Львівській областях. Розводяться 6 сортів верби, в тому числі польські, шведські. В 2013 р. компанія зареєструвала свій власний сорт «Марцияна» (єдиний офіційно зареєстрований в Україні). Перші плантації компанії були закладені у 2010 році, а у 2014 році був отриманий перший промисловий урожай. Станом на 2015 рік *"Salix Energy"* висадила близько 1700 га енергетичних плантацій і є однією з найбільших компаній у цьому виді діяльності в Європі. Подальші плани включають розширення площі плантацій верби до 2,5-3 тис. га.

Компанія *"Phytofuels"* вирощує цілий ряд енергетичних культур (просо прутоподібне, міскантус, верба, сорго цукрове та ін.) на площі понад 35 тис. га в Полтавській області. Брикети і гранули, вироблені з цих культур, *"Phytofuels"* поставляє вітчизня-

ним і зарубіжним споживачам. У наукових питаннях компанія тісно співпрацює з Інститутом біомаси та сталого розвитку (м. Полтава) і Університетом Вагенінгена (Нідерланди).

Агрохолдинг *KSG Agro*, що володіє 65 тис. га земель в Дніпропетровській області, розвиває новий напрямок свого бізнесу – вирощування міскантусу. В 2014 році на 30 га агрохолдингу успішно зійшли маточні плантації культури. Подальші плани полягають у висадженні міскантусу на 300 га у 2015 році з поступовим розширенням площі плантації до 3000 га. Біомаса міскантусу буде використовуватись для виробництва твердого біопалива. На 2015 рік *KSG Agro* також планує спорудження заводу з виробництва гранул, потужність першої черги якого становитимя 60 тис. т/рік, з перспективою росту до 90 тис.т/рік.

У 2015 році група компаній *«Укртепло»* започаткувала промислове вирощування енергетичної верби на ділянці розміром 2,2 тис. га в Іванківському районі Київської області. В майбутньому компанія планує розширити площі вирощування даної культури до 17 тис. га. Група компаній *«Укртепло»* включає завод з виробництва твердопаливних котлів (завод «СЕТ»), розташований в Рівненській області, та займається впровадженням проектів виробництва теплової енергії із біомаси в різних секторах. Енергетичні верба в майбутньому буде використовуватись як паливо у котлах «СЕТ».

ТОВ *«Аграрна Співдружність»* у 2011 р. розпочало реалізацію проекту з вирощування енергетичної верби (*Salix Viminalis*) і виробництва паливних гранул з неї. Земельний фонд проекту – 2 тис. га, розрахункова виробнича потужність заводу – 24 тис. т/рік.

2.7. Гранули з соломи та їх енергетичне використання

Протягом декількох років в Україні спостерігається значний розвиток виробництва гранул із соломи. Основний об'єм продукції постачається на експорт, проте, останнім часом намітилась позитивна тенденція збільшення споживання солом'яних гранул на внутрішньому ринку. Проблема використання таких гранул пов'язана з їх хімічним складом та технічними обмеженнями щодо їх можливості спалювання в типових котлах для спалювання деревних гранул.

На сьогодні в Україні налічується близько 40 виробників гранул із соломи, проте завантаженість більшості із них має короткочасний, або сезонний характер. Із зареєстрованих на теперішній час в Україні 350 підприємств-виробників гранульованого палива з біомаси реально працює близько 50. Основна маса виробників продовжує працювати за рахунок переорієнтації продажу продукції на внутрішній ринок через зниження експортних цін.

Продуктивність основних найпотужніших виробників гранульованого палива сягає 45 – 75 тис. т/рік. Проте, основна частина виробничих потужностей складає від 10 до 20 тис. т/рік. У 2014 році обсяг виробництва гранул з лушпиння соняшника склало понад склало понад 700 тис. т/рік, більше 500 тис. т/рік було вироблено гранул з деревини та трохи менше 300 тис. т/рік – гранул з соломи. Загалом, в Україні за 2014 рік було вироблено 1 млн. 500 тис. т гранул з біомаси.

На сучасному етапі розвитку галузі виробництва енергетичних (паливних) гранул забезпечення сертифікації виробництва та продукції дозволить легалізувати бізнес та збільшити прибуток, що отримується з кожної тонни продукції. Без сертифікації неможливий легальний бізнес та торгівля гранулами через офіційних дистриб'юторів в Європі. Для продажу в країнах ЄС необхідні маркування ENplus з зазначенням виробника та номеру партії. До того ж зареєстрований виробник повинен бути сертифікований німецькою експертною організацією TUV SUD. Ця організація проводить незалежну експертизу якості промислової продукції, в т.ч. гранул, по ISO 9001 та 14001 і видає європейський сертифікат, що забезпечує вільне використання продукції в країнах ЄС.

Для того, щоб українські підприємства могли працювати по європейським правилам, необхідна сертифікація виробництва по ISO 9001 та 14001 та кожної партії продукції по EN 17461. Але на даний час у нас в країні немає ні одної лабораторії, яка могла б контролювати якість гранул по всім 19 параметрам, що вказані в EN 17461.

Сьогодні на ринку України середня вартість гранул із соломи складає близько 70-80 $/т. Беручи до уваги середню в Україні ціну гранул з деревини - близько 80-100 $/т, можна стверджувати, що за таких умов гранули із соломи конкурентоспроможні у порівнянні з гранулами з деревини. Проте, слід очікувати, що зі збільшенням попиту на даний вид палива і ціна на нього може зрости.

Отже, враховуючи більшу розповсюдженість та рівномірність доступності соломи як сировини для виробництва палива по території України, відсутність конкуренції в сфері виробництва гранул із соломи, збільшення кількості теплогенеруючого обладнання на ринку котлів України і зарубіжних

аналогів, що можуть працювати на гранулі з соломи, можна зробити висновок про поступовий розвиток даної галузі.

За таких умов перспективним може бути створення невеликих за продуктивністю об'єктів виробництва паливних гранул із соломи, що переробляють надлишкову солому деякого регіону і мають можливість поставляти свою продукцію за прямими контрактами місцевим споживачам палива або приймати участь в процедурах аукціонів, тендерів, конкурсів закупівель державного та недержавних секторів.

У порівнянні з традиційними твердими видами палива при використанні соломи виникають деякі технічні проблеми, що пов'язані зі специфічними властивостями соломи, а саме:

- через велике значення питомого об'єму тюкованої соломи виникає необхідність у збільшенні витрат на транспортування та великих площах під складування палива;
- через достатньо великий вміст вологи в соломі виникає загроза заморожування частини палива, що спричиняє блокування або перешкоджання стабільній роботі транспортних систем;
- під час тривалого часу зберігання соломи на відкритому повітрі відбувається розкладання біосировини, що призводить до зміни основних фізичних характеристик соломи.

Перелічені вище проблеми можна вирішити шляхом ущільнення (гранулювання та брикетування) соломи, що забезпечить більш однорідні властивості палива.

До основних переваг покращеного (ущільненого) палива можна віднести:

- підвищену об'ємну щільність (від 80-150 до 600-700 кг/м^3), що дозволяє знизити витрати на транспортування, як показано в табл. нижче, зменшити необхідні площі для зберігання;
- зменшення вмісту вологи (нижче 10 %) дозволяє збільшити тривалість збереження палива без істотних змін його властивостей;
- підвищення енергетичної щільності та більш гомогенний склад, що забезпечує можливість кращого контролю процесу спалювання, вищу ефективність використання енергії та зниження викидів продуктів неповного згорання.

До основних видів ущільненого палива з соломи належать брикети та гранули. Для обох типів ущільнення палива із соломи притаманні приблизно однакові показники щодо теплоти згорання, вмісту вологи та хімічних характеристик, проте щільність та міцність вища для гранульованого палива.

Таблиця 2.6.2. Порівняння вартості транспортування тюкованої та гранульованої соломи

Тип соломи	Вантажний автомобіль з прицепом, довжина	Максимальна завантаженість	Вартість транспортування 1 т на 100 км	Затрачувана енергія на транспортування 1 т на 100 км
Тюкована	18 м	17,7 т	2,07 у.о.	4,04 МДж
Гранульована	15 м	28 т	1,31 у.о.	2,55 МДж

Таблиця 2.6.3. Порівняння насипної маси гранул та вихідної сировини

Матеріал	Середня насипна маса, кг/м^3		Ступінь ущільнення, в порівнянні з вихідною сировиною, разів	
	від	до	від	до
Гранули	650	700	-	-
Деревна стружка	70	200	3	10
Деревна тирса	220	250	3	
Тюкована солома	120	140	5	6
Солома, в залежності від ступеню подрібнення	45	125	5	15
Соняшникове лушпиння, костриця льону	90		8	

Діаметр стандартних гранул: від 6 до 12 мм з довжиною від 4 до 5 діаметрів. Це дозволяє легко використовувати паливо в повністю автоматичному режимі в умовах як домашніх господарств так і систем комбінованого виробництва теплової та електричної енергії теплоенергетичних об'єктів.

Згідно з європейським стандартом на гранули ISO 17225-2:2014 (EN 14961-2) сформовано три класи гранул за їх основними якісними характеристиками, що визначають їх сферу застосування. Найбільш жорсткі вимоги встановлені для паливних гранул першого сорту А1. Максимально допустима

зольність для гранул цього класу становить 0,5% (гранули з хвойних дерев) і 0,7% (із листяних порід дерев). Такі гранули рекомендовано до використання у приватному секторі.

Другий клас паливних гранул А2 може бути вироблений із змішаних сортів деревини з вмістом золи не більше 1%. Гранули такого стандарту рекомендовано до використання у котельнях комунальної та бюджетної сфери потужністю до 1 МВт. Причому, слід зауважити, що для використання гранул в малопотужних котлах приватного сектору та котлах бюджетної та комунальної сфери підходять як спеціалізовані котли, так і котли на рідкому виді палива, що можуть бути оснащені спеціальним пальником для гранул.

Гранули третього класу якості В можуть бути з допустимою зольністю до 3% і призначені для використання на потужних теплових станціях промислового типу.

Враховуючи зольність солом'яних гранул, яка складає від 2 до 10%, тобто в середньому – 4-7%, і наведену в таблиці вище інформацію можна зробити висновок, що у відповідності до основних показників якості, дані гранули можуть відповідати лише третьому класу за європейським стандартом, і призначені для використання на потужному промисловому енергогенеруючому обладнанні з тепловою потужністю більше 1 МВт. В таблицях нижче представлено хімічний склад гранул із соломи та деревини, а також наведено результати дослідження температури плавлення золи для соломи (Табл. 2.6.4-2.6.5).

Таблиця 2.6.4. Хімічний склад гранул із соломи та деревини на суху масу

Паливо	Вуглець, C	Водень, H	Сірка, S	Азот, N	Хлор, Cl	Натрій, Na	Калій, K
Гранули із соломи	45-47	5,8-6,0	0,1-0,2	0,4-0,6	0,14-0,97	0,01-0,6	0,69-1,3
Гранули із деревини	49-50	6,0-6,1	<0,04	<0,3	<0,02	0,001-0,002	0,02-0,15

Таблиця 2.6.5. Температура плавлення золи

Температура, ^{0}C	Солома пшениці	Солома пшениці	Сіра солома
Температура початку плавлення	848	1056	950
Температура пом'якшення	956	1122	1100
Напівсферичний етап	1107	1161	-
Температура рідкого стану	1241	1232	-

Фактичні дані сертифікатів якості паливних гранул соломи виробництва ТОВ «ВІН-ПЕЛЕТА» та якості соломи в м. Миргород наведені в таблиці.

Виробник	Вологість Wp %	Зольність Ap,	Сірка Sp, %	Хлор Cld, %	Нижча теплота згорання, Qнр, ккал/кг	Температура деформації золи, ^{0}C
ТОВ «Він-ПЕЛЕТА»	6,17	7,26	0,1	0,158	3797	-
м. Миргород	11,2	6,59*	0,08*	0,392	3574	1150

* на суху масу

Для уникнення першочергових проблем при спалюванні гранул із соломи (спікання золи, накопичування відкладень на поверхнях теплообміну котла і як результат загроза корозії), топковий пристрій котла повинен бути налаштований на режим роботи при більш низьких температурах з одночасним забезпеченням відводу отриманої золи за її межі. Також необхідне оснащення котла системою автоматичної очистки поверхонь конвективного теплообмінника котла. Всі ці заходи технічно можливо та економічно доцільно використовувати на котлах великої потужності і ніяк на обладнанні приватного господарства.

Використання такого палива для потреб приватних господарств не рекомендується, оскільки використання даного виду біопалива може спровокувати корозію металу котла, що може значно скоротити термін експлуатації обладнання. Іншими негативними наслідками використання солом'яних гранул є екологічні показники, дотримання яких без встановлення дорогого фільтраційного обладнання є неможливим. Таким чином, економічна доцільність реалізації додаткових заходів для дотримання екологічних вимого може бути значним стримуючим фактором для застосування гранул з соломи в установках малої потужності.

В даний час, на ринку України, реалізуються котли з пальниками спеціальної конструкції, що дозволяють організувати спалювання гранул соломи. Такі пальники оснащені спеціальним механізмом самоочищення, що обертається та дозволяє механічно здійснювати «ворошіння» палива не дозволяючи йому спікатися та забезпечуючи проникнення повітря в зону горіння. З досвіду експлуатації таких пальників можна сказати, що проблеми пов'язані з спалюванням солом'яних гранул частково вирішені при організації належної експлуатації.

Іншим напрямком організації енергетично використання солом'яних гранул є покращення їх якості та підвищення температури плавлення золи. На етапі виробництва гранул до соломи добавляють різного роду біологічну масу – тирса, торф, лушпиння. Це дає можливість збільшити частку лігніну в сировині, що позитивно впливає на міцність та стійкість до руйнування та стирання гранул із соломи, а також призводить до зменшення вмісту зольності за рахунок домішування менш зольного палива. А головне, що сумішеве паливо дозволяє підвищити температуру плавлення золи, що є однією з головних властивостей соломи як палива. Було визначено, що додавання понад 30% до соломи іншої біологічної сировини при грануляції, суттєво зменшувало ризики шлакування золи при спалюванні такої гранули. Іншим позитивним фактом додавання до соломи біосировини є зменшення питомого енергоспоживання на одиницю готової продукції та подовження термінів експлуатації робочих елементів пресувального обладнання.

В таблиці нижче приведені дані для змішаних матеріалів – вологість соломи 9-10 % та вологість деревин 7-9,5 % та енергетичні характеристики сумішевого палива при додаванні деревини. Як видно з таблиці, додавання деревини дозволило зменшити зольність та підвищити теплоту згорання соломи як палива.

Матеріал	Теплота згорання, МДж/кг	Зольність, %
Солома	17,74	7,88
Солома та деревина (10%)	17,98	7,3
Солома та деревина (20%)	18,23	6,56
Солома та деревина (30%)	18,46	5,87

В якості прикладу розвитку споживання гранульованої соломи в Україні проект виробництва теплової енергії із біомаси у місті Кам'янець-Подільський в бюджетній сфері з загальною потужність котлів до 7,6 МВт на вітчизняному обладнанні фірми Ретра. Інший позитивний досвід енергетичного використання солом'яних гранул є їх спалювання в котлах Saypet на об'єктах бюджетної сфери Петропавлівського району Дніпропетровської області, а також в котлах АВЕРС потужністю 220 кВт в м. Умань для опалення шкіл.

3. ПРАКТИКА РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ

3.1. Технічні рішення та обладнання для виробництва теплової енергії з біомаси

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

Технології спалювання біомаси (**рис. 3.1.1**) розділяють на три основні типи: спалювання в шарі, пилове спалювання, спалювання в псевдозрідженому стані, а також комбінований тип – сумісне спалювання біомаси з іншими паливами.

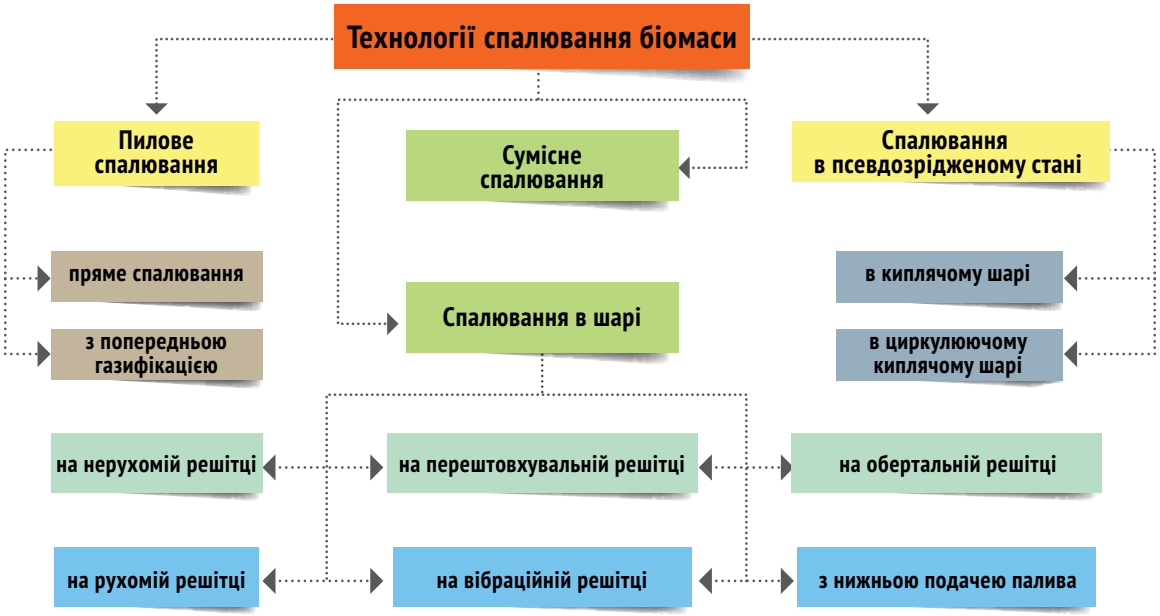


Рис. 3.1.1. *Технології спалювання біомаси.*

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

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

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

новними технологіями спалювання деревної БМ, що наразі використовуються: спалювання в пальниках ретортного типу, спалювання на решітках, спалювання у вихоровій топці, спалювання в обертовій печі, спалювання в киплячому шарі, спалювання в циркулюючому киплячому шарі та ін..

Пряме спалювання є добре відпрацьованою промисловою технологією в усіх країнах й відрізняється своєю простотою та доступністю. Сучасне вдосконалення цих технологій іде по шляху вирішення проблем забруднення навколишнього середовища, пристосування до використання різних видів палива, підвищення ефективності спалювання та застосування в когенераційних системах. В таблиці представлені основні способи спалювання рослинної біомаси та види топок та пальників та їх опис.

Таблиця 3.1.1 Технології та обладнання для спалювання біомаси

Технологія спалювання	Опис	Види топок, пальників
Шарове	У шарових топках паливо спалюється пошарово з подачею палива зверху або знизу	Колосникові грати (рухомі та нерухомі)
		Стокер
		Реторта
		Затиснутий шар
Вихрове (циклонне)	За допомогою системи повітряних сопел в топці (пальнику) створюється потужний вихор, в якому згорають зважені частинки біомаси	Вихрова топка
		Камерні пилові і циклонні топки
Розпилене	Дуже дрібні і сухі відходи деревини (вологістю до 20 %), наприклад, тирса та шліфувальний пил, лушпиння, можуть спалюватися у вихровому пальнику. Ця система нагадує систему спалювання пилоподібного вугілля	Вихровий пальник
Псевдозріджене	Паливо з високою вологістю та зольністю, суміші різних видів палива, спалюються в турбулентній зоні над киплячим шаром інертного кварцового піску	Киплячий шар
		Циркулюючий киплячий шар
Обертове	В процесі спалювання сировина струшується і перемішується при безперервному обертанні циліндричної топки. Як правило використовується для вологого, зольного та неоднорідного виду палива, а зокрема ТПВ	Циліндричні обертові топки

Висока якість спалювання, з точки зору максимального спалювання горючих газів головним чином залежить від температури в камері спалювання, перемішування горючих газів, часу перебування часток палива в топці котла та надлишку кисню, необхідного для повного спалювання. Ці параметри залежать від ряду технічних деталей:

- технології спалювання (конструкція камери спалювання, спосіб управління процесом);
- параметри спалювання (співвідношення кількості первинного та вторинного повітря, розподіл повітряних сопел);
- рівень навантаження (часткове чи повне);
- характеристики палива (форма, фракційний склад, вміст вологи, золи, рівень плавкості золи).

Біомаса, порівняно з викопними паливами, має ряд характеристик, які ускладнюють її спалювання. В першу чергу основні труднощі у паливному використанні біомаси пов'язані зі складом неорганічних речовин, що містяться в ній. Деякі типи соломи зазвичай містять значну кількість сполук хлору, сірки та кальцію. Такі сполуки як KCl, K_2SO_4 є досить легкоплавкими, і випаровування цих компонентів може призвести до формування відкладень на теплообмінних поверхнях, що призводить до погіршення теплообміну та розвитку корозії. Відкладення можуть зменшувати ефективність роботи обладнання та призводити до виходу його з ладу внаслідок перегріву та пошкодження поверхонь нагріву. Перехід лужних металів, хлору та сірки в газову фазу можуть призвести до формування великої кількості аерозолей, що супроводжується високою емісією HCl та SO_2.

З огляду на експлуатаційні виклики при спалюванні різних видів біомаси, для спалювання тріски та соломи, найбільше поширення мають такі технології як спалювання на решітках, суспензійне спалювання та спалювання в киплячому шарі.

Таблиця 3.1.2 Основні характеристики різних способів спалювання біомаси

Параметр	Шарове спалювання	Шарове стокерне спалювання	Суспензійне спалювання	Спалювання в киплячому шарі
Наявність решіток	стаціонарні решітки	стаціонарні або рухомі решітки	Відсутні решітки або рухомі решітки	Відсутність решіток
Розмір часток палива	однорідне паливо розміром 60-75 мм з кількістю дрібних часток не більше 20%	можна використовувати паливо неоднорідного розміру	бажаний високий вміст дрібних часток	однорідне паливо розміром 1-10 мм
Процес спалювання	важко підтримувати ефективне спалювання через: - недостатній контакт з повітрям; - нерухомість шару палива викликає відкладення шлаку; - важко запобігти утворення каналів повітря в шарі палива; - через періодичне видалення золи гірші умови спалювання	спалювання ефективніше порівняно з купчастим, більша частина палива згоряє у зваженому стані, більші частки падають на грати і згоряють на них. При наявності рухомих грат зола видаляється постійно, менша можливість для відкладання шлаку	умови дещо подібні до стокерного спалювання, але внаслідок меншого розміру часток переважна частина згоряє у зваженому стані, тому більша ефективність спалювання	найкращі умови спалювання, оскільки частинки знаходяться у зваженому стані і забезпечено добрий контакт палива з повітрям
Температура процесу	1250-1350 °C	1000-1200 °C	1250-1350 °C	800-850 °C
Вологість палива	Велика вологість призводить до злипання палива в шарі і погіршує умови спалювання	умови спалювання не сильно змінюються при підвищенні вологості на 4-5%	те ж, що для стокерного спалювання	можливе використання палив з вологістю до 45-50 %, хоча високий вміст вологи небажаний
Параметри тяги	з природньою тягою, під наддувом, врівноважена тяга	під наддувом, врівноважена тяга	врівноважена тяга	врівноважена тяга
Технічне обслуговування	нема великих проблем	часті проблеми з рухомими гратами	різниця в розмірах часток викликає запізнення горіння, що може впливати на труби котла	досить часта ерозія труб, що контактують з киплячим шаром

Описані вище способи спалювання твердої біомаси знайшли своє втілення у різноманітних типах теплогенеруючого обладнання, теплова продуктивність якого охоплює широкий діапазон потужностей від побутових котлів до енергетичних установок.

Обладнання, що застосовується для прямого спалювання рослинної біомаси, варіюється від маленьких домашніх печей до великих котлів, що застосовуються на теплових та електричних станціях (більше 5 МВт). Проміжні за розміром установки включають маленькі опалювальні котли (від 10 до 50 кВт), що використовуються для опалення окремих будинків, опалювальні котли потужністю 50-150 кВт, що використовуються для опалення будинків, де мешкає кілька сімей, та котлів потужністю від 150 кВт до більших ніж 1 МВт, що використовуються в системах центрального опалення.

Найбільш розповсюджені типи обладнання для спалювання біомаси, зокрема соломи, подано в таблиці нижче.

Обладнання для спалювання біомасового палива, як, зрештою, і для будь-якого іншого палива, проектується під конкретний вид палива визначених фізичних та хімічних характеристик. Таким чином, вибір технології використання тріски та соломи як палива визначаються багатьма чинниками, серед яких головними є фізичні характеристики (вологість, ступінь подрібнення), що визначаються, в основному, методами збирання та типом застосованої техніки, наявністю апробованих технологій спалювання, зручністю та ефективністю методів попередньої підготовки палива.

Таблиця 3.1.3 Найбільш поширені типи обладнання для спалювання соломи

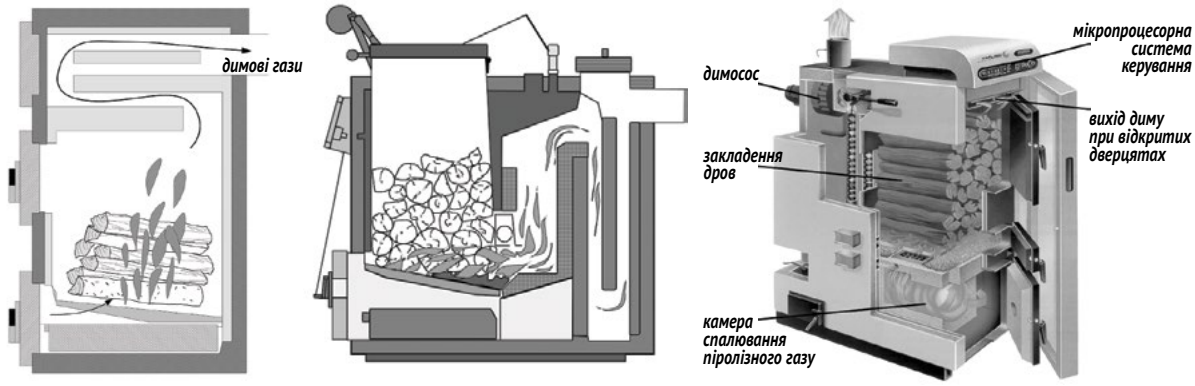
Тип	Типовий інтервал потужності, кВт	Використовувані палива	Вміст золи палива, %	Вміст вологи палива, %
Котли для періодичного спалювання тюків соломи	150 -3000	тюки соломи	-	-
Топки з рухомими гратами (перештовхувальні, вібраційні)	150– 15000	більшість видів біомаси	<50%	5%-60%
Сигарне спалювання	3000 – 5 000	тюки соломи	<5%	20%
Топки для спалювання цілих тюків	3 000 – 5 000	тюки соломи	<5%	20%
Топки для соломи	100 – 5 000	тюки соломи з подрібненням	<5%	20%
Стаціонарний киплячий шар	5000 – 15 000	різні види біомаси d < 10 мм	<50%	5%-60%
Циркулюючий киплячий шар	15 000 – 100 000	різні види біомаси, d < 10 мм	<50%	5%-60%
Спалювання у пилоподібному вигляді	5 000 – 10 000	різні види біомаси, d < 5 мм	<5%	<20%

Варто відзначити, що в Україні відсутній досвід розвиненого сумісного спалювання біомаси з традиційними видами палива – газу та вугілля, а також відсутні відповідні технології та обладнання для спалювання низькосортного палива за технологією киплячого шару. Таким чином, варто очікувати, що розвинена технологія спалювання в шарі на різних видах решіток буде залишатися основною технологією енергетичного перетворення енергії палива в корисну теплову енергію, а нові потужні об'єкти, що планують використовувати солому в якості палива, будуть орієнтовані на використання імпортного обладнання та технології. Поміж тим, в Україні є технічний потенціал та технологічні можливості освоїти сучасні ефективні технології та налагодити виробництво власного спеціалізованого котельного обладнання.

3.1.1. Котельні на біомасі

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

Водогрійні котли на дровах (**Рис. 3.1.2**) можуть використовуватись як для опалення окремих будинків, так і в системах централізованого теплопостачання.

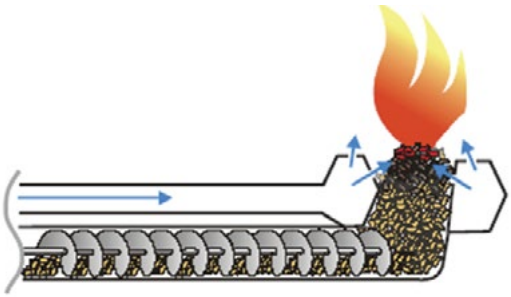


а) верхнього горіння *б) нижнього горіння* *в) оберненого горіння*

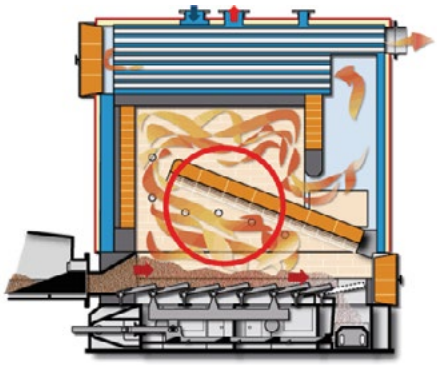
Рис. 3.1.2. *Конструкції котлів на дровах.*

Найпростішими є котли на дровах, в яких зразу відбувається горіння всього об'єму палива (**Рис. 3.1.2,а**). В більш сучасних конструкціях (**Рис. 3.1.2, б-в**) спалювання відбувається в дві стадії – спочатку відбувається газифікація твердого палива, а потім спалювання піролізного газу в окремій камері, що розміщена збоку чи знизу від камери, де знаходиться паливо, та вигорання коксозольного залишку на решітці. Така конструкція дозволяє досягати більшого коефіцієнту корисної дії та кращих екологічних показників (зменшення викидів твердих частинок та оксиду вуглецю). Котли на дровах рідко проектуються на теплову потужність понад 1 МВт, оскільки при більшій потужності ускладнюється їх обслуговування, пов'язане з ручною працею.

Спалювання сипучих деревних відходів та гранул реалізується, як правило, в котлах з автоматичною подачею палива та його спалюванням в спеціальному пальнику чи реторті з нижньою або верхньою подачею в котлах потужністю до 1 МВт (**Рис. 3.1.3, а**), або з використанням похило-перештовхувальної решітки в котлах потужністю від 200 кВт до 20 МВт (**Рис. 3.1.3, б**). При спалюванні твердих біопалив, з різним фракційним складом, підвищеним вмістом золи, сумішей різних видів палив, використовують котли з киплячим (при тепловій потужності більше 10 МВт) або циркулюючим киплячим шаром (більше 20 МВт).



а) реторта з нижньою подачею



б) похило-перештовхувальна решітка

Рис. 3.1.3. *Способи спалювання сипкого палива.*

Солома як паливо використовується в котлах або теплогенераторах для періодичного спалювання цілих тюків (**Рис. 3.1.4, а**) та безперервного спалювання, з попереднім подрібненням тюків (**Рис. 3.1.4, б**).

а) спалювання цілих циліндричних тюків

б) спалювання подрібненої соломи.

Рис. 3.1.4. *Спалювання соломи.*

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

Основні елементи теплогенеруючих установок при використанні деревної тріски показані на **Рис. 3.1.5**.

При використанні гранул, як правило, паливний склад може бути замінений вертикальним металевим силосом, що займає значно менше місця та завантажується з машини-грануловоза шляхом пневмоподачі, за допомогою шнекового транспортера або норії. Невисокі накопичувальні бункери можуть завантажуватись ковшовим навантажувачем або безпосередньо з біг-бегів.

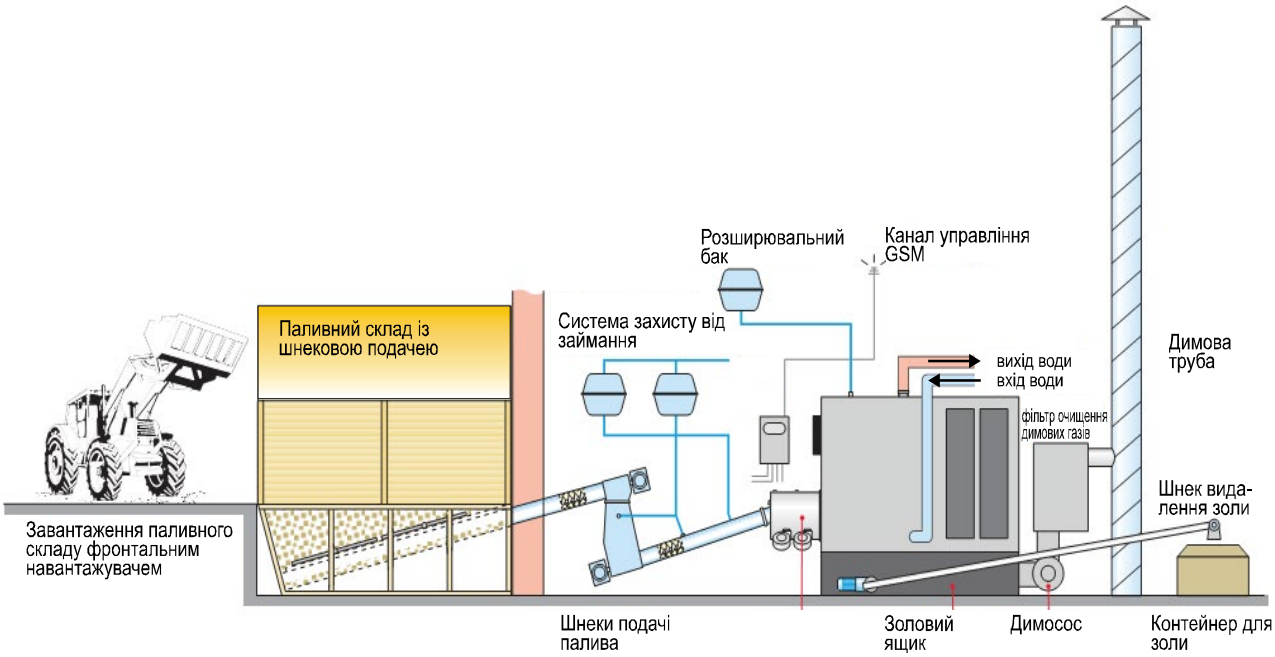


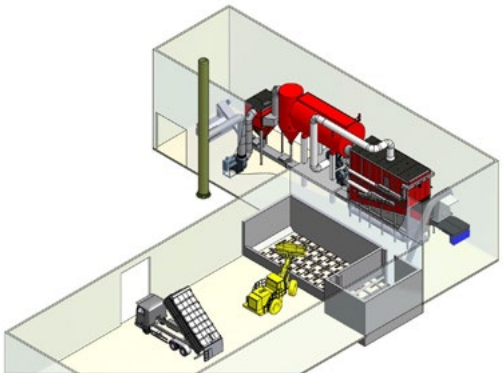
Рис. 3.1.5. *Основні елементи котельні на біомасі (деревна тріска).*

Котел на гранулах може бути встановлений як в існуючій котельні (**Рис. 3.1.6., а**), при наявності вільного місця для розміщення обладнання паливоподачі, так і у вигляді окремої модульної котельні (**Рис. 3.1.6., б**).

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

Твердопаливні котельні рекомендується оснащувати водяним баком-акумулятором (як запас теплоти та захист від перегріву), в якому знаходиться запас нагрітої води, що використовується для компенсації добової нерівномірності споживання тепла. Як правило, на кожен кВт встановленої теплової потужності котла необхідно 10 л об'єму бака акумулятора.

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



а) компонування котла та паливного складу

б) модульна котельня на гранулах

Рис. 3.1.6. *Варіанти впровадження котлів на біомасі.*

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

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

Таблиця 3.1.4. Орієнтовні порогові значення ступеню очистки для різних систем

Тип обладнання	Ступінь очистки	Вимоги по твердим частинкам, мг/нм^3
Циклон	60...80%	Для котлів з валовим викидом частинок до 500 г/год включно не більше 150 мг/нм^3
Мультициклон	70...90%	
Рукавний фільтр	85...95%	Для котлів з валовим викидом частинок більше 500 г/год включно не більше 50 мг/нм^3
Електрофільтр	93...99%	

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

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

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

На сьогоднішній день досить поширеним технічним рішенням є реконструкція та технічне переоснащення існуючих котлів для спалювання в них біомаси. Таким чином, більшість твердопаливних котлів типу НИИСТУ, УНІВЕРСАЛ, ДКВР, що працювали на вугіллі успішно можуть спалювати дрова та деревну тріску при встановлені в них нерухомих колосникових решіток. В окремих випадках існуючі твердопаливні та газові котли потужністю до 500 кВт можуть бути переведені на спалювання біомаси шляхом встановлення в них автоматичних пальників для спалювання гранул. Більш ефективним виглядає рішення з встановленням передтопків в яких відбувається повне горіння палива, а існуючий котел використовується в якості утилізатора димових газів. Таке технічне рішення відпрацьоване для більшості типів парових та водогрійних котлів (ДКВР, КЕ, Е, ДЕ, КВГ, КВГМ та ін), що експлуатуються в промисловості та на об'єктах ЖКГ. Варто зауважити, що вартість реконструкції котлів з встановленням передтопків, комплектацією системи керування, додатковим обладнанням паливоподачі та газоочистки може часто перевищувати вартість нового газового котла. А тому доцільність глибокої реконструкції котлів повинна визначатися на основі запропонованих технічних рішень, залишкового ресурсу та економічної доцільності.

3.1.2. ТЕЦ на біомасі

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

Принципова схема парової ТЕЦ на біомасі наведена на **рис. 3.1.7**. Біопаливо доставляється на склад палива 5 і подається в котел для спалювання з метою виробництва теплової енергії у вигляді пари. Пара, вироблена котлами 1 на біомасі, надходить до парової турбіни 2 де частина енергії перетворюється в механічну енергію, що приводить в рух електрогенератор 3. Відпрацьована в турбіні пара надходить в якості гріючого теплоносія в підігрівач мережевої води 4. Подача води в теплову мережу 9 здійснюється мережевими насосами 8.

1 – паровий котел на біомасі;
2 – парова турбіна (протитискового типу);
3 – електрогенератор;
4 – підігрівач мережевої води на ТЕЦ;
5 – склад біопалива;
6 – система очистки димових газів;
7 – димова труба;
8 – мережевий насос;
9 – система централізованого тепло забезпечення.

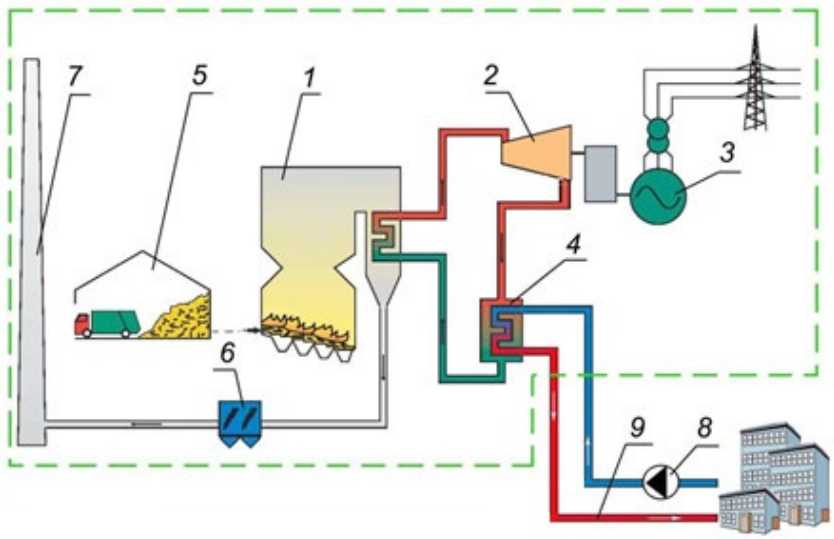


Рис. 3.1.7. *Принципова схема ТЕЦ на твердій біомасі.*

3.1.3. Схеми забезпечення виробництва теплової та електричної енергії. Основні параметри та характеристики.

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

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

- **парова турбіна** та **паровий двигун**, що працюють по **циклу Ренкіна**, де вода під високим тиском випаровується й пара, яка утворюється, розширюється до низького тиску в паровій машині
- **турбіна**, що використовується в **органічному циклі Ренкіна** (ORC), де замість води використовується органічний теплоносій (теплота згорання передається органічному теплоносію, який має температуру кипіння нижчу від температури кипіння води, що подається на зовнішній випаровувач органічного теплоносія).

Порівняльні технічні характеристики базових енергоустановок наведені в (**табл. 3.1.2**).

Таблиця 3.1.5. Основні характеристики базових енергоустановок

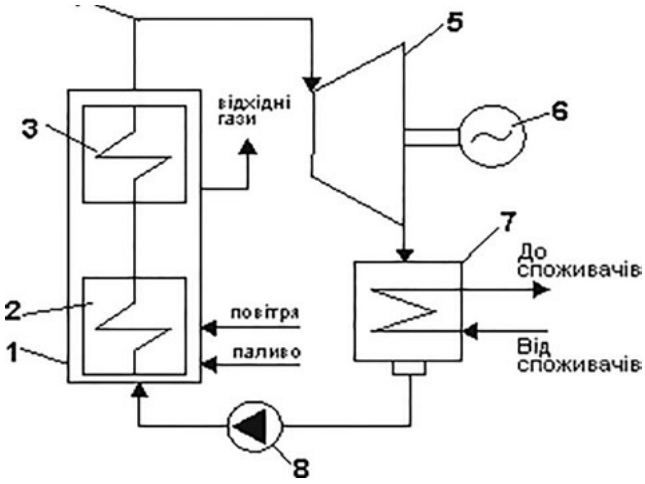
Обладнання	Електрична потужність, кВт	ККД, %
Паросилові установки		
Паротурбінні установки	500...5000	10...20
Паротурбінні установки	5000...20000	20...25
Паротурбінні установки	20000...50000	>30
Гвинтові парові двигуни	20...1000	10...12
Поршневі парові двигуни	200...2000	10...12
Паротурбінна установка з ORC	300...5000	10...22

Продовження табл. 3.1.5

Обладнання	Електрична потужність, кВт	ККД, %
Газосилові установки зовнішнього згорання		
Двигуни Стірлінга	0,5...100	14...20
Газотурбінні установки на гарячому повітрі	400...5000	25...30
Газосилові установки внутрішнього згорання		
Двигуни внутрішнього згорання	100...2000	27...31
Газотурбінні установки	>1000	18...22
Мікрогазотурбінні установки	5...100	15...25
Газотурбінні установки з внутрішньою газифікацією	>10000	40...50
Використання водню в паливних елементах	20...2000	25...40

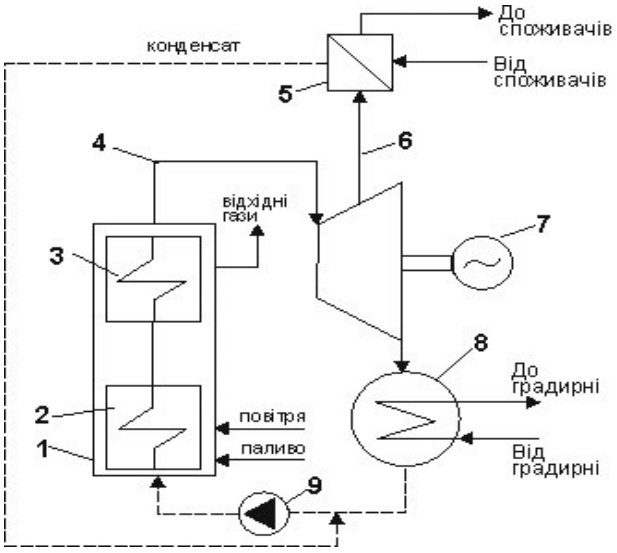
Промислові станції для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на базі прямого спалювання біомаси переважно використовують паротурбінні технології. Технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на базі традиційного циклу можуть бути реалізовані за допомогою парових турбін з протитиском або конденсаційних турбін з відбором пари для теплових потреб (**рис. 3.1.8-3.1.10**).

В останні роки все більшого поширення в ряді країн ЄС набувають установки на базі органічного циклу Ренкіна (ORC). Однак, на даний час ці установки випускаються електричною потужністю лише до 5 МВт та для їх ефективної роботи необхідно низькотемпературне джерело охолодження та стабільне теплове навантаження. Таким, чином найбільша ефективність при використанні ORC може бути досягнута на промислових об'єктах.



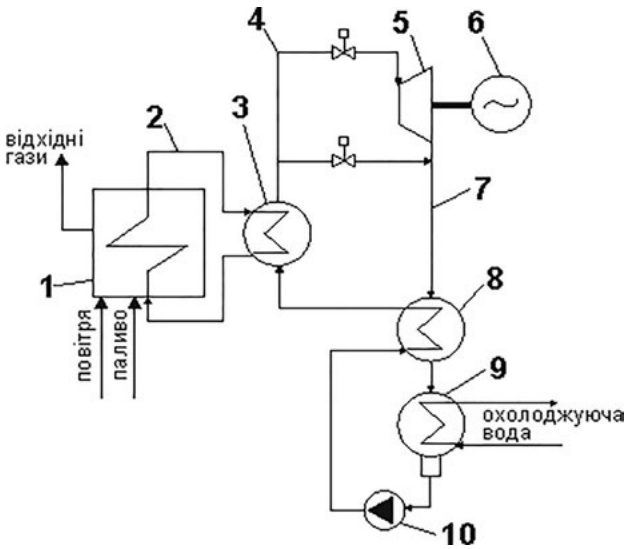
1 – паровий котел;
2 – поверхні нагріву котла;
3 – пароперегрівач;
4 – перегріта пара на турбіну;
5 – турбіна;
6 – електрогенератор
7 – підігрівач води для відпуску тепла споживачам;
8 – живильний насос.

Рис. 3.1.8. *Схема установки з протитисковою турбіною.*



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

Рис. 3.1.9. *Схема установки з конденсаційною турбіною.*



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

Рис. 3.1.10. *Схема установки ORC.*

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

3.1.4. Екологічні вимоги до установок на біомасі

Теплосилові установки, що використовують паливо, в т.ч. біомасу, для виробництва теплової енергії є джерелом викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Окрім того, на об'єкті, де встановлені такі установки, можуть знаходитися й інші джерела забруднення: участки подрібнення біомаси, склади золи та палива, участки перевантаження та ін. Оцінка екологічних наслідків від діяльності об'єкта та заходи по забезпеченню екологічних вимог розробляються в обсязі проектної документації на об'єкт будівництва у розділі «Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)».

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» визначає правові і організаційні основи та екологічні вимоги в галузі охорони атмосферного повітря і спрямований на збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життєдіяльності, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на здоров'я людей та навколишнє природне середовище.

Контроль забруднення атмосферного повітря, організація заходів щодо забезпечення дотримання встановлених нормативів викидів забруднюючих речовин здійснюються спеціальними атестованими лабораторіями.

Заходи щодо запобігання або зниження забруднення атмосферного повітря повинні передбачати впровадження сучасних рішень планувального характеру, а також враховувати можливість здійснення ефективних рішень технологічного, санітарно-технічного та організаційного характеру, позитивний вітчизняний та зарубіжний досвід їх використання, включаючи застосування маловідхідної та безвідхідної технології, комплексного використання природних ресурсів, споруд та пристроїв для ефективного вловлювання, знешкодження та утилізації шкідливих речовин і приладів для контролю вмісту їх у викидах та атмосферному повітрі.

Передбачені заходи повинні забезпечувати додержання гігієнічних нормативів допустимого вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць (гранично допустимих концентрацій — ГДК, орієнтовних безпечних рівнів діяння — ОБРД, гранично допустимого забруднення — ГДЗ.

Будівництво нових об'єктів забороняється на територіях з рівнями забруднення, що вже перевищують встановлені гігієнічні нормативи. Реконструкція, розширення, технічне переоснащення або перепрофілювання діючих об'єктів на таких територіях визначаються реальною можливістю скорочення на них надходжень в атмосферу в обсягах, що забезпечують додержання нормативів по гранично допустимим викидам з врахуванням перспективи розвитку.

При виборі земельних ділянок потрібен обов›язковий висновок органів та установ санітарно-епідеміологічної служби щодо правильності визначення розмірів виробничої території і СЗЗ (санітарно-захисної зони). Розмір СЗЗ встановлюється так, щоб на зовнішній її межі концентрації шкідливих речовин не перевищували їх гігієнічні норми. Основними факторами, що впливають на розмір СЗЗ є: вид палива та його елементний склад, потужність установки, технологія спалювання та наявність системи газоочищення, фонові концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від сторонніх джерел забруднення, кліматологічні умови, щільна забудова, висотність будівель, вимоги містобудівних умов та інші санітарні та пожежні вимоги.

Як правило, установки зі спалювання є основними джерелами викидів на об'єктах, для яких визначається розмір СЗЗ, який встановлюється від джерел шуму, димарів промислових та опалювальних котелень і місць зберігання та підготовки палива до межі житлової забудови, ділянок громадських установ, будинків і споруд, в тому числі дитячих, навчальних, лікувально-профілактичних установ, закладів соціального забезпечення, спортивних споруд та іншого.

В таблиці нижче приведений перелік основних забруднюючих компонентів в продуктах згорання біомаси та вплив, який вони мають на клімат, оточуюче середовище та здоров'я населення.

Граничнодопустимі нормативи викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел визначаються для відповідних груп речовин. При цьому необхідно враховувати клас небезпеки кожної речовини, не перевищуючи встановлених значень нормативів граничнодопустимих викидів для даного класу небезпеки.

Граничнодопустимі нормативи викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел:

- масові концентрації речовин у вигляді суспендованих твердих частинок;
- масові концентрації забруднюючих канцерогенних речовин (бенз(а)пірен, який відноситься до I класу небезпеки);
- масові концентрації пароподібних та газоподібних неорганічних сполук (основними є оксиди сірки, азоту та вуглецю);
- масові концентрації органічних забруднюючих речовин.

Таблиця 3.1.6. Основні складові продуктів згоряння біомаси та їх вплив

Компонент	Джерело утворення	Вплив на клімат, навколишнє середовище та здоров'я
Двооксид вуглецю (CO_2)	Основний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси.	**Клімат:** Газ прямої парникової дії (ГППД). Однак біомаса є CO_2-нейтральним паливом
Монооксид вуглецю (CO)	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси.	**Клімат:** Газ непрямої парникової дії (ГНПД), впливає через утворення озону. Здоров'я: Впливає на стан хворих астмою й зародки. У крайніх випадках приступи задухи.
Метан (CH_4)	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси.	**Клімат:** ГППД. ГНПД, впливає через утворення озону.
Леткі органічні компоненти, які не містять метану (NMVOC)	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси.	**Клімат:** ГНПД, впливає через утворення озону. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини.
Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ)	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси.	**Навколишнє середовище:** Утворення смогу. Здоров'я: Канцерогенний вплив
Тверді частки	Сажа та конденсат важких вуглеводнів (дьоготь), що утворюються при неповному згорянні усіх видів паливної біомаси. Золові частки.	**Клімат і навколишнє середовище:** Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Непрямий ефект – вміст важких металів в осаджених частках. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини. Канцерогенний вплив.
Оксиди азоту ($NO_x = NO + NO_2$)	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси. За певних умов додаткова кількість NO_x може утворюватися з азоту повітря.	**Клімат і навколишнє середовище:** Непрямий парниковий ефект через утворення озону. Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Кислотні опади. Пошкодження рослин. Утворення смогу. Корозійне пошкодження. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини. NO_2 токсичний.
Закис азоту (N_2O)	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси, що містять азот.	**Клімат:** ГППД. Здоров'я: Непрямий вплив через руйнування озону в атмосфері.
Аміак (NH_3)	Може відбуватися викид невеликих кількостей, що утворюються у результаті неповного перетворення NH_3 при піролізі/газоутворенні.	**Навколишнє середовище:** Кислотні опади. Пошкодження рослин. Корозійні пошкодження. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини.
Оксиди сірки ($SO_x = SO_2 + SO_3$)	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси, що містять сірку.	**Клімат і навколишнє середовище:** Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолю. Кислотні опади. Пошкодження рослин. Утворення смогу. Корозійні пошкодження. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини, викликають астму.
Важкі метали	Усі види паливної біомаси містять деяку кількість важких металів, які залишаються в золі або випаровуються.	**Здоров'я:** Накопичуються в харчовому ланцюзі. Можуть бути токсичними або виявляти канцерогенний вплив.
Озон у приземному шарі (O_3)	Вторинний продукт реакцій в атмосфері за участю CO, CH_4, NMVOC та NO_x.	**Клімат і навколишнє середовище:** ГППД. Пошкодження рослин. Утворення смогу. Здоров'я: Непрямий вплив через руйнування озону в стратосфері. Негативний вплив на систему органів дихання людини, викликає астму.
Хлористий водень (HCl)	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси, що містять хлор.	**Навколишнє середовище:** Кислотні опади. Пошкодження рослин. Утворення смогу. Корозійні пошкодження. Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини. Токсичний.
Поліхлоровані діоксини та фурани (ПХДД/ПХДФ)	Можливі викиди невеликих кількостей, що утворюються при протіканні реакцій за участю вуглецю, хлору й кисню в присутності каталізаторів.	**Здоров'я:** Високотоксичні. Пошкодження печінки. Пошкодження центральної нервової системи. Зниження імунного захисту. Накопичуються в харчовому ланцюзі.

Таблиця 3.1.7. Коди, клас небезпечності, граничнодопустимі концентрації, орієнтовні безпечні рівні діяння та граничнодопустимі викиди забруднюючих речовин

Код	Речовина	Клас	ГДК (ОБРД), мг/м^3	Масова витрата, г/год.	Гранично допустимі викиди, мг/м^3
2902	Тверді частки недиференційовані за складом	3	0,5	⩽ 500	150
				> 500	50
328	Сажа	3	0.15	-	-
330	Ангідрид сірчистий SO_2	3	0,5	⩾ 5000	500
301	Азоту діоксид NOx	3	0,2	⩾ 5000	500
337	Вуглецю оксид CO	4	5	⩾ 5000	250
410	Метан	-	50	-	-
10293	Пил деревини	-	0,1	-	-
703	Бенз(а)пирен	1	0,000001	⩾ 0,5	0,1
316	Хлористий водень HCl	2	0,2	⩾ 300	30
303	Аміак NH_3	4	0,2	-	-
-	Зола подова та циклонна (код відходів 9010.2.9.04)	4	-	-	-

Слід звернути увагу, що серед кодів забруднюючих речовин відсутній спеціальний код для твердих часток чи золи з біомаси, а тому на практиці використовують загальні коди та коди речовин найбільш схожих за походженням – тверді частки та сажа. Поміж тим розрізняють подову та циклонну золу, що відноситься до четвертого класу небезпечності й може використовуватись в сільському господарстві та будівництві. Для такої золи встановлюється код відходів – 9010.2.9.04 «Зола летка».

Зменшення рівня викидів шкідливих речовин, що містяться в димових газах, досягається за рахунок запобігання утворення таких речовин – первинні заходи, або зменшення концентрації цих речовин в димових газах – вторинні заходи. Найбільшого розповсюдження серед установок газоочищення набули циклони та мультициклони, а для потужних установок де діють більш жорсткі вимоги встановлюються рукавні та електричні фільтри.

Для об'єктів будівництва, що є джерелами забруднення надаються дозволи на викиди забруднюючих речовин та здійснюється плата за їх викиди. В залежності від ступеня впливу на забруднення атмосферного повітря об'єкти поділяються на 3 групи для яких встановлюється термін дії дозволів на викиди, що надаються департаментом екології місцевих адміністрацій на основі даних розрахунків ОВНС та заяви про екологічні наслідки.

Таблиця 3.1.8. Термін дії дозволу на викиди для різних об'єктів

Група об'єкта	Характеристика об'єкта	Термін дії дозволу на викиди
Перша	Об'єкти, які взяті на державний облік і мають виробництва або технологічне устаткування, на яких повинні впроваджуватися найкращі доступні технології та методи керування	7 років
Друга	Об'єкти, які взяті на державний облік і не мають виробництв або технологічного устаткування, на яких повинні впроваджуватися найкращі доступні технології та методи керування	10 років
Третя	Об'єкти, які не входять до першої і другої груп	Необмежений термін дії

За бажанням власника об'єкту після введення його в експлуатацію може бути проведена інвентаризація фактичних викидів, що є підставою для перегляду розміру плати за викиди. У разі перевищення річних викидів забруднюючих речовин, за якими здійснюється державний облік, сплачується податок на весь об'єм викидів речовини, що перевищила порогові значення.

Нормативи збору за викиди стаціонарними джерелами забруднення, а також нормативи збору за розміщення відходів встановлюються відповідно до виду забруднюючих речовин та класу небезпеки відходів, наведених у Податковому кодексі України. Для забруднюючих речовин (сполук), які не увійшли до списку забруднюючих речовин та на які не встановлено клас небезпечності (крім двоокису

вуглецю), ставки податку застосовуються залежно від установлених орієнтовно безпечних рівнів впливу таких речовин (сполук) в атмосферному повітрі населених пунктів.

Україна офіційно стала членом Договору про Енергетичне Співтовариство у вересні 2010 р. Це означає, що наша держава повинна серед багатьох інших напрямків рухатися разом з Європейським Союзом в сторону покращення екологічного стану довкілля, включаючи комбіноване виробництво тепла та електроенергії на теплогенеруючих підприємствах, які у якості палива використовують біомасу. Головна мета – перероблювати або знешкоджувати відходи промислових та сільськогосподарських установок, уникнути або мінімізувати утворення забруднюючих викидів від енергетичного обладнання в атмосферу, повітря та ґрунт для того, щоб досягти високого рівня захисту навколишнього середовища та здоров'я людей. За останні роки, особливо для потужного обладнання, вимоги до викидів стають жорсткішими, у тому числі і для біомаси. Це є результатом того, що Європейський парламент та Рада Європейського Союзу з огляду на погіршення екологічного стану у світі, прийняла рішення про необхідність зменшення впливу викидів крупних енергогенеруючих об'єктів на здоров'я людей і навколишнє середовище шляхом обмеження викидів у повітря деяких забруднювачів, а також прийняли рішення для встановлення більш жорстких вимог до викидів в атмосферу для потужного обладнання. Отже, технічні рішення об'єктів та установок, що працюють на біомасі, варто обирати з врахуванням можливості забезпечення майбутніх екологічних вимог, зокрема, в частині газоочисного обладнання.

3.1.5. Системи газоочисного обладнання

Газоочисне обладнання, встановлене після котла, має забезпечити очистку димових газів від забруднюючих речовин згідно встановлених екологічних норм. При спалюванні твердого палива особливі вимоги стосуються забезпечення допустимих викидів твердих часток – летючої золи. Найбільшу санітарну небезпеку складають дрібні частки, що не здатні самостійно осаджуватися й залишаться в повітрі. В Україні діють єдині вимоги до граничної концентрації твердих суспендованих частинок недиференційованих за складом (розміром). В залежності від обсягів викидів (г/год) гранично допустимі викиди твердих часток не повинні перевищувати 150 мг/нм^3 для малих установок та не більше 50 мг/нм^3 для більш потужних установок. Таким чином, проекти котельних з котлами на твердому паливі повинні передбачати необхідні заходи та обладнання для газоочистки.

Найбільш розповсюдженими та доступними рішеннями є встановлення простих та дешевих циклонних фільтрів, що широко виробляються на механічних, хімічних та котельних заводах України. Циклони рекомендуються встановлювати на першій ступені очистки, що забезпечить захист обладнання, яке встановлене далі, від підвищеного зносу (димососів), від іскор або вологи (рукавні фільтри) та забезпечить первинну сепарацію твердих часток. Досить поширене застосування батарейних циклонів (мультициклонів), де завдяки аеродинамічним особливостям руху газів досягається більша ефективність очистки.

Для другої ступені очистки можуть встановлюватися як рукавні фільтри так і електрофільтри. Рукавні фільтри відносяться до обладнання «сухого» типу і мають більш високу ефективність очищення газів від часток у порівнянні з будь-якими видами електрофільтрів і апаратами мокрого очищення газів. Залишкова концентрація твердих часток у викидах на виході після рукавних фільтрів зазвичай становить не більше 20 мг/ м^3 (при необхідності досягається і не більше 1 мг/м^3). Особливістю застосування рукавних фільтрів є обмеження по температурі димових газів, як правило не вище 250 ^{0}С, стійкості до кислого та лужного середовища. Аеродинамічний опір рукавних фільтрів знаходиться в межах 0,6-1,2 кПа та має тенденцію зростати при забрудненні фільтраційної тканини. Таким чином для роботи котельних установок при використанні рукавних фільтрів необхідно встановлювати димососи більшої потужності з зільш потужним електродвигуном. Підчас роботи котла для очищення фільтрувальних матеріалів застосовується схема регенерації – періодична продувка стисненим повітрям. Для вловлювання вибухопожежонебезпечного пилу і аерозолів застосовуються матеріали, що мають антистатичні властивості, що не підтримують горіння і вологостійкі. В якості основних видів фільтрувального волокна рекомендується застосовувати PTFE, PES, NOMEX. Як правило термін експлуатації фільтрувальних рукавів складає 2-4 роки й в подальшому існує необхідність їх заміни. Особливої уваги заслуговує використання рукавних фільтрів в котлах з камерним спалюванням де існує ймовірність винесення горючих часток з котла й пропалення фільтрувальних матеріалів. Можливість конденсації водяних парів в котлах, що часто зупиняються, призводить до забивання фільтрувальних матеріалів та потребує частої їх заміни.

Електрофільтри призначені для високоефективної очистки газів від твердих і рідких частинок розміром 0,01-100 мкм при температурі до 450°С.

В середньому витрати електроенергії становлять 0,1-0,15 кВт·год на 1000 м^3 газу. Аеродинамчний опір складає близько 150 Па, що значно менше ніж в рукавних фільтрах. Ефективність роботи електрофільтру залежить від властивостей частинок і газу, швидкості і рівномірності розподілу газового потоку в перерізі фільтрів і т.д. Перевагою електрофільтрів є можливість очищення газів з підвищеною вологістю, відсутність необхідності використання стиснутого повітря.

Метод мокрого очищення димових газів реалізований в скруберах та конденсаційних економайзерах й полягає в наступному: газ, що підлягає очищенню, змішують з рідиною (як правило, водою, але можливе використання і іншого робочого розчину), крапельки якої поглинають газові домішки та відокремлюють тверді частинки від основного газового потоку.

Найчастіше, рішення щодо методів та обладнання для очищення димових газів орієнтовані на вимоги замовника і проектуються з прив'язкою до конкретних викидів, палива, основного обладнання та умов на об'єкті. Порівняння переваг та недоліків газоочисного обладнання наведено в таблиці нижче.

Таблиця 3.1.9. Аналіз недоліків та переваг основних типів газоочисного обладнання, виконаний авторами

Тип газоочисного обладнання	Переваги	Недоліки
Циклони (очищення газів від часток під впливом відцентрової сили)	Збирають більшість часток розміром до 20 мкм	Не уловлюють значну частину часток з розмірами 10 мкм та менших. Не очищують від домішок газів, включаючи NO_x.
Рукавні фільтри (фільтрація твердих часток за допомогою фільтрувальної тканини)	Уловлюють більшість часток розміром до 1 мкм та практично всі частки розмірами 10 мкм та 2,5 мкм.	Потребують періодичного очищення. Бажано використовувати разом з циклоном для зменшення навантаження по більш крупним часткам. Не очищують від домішок газів, включаючи NO_x. Можуть викликати суттєві втрати тиску, якщо повинні бути відокремлені дуже мілкі частинки – це потребує роботи потужного димососу. Якщо температура димових газів перевищує 200°С виникають складнощі комерційного характеру при експлуатації.
Електрофільтри (сепарація твердих часток за допомогою електричного поля)	Уловлюють практично всі тверді частки, в тому числі менші за 2,5 мкм.	Повинні використовуватись разом з циклоном. Не очищують від домішок газів, включаючи NO_x
Скрубери (мокрий спосіб очищення газів від домішок)	Уловлюють практично всі тверді частки, в тому числі менші за 2,5 мкм. Очищують димові гази від газових домішок, в тому числі CO_2 та NO_2 (але менш ефективно). Забезпечують високий ступінь утилізації тепла димових газів.	Повинні використовуватись разом з циклоном. Потребується очищення води після скрубера від солей та кислоти, що утворюється внаслідок розчинення газів. Значно знижується «легкість» димових газів.
Керамічні фільтри (очищення газів завдяки застосуванню пористих або волокнистих керамічних матеріалів)	Здатні видалити більшість часток із димових газів з високою температурою. Тривалий період експлуатації.	Повинні використовуватись разом з циклоном. Не очищують від домішок газів, включаючи NO_x. Висока вартість.

Аналізуючи перелік виробників газоочисного обладнання можна зробити висновок, що на українському та світовому ринках газоочисного обладнання основну долю складають виробники циклонів, рукавних фільтрів та електрофільтрів. Скрубери, що найбільш ефективні з точки зору широти спектру поглинання твердих та газових домішок, але й більш вимогливі до обслуговування, представленні менше. Керамічні фільтри, які мають суттєву перевагу в тому, що здатні видалити більшість часток із димових газів з високою температурою і характеризуються тривалим періодом експлуатації, займають досить незначну долю ринку навіть у світі, що обумовлено високою вартістю такого обладнання у порівнянні навіть з рукавними фільтрами та електрофільтрами.

На ринку України представлено близько 20 вітчизняних виробників як рукавних так і електро-

фільтрів, що мають досвід виробництва, встановлення та обслуговування обладнання газоочисного обладнання, в т.ч. на обладнання, що встановлено на біопаливних котлах. Основною перевагою використання обладнання місцевого обладнання є його вартість, що значно нижча в порівнянні з зарубіжними аналогами та більш низькі витрати на сервісне обслуговування та ремонти. Враховуючи, що в якості фільтрувальних матеріалів використовують якісні імпортні матеріали, то вітчизняне обладнання не буде поступатись по своїх характеристиках іноземним аналогам.

3.1.6. Поводження з золою та можливості використання

В процесі спалювання твердого біопалива утворюються відходи у вигляді золи, а тому питання організації поводження з золою та можливості її використання є досить актуальними. Особливої гостроти набуває питання поводження з золою на котельнях великої потужності та котельнях, що розташовані в щільній міській забудові. З одного боку зола біомаси є забруднюючою речовиною, а з іншого боку - з'являються додаткові можливості її подальшого корисного використання.

Таблиця 3.1.10. Хімічний склад золи різних видів біомаси, мас.%

Вид біомаси	SO_3	P_2O_5	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Mn_3O_5	TiO_2
Стрижень кукурудзи	3,65	1,66	67,36	4,99	5,08	2,8	3,53	0,85	5,75	0,09	0,45
Солома кукурудзи	4,36	3,37	55,9	3,99	4,46	9,45	4,28	1,3	7	0,12	0,24
Тріска сосни	1,53	3,26	29,95	2,62	5,16	20,29	3,65	0,65	8,15	NA	0,3
Солома пшениці	3,09	3,26	51,43	0,75	1,18	8,46	2,2	1,17	18,14	NA	0,09

Зола містить значну кількість поживних речовин рослинного походження, що доречно для використання її при удобренні ґрунту. З екологічної точки зору використання золи як добрива можливе тільки щодо золи, одержаної при спалюванні біопалива, яке не оброблялось хімічними речовинами (в ґрунти не слід вносити золу, що отримується при спалюванні вторинної деревини). Поміж тим, для сталого використання біопалива дуже важливо замкнути цикл обігу мінералів і включити золу в природні цикли.

Таблиця 3.1.11. Середня концентрація поживних речовин в різних зольних фракціях

Поживні речовини	Зольний залишок	Пил золи в циклоні	Пил золи в фільтрі тонкого очищення
	Сер. значення	Сер. значення	Сер. значення
MgO	6,0 ± 1,2	4,4 ± 0,9	3,6 ± 0,7
K_2O	6,4 ± 2,1	6,8 ± 2,3	14,3 ± 7,2
P_2O_5	2,6 ± 1,0	2,5 ± 0,9	2,8 ± 0,9
Na_2O	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,3	0,8 ± 0,6

В залежності від виду біомаси, початкової зольності біопалива, розміру палива, технології спалювання та конструкції котла накопичення золи та її фракційний склад відмінний та відрізняється в різних частинах котла та газового тракту. В установках для спалювання біомаси, зазвичай, присутні три фракції золи: зольний залишок (подова зола); зола виносу з циклонів; зола виносу з фільтрів тонкої очистки (електро- або рукавних фільтрів).

Таблиця 3.1.12. Структура зольних фракцій, %

Біопаливо / зольна фракція	Кора (вміст золи (в/з)*: 5,0-8,0)	Деревна тріска (в/з: 0,8-1,4)	Тирса (в/з: 0,5-1,1)
Подова зола	65 – 85	60 – 90	20 – 30
Циклонна зола виносу	10 – 25	10 – 30	50 – 70
Зола виносу фільтрів тонкої очистки	2 – 10	2 – 10	10 – 20

* Вміст золи вимірюється у вагових відсотках (по сухій масі); вимірювання вмісту золи проводиться згідно ISO 1171-1981 при температурі 550°C.

Подова зола утворюється в топці котла. Ця зольна фракція часто змішується з мінеральними домішками, що містяться в біопаливі, такими як пісок, каміння і земля. При великому вмісті кори, особливо в котельних установках з нерухомим шаром, мінеральні домішки можуть викликати утворення шлаку і спікання частинок золи в зольному залишку.

Дрібні, переважно неорганічні частинки золи, що виносяться з топки разом з топковим газом, осаджуються в циклонах або мультициклонах, розташованих за топкою. Ця зольна фракція, в основному, містить доволі великі частки золи виносу.

Фільтраційна зола виносу являє собою більш дрібну фракцію, що осаджується в електростатичних фільтрах, тканинних фільтрах або у вигляді конденсаційного шламу в блоках конденсації топкового газу, які зазвичай розташовані за мультициклонами. Ця зольна фракція, в основному, включає аерозолі.

Важкі метали, які містяться в біопаливі (Zn і Cd) і є небезпечними для навколишнього середовища, концентруються, в основному, в золі виносу, в той час як поживні (M, Mg і P) і вапняні речовини (Ca) містяться, переважно, в подовій золі. Зола, що отримується при спалюванні деревини і кори, багата на Ca, в той час як зола, що отримується при спалюванні соломи і злакових, має великий вміст K.

Причиною підвищеного вмісту важких металів у золі виносу в порівнянні з подовою золою є те, що леткі сполуки важких металів Cd і Zn, в основному, випаровуються в процесі горіння і потім осаджуються на поверхні частинок золи виносу або утворюють аерозолі. Частина дрібних частинок золи виноситься з топковим газом із шару палива і утворює збільшену фракцію золи виносу, причому мінеральний склад цих великих часток відповідає мінеральному складу подової золи.

Таблиця 3.1.13. Середня концентрація важких металів в різних зольних фракціях, мг/кг

Елементи	Зола деревини			Зола соломи
	подова	циклонна	фільтраційна	
Cu	165	143	389	30
Zn	432	1870	12980	140
Co	6,5	19	17,5	н.д.
Mo	2,8	4,2	13,2	н.д.
As	4,1	6,7	37,4	н.д.
Ni	66	59,6	63,4	5
Cr	325	158,4	231	2
Pb	13,6	57,6	1053,3	9
Cd	1,2	21,6	80,7	2
V	43	40,5	23,6	н.д
Hg	0,01	0,04	1,47	0,1

Отже, суміш подової золи і циклонної золи (в основному, у вигляді великих часток золи виносу), так звана «придатна зола» з низьким вмістом важких металів, може бути використана в якості добрива після проведення відповідних аналізів та отримання технічних умов (ТУ), а фракцію фільтраційної золи (яка зазвичай складає лише 10-15% від загальної кількості золи) з високим вмістом важких металів необхідно утилізувати або піддавати промисловій переробці.

Нажаль, в Україні на даний час, відсутня культура поводження та використання золи від спалювання біомаси й основним шляхом поводження є утилізація на полігонах або незаконне вивезення та захоронення. Тим не менше в Україні існують правила та вимоги до поводження з такими відходами як зола.

Відповідно до державного класифікатору відходів ДК 005-96 до відходів належать новоутворені речовини та їх суміші, утворені в термічних, хімічних та інших процесах і які не є метою даного виробництва (шлак, зола, кубові залишки, інші тверді та пастоподібні утворення, а також рідини та аерозолі). Таким чином, зола, в тому числі від спалювання біомаси, належить до відходів. Слід зазначити, що в класифікаторі відходів відсутній відповідний код відходів стосовно золи від спалювання біомаси, а тому на практиці золу з біомаси відносять до близьких відходів торфу чи бурого вугілля.

Згідно українського законодавства відходи, які відносяться до IV класу небезпеки (в тому числі подова та циклонна зола) можуть зберігатися відкрито на промисловому майданчику у вигляді конусоподібної купи, звідки їх автонавантажувачем перевантажують у самоскидний автотранспорт і доставляють на місце утилізації або захоронення. Ці відходи без негативних екологічних наслідків можуть бути об›єднані з побутовими відходами з місцях захоронення останніх або використані як ізолюючий матеріал, а також для різних планувальних робіт при освоєнні територій (ДСанПіН 2.2.7. 029-99, що встановлює перелік промислових відходів IV класу небезпеки, які приймаються на полігони твердих побутових відходів без обмеження і використовуються в якості ізолюючого матеріалу, зокрема – шлаки ТЕЦ, котелень, що працюють на вугіллі, торфі, сланцях чи побутових відходах, код групи та виду відходів: 1.39.11). Варто зазначити, що тверді відходи, в тому числі сипкі, які зберігаються в контейнерах, у пластикових, паперових пакетах або мішках, необхідно видаляти з території підприємства протягом двох діб.

Відходи III класу небезпеки (зола фільтрів тонкої очистки) зберігають у тарі, що забезпечує локалізоване зберігання, дозволяє виконувати вантажно-розвантажувальні та транспортні роботи і виключає розповсюдження у навколишньому середовищі шкідливих речовин.

Склад із золою повинен відповідати вимогам ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень». В свою чергу, ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» вказує, що зола і шлак повинні використовуватися для потреб будівництва та будівельної індустрії. Тим не менше, ці рекомендації стосуються в більшій мірі котельних на вугіллі де утворюється шлак. Таким чином, проектування спеціальних місць для постійного зберігання золи і шлаку необхідне тільки для випадку, коли не проводиться їх регулярне вивезення для корисної утилізації.

Для забезпечення кращих умов зберігання золи, уникнення її попадання в навколишнє середовище, можливо передбачити зберігання в закритому приміщенні, в герметичних контейнерах. Місткість складу повинна бути достатньою для складування золи та шлаку в кількості, що накопичується в період між її вивезеннями. Контейнери із золою можуть вивозитись вантажівкою та розвантажуватись на полігоні ТПВ.

Транспортування промислових відходів не повинне призводити до забруднення навколишнього середовища в місцях їх завантажування, перевезення та розвантажування. Всі процеси, пов'язані із завантажуванням, перевезенням і розвантажуванням відходів I-III класів небезпеки, повинні бути механізовані. Транспортування слід проводити в спеціально обладнаному транспорті, призначеному для перевезення відходів відповідного класу небезпеки.

Використовувати та утилізувати золу можна в таких галузях промисловості: в сільському господарстві, будівельній, енергетичній, металургійній тощо.

Сільське і лісове господарство:

- сировина (джерело поживних речовин) для виробництва добрив, які будуть використовуватися на полях та в лісі;
- дослідницькі ділянки з вирощування та культивування нових видів рослин.

Будівельна промисловість:

- виробництво клінкеру цементу, зола використовується як домішок для підвищення вмісту магнію та піску;
- виробництво цегли, зола використовується в якості заміни піску;
- виробництво альтернативних сполучних матеріалів(полімери, тощо);
- виробництво синтетичних агрегатів холодного склеювання або спікання, зола використовується в якості замінника піску;
- виробництво неармованого збірного бетону.

Зола може використовуватись як будівельний матеріал, який збільшує несучу здатність в дорожньому будівництві та сполучний матеріал для стабілізації ґрунту в дорожньому будівництві, де він замінює вапно в якості в›яжучого елементу.

В енергетиці зола використовується досить рідко на експериментальному рівні в якості засипного та допоміжного матеріалу в хімічній та електрохімічній обробці та як фільтраційний матеріал.

В металургійній промисловості зола використовується як корисна присадка, завдяки наявності в своєму складі досить великої кількості фосфору, калію, магнію та інших хімічних елементів, що використовуються в процесі виготовлення чавунів та сталей.

Існує багато можливостей внесення золи в ґрунт, при цьому із застосуванням сипучої золи пов'язаний ряд проблем: а) підвищений ризик для здоров'я; б) проблеми розподілу золи механічним способом; в) зола може негативно діяти на поверхневу рослинність, тому її краще вносити передпосівним (основне удобрення) та припосівним способом. Для підживлення озимих і просапних культур та багаторічних бобових трав золу можна вносити поверхнево рано навесні.

Через те, що зола не тільки збагачує ґрунт елементами живлення, але і покращує його фізичні властивості, зокрема, ґрунтову структуру завдяки створенню сприятливіших умов для розвитку корисної мікрофлори, аграрії можуть отримати прибавку урожаю. Наслідки внесення золи позначаються протягом чотирьох років. Фосфор і калій в золі містяться в досяжній для рослин формі. З неї фосфор використовується рослинами навіть краще, ніж з суперфосфату. Золу не рекомендується вносити в ґрунт, що має лужну реакцію. Найбільш ефективна вона для підзолистих і важких ґрунтів. Хорошим способом використання золи є її компостування з гноєм, торфом, рослинними залишками.

Деревну і солом'яну золу в цілях посилення їх дії добре вносити не в чистому вигляді, а спільно з луговим торфом у вигляді органо-мінеральної суміші або крихких органо-мінеральних гранул. При цьому на кожну частину золи береться 1 або більше (2-4) частин злегка вологого лугового торфу, просіяного через сито з діаметром отворів 5-7 мм. Для цих же цілей можна використовувати перегній. У разі відсутності торфу або перегною, в цілях запобігання розпилення золи вітром, а також для рівномірного розподілу її по удобреній площі, солом'яну і деревну золу можна вносити в суміші зі злегка вологим ґрунтом.

Так як у багатьох випадках під ту чи іншу культуру вноситься не одна зола, а й інші місцеві і мінеральні добрива, то в цілях економії часу і коштів проводять попереднє їх змішування. Потрібно враховувати, що золу можна змішувати далеко не з усіма місцевими і мінеральними добривами. Наприклад, золу після спалювання біомаси доцільно змішувати з калійними добривами, причому не тільки перед самим внесенням, а й заздалегідь. Згідно рекомендаціям можна користуватися золою на лужних ґрунтах, а також вносити її під культури, які віддають перевагу ґрунтам з підвищеною кислотністю. Також слід уникати внесення деревної і солом›яної золи, разом з вапном, а також застосовувати її на недавно вапнованих ґрунтах, так як це призводить зниження ефективності золи.

Золу не можна змішувати з тими азотними і органічними добривами, які містять у своєму складі азот в аміачній формі, так як при цьому відбувається втрата значної кількості азоту. З цієї причини аміачну селітру, сульфат амонію і хлористий амоній, а з органічних добрив гнойову рідину і пташиний послід слід вносити окремо від золи. Також не можна змішувати золу з фосфоритним борошном і томасшлаком, так як при цьому значно знижується доступність для рослин фосфору, що міститься як у самій золі, так і в цих важкорозчинних добривах З цієї ж причини слід уникати вносити золу на тих ділянках, які були удобрені раніше (за 1-2 роки) значними кількостями цих добрив.

Згідно ДСанПіН 2.2.7.029-99 та відповідно до ДСТУ 4462.3.01:2006 «використання відходів у сільському господарстві як добрива, меліорантів тощо дозволено тільки після проведення санітарно-епідеміологічного аналізу та вивчення їх впливу на санітарний стан ґрунту і суміжних середовищ, а також біологічної та санітарно-гігієнічного оцінювання сільськогосподарської продукції, виконаних згідно з чинним законодавством». До проведення гігієнічної оцінки повинен бути отриманий висновок агрономічної служби про ефективність використання відходів у сільському господарстві.

Тому необхідно проходження всіх дозвільних процедур відповідно до Закону України «Про пестициди і агрохімікати» та Постанові КМУ від 4 березня 1996 р. N 295 «Про затвердження Порядку проведення державних випробувань, державної реєстрації та перереєстрації, видання переліків пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні», з метою визначення можливості та умов використання золи в сільському господарстві.

Відповідно до постанови КМУ від 13 липня 2000 р. N 1120 «Про затвердження Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/ видаленням і Жовтого та Зеленого переліків відходів», для визнання золи від спалювання біомаси як вторинної сировини існує операція з утилізації «R10 Обробка ґрунту, що справляє позитивний вплив на землеробство чи поліпшує екологічну обстановку». Технологія утилізації – розкидання на поверхні ґрунту, відповідно до характеристики ґрунту та хімічного складу золи.

У країнах ЄС використання золи як добрива найчастіше обмежується максимальним вмістом важких металів, що становлять екологічну небезпеку. Середні значення вмісту важких металів у подовій та циклонній золі соломи допускають її використання для удобрення сільськогосподарських культур. Разом із цим у Німеччині, Швеції і Фінляндії також обумовлено мінімальний вміст поживних речовин у золі, що обмежує використання золи пшеничної соломи як Са-добриво. В будь-якому випадку дози внесення золи уточнюються відповідно до її хімічного складу і головним обмежуючим фактором є концентрація важких металів.

Більш детально інформацію про граничні значення вмісту важких металів та умови використання золи як добрива представлено в таблиці та поясненнях до неї.

Таблиця 3.1.14. Граничні значення для важких металів і поживних речовин золи біомаси для застосування як добрива на сільськогосподарських та лісових землях

Поживні речовини (% мін.)	Німеччина	Австрія	Данія	Швеція	Фінляндія
Ca	151 (CaO)			12,5	105/6
K	31 (K_2O)		5-11*	3,0	-/2 (K+P)
Mg				1,5	
P	21 (P_2O_5)		1*	0,7	-/2 (K+P)
N	31		0,1*		
Zn				0,05	
Важкі метали (мг/кг макс.)					
As	40	20/20		30	25/40
B				800	

Продовження табл. 3.1.14

Поживні речовини (% мін.)	Німеччина	Австрія	Данія	Швеція	Фінляндія
Cd	1,5	5/8	5/20 (0,4*)	30	2,5/25
Cr tot		150/250	100	100	300/300
Cr (VI)	2				
Cu		200/250	1000*	400	600/700
Hg	1		0,8	3	1,0/1,0
Ni	80	150/200	60 (30*)	70	100/150
Pb	150	100/200	120/250	300	100/150
Ti	1				
V				70	
Zn		1200/1500	4000*	7000	1500/4500

** мг/кг або % по сухій масі*

Німеччина: тільки подова зола може використовуватися як добриво; граничні значення не стосуються золи з деревини, що виключно утилізується на лісових землях. "K-fertilizer" (К-добриво) повинно вміщувати мінімальну частку 10% K_2O. "Ca-fertilizer" (Са-добриво) повинно вміщувати 15% CaO, "P-K fertilizer" (P-K добриво) повинно вміщувати мінімальну частку 2% P_2O_5 та 3% K_2O та "N-P-K fertilizer" (N-P-K добриво)) повинно вміщувати мінімальну частку 3% N, 2% P_2O_5 та 3% K_2O. "Nutrient-fertilizer" (Поживне-добриво) повинно включати мінімальний вміст (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn).

Австрія: (Клас А/Клас В): зола, що відповідає граничним значенням Класу А може використовуватися без хімічного аналізу ґрунту, зола з вмістом важких металів між граничними значеннями Класу А та Класу В може використовуватися після хімічного аналізу ґрунту, який свідчить що використання золи безпечне відповідно до вмісту важких металів. До того ж зола, що отримується при спалюванні біомаси, не вважається добривом, оскільки хімічний склад такої золи дуже змінюється. Внесення фільтраційної золи в ґрунти заборонено. Така зольна фракція повинна розглядатися як промислові відходи. Міністерство сільського і лісового господарства Австрії розробило два керівних документа, які регулюють наступні питання:

- який тип золи, отриманої при спалюванні біомаси, можна використовувати в якості добрива і для вапнування сільськогосподарських та лісових ґрунтів (ці керівні принципи визначають тип зольних фракцій, а також концентрацію важких металів у золі);
- як і коли можна вносити золу (технологія внесення, кліматичні і погодні умови);
- максимально допустиму кількість золи, що вноситься;
- вимоги до складу ґрунту (тип ґрунту, хімічний склад).

При внесенні в ґрунт «придатної золи», утвореної при спалюванні кори, деревної тріски і тирси, необхідно враховувати наступні рекомендовані граничні кількісні показники: на сільськогосподарських землях 1000 кг на га в рік, на пасовищах 750 кг на га в рік і в лісах 3000 кг на га за 50 років.

Золу, що одержують при спалюванні кори і деревини, слід використовувати в лісах або в посадках з коротким оборотом рубки, в той час як золу, що отримується при спалюванні соломи або злакових, слід використовувати на сільськогосподарських землях.

Данія: Зола, що утворюється на невеликих котельнях, зазвичай, вноситься на сільськогосподарських полях або використовується в приватних садах і городах. Для сільськогосподарського використання золи, яка одержується на великих котельнях мереж районного теплопостачання, що працюють на соломі і деревині, потрібен дозвіл місцевої ради. У той же час Датське агентство захисту навколишнього середовища має право робити винятки. Вміст важких металів в золі може розраховуватись по сухій масі золи або ж за вмістом в ній фосфору. Якщо зола, що отримується при спалюванні біомаси, не відповідає вимогам цієї Постанови, то її не можна використовувати як добриво, і слід вивозити на звалище.

Швеція: граничні значення дійсні для використання на лісових землях. Не рекомендується використовувати суху золу без попередньої обробки. Тому до внесення деревної золи необхідно забезпечити її стабілізацію. Стабілізація повинна полегшити завантаження-вивантаження, транспортування і внесення в ґрунт. Вона також повинна бути спрямована на забезпечення необхідних лужних властивостей переробленого матеріалу. Повільний процес виділення речовин зі стабілізованої золи унеможливлює різку зміну рівня pH і вмісту солі в ґрунті. У деяких випадках золу слід повторно спалювати, щоб зменшити вміст незгорілого вуглецю. Крім того, ймовірно, можна зменшити вміст важких

металів в золі. З метою стабілізації золи в неї додають воду, яка сприяє повільній реакції з двоокисом вуглецю в повітрі. При цьому змінюється її хімічний склад, утворюючи набагато менш розчинну форму. Після змішування з водою відбувається агломерація золи, переважно трьома методами - самоствердіння, гранулювання і таблетування.

Фінляндія: Мінімальний вміст поживних елементів для використання у лісівництві 2% (K+P) та 6% Ca. Для іншого використання, включаючи сільське господарство, садівництво та озелененні, необхідно забезпечувати число нейтралізації, що повинно бути мінімум 10% (Ca).

Можна зробити висновок, що в Україні основним шляхом поводження із золою після спалювання біомаси є утилізація на полігонах ТПВ. Між тим, якщо хімічний склад золи та характеристики ґрунту дозволяють її використання в якості добрива, то існує можливість утилізації такої золи як вторинної сировини, що передбачено законодавством як операція з видалення та утилізації відходів. З метою підвищення якості ґрунтів зола після спалювання деревини та агровідходів може вноситись без додаткової її попередньої обробки але з забезпеченням рівномірного розподілу по поверхні.

3.2. Особливості розробки ТЕО та бізнес-плану проектів виробництва теплової енергії з біомаси

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) є важливою частиною процесу прийняття рішення про впровадження проекту виробництва теплової енергії з біомаси. При розробці ТЕО необхідно прийняти до уваги всі різноманітні фактори, що потім суттєво впливають на технічні та фінансові аспекти впровадження (**табл. 3.2.1**).

Таблиця 3.2.1. Основна інформація, необхідна для розробки ТЕО котельні на біомасі

Вхідна інформація та суттєві фактори впливу	На що впливають
Приєднане теплове навантаження споживачів	Вибір потужності та кількості котлів на БМ, капітальні витрати проекту
Аналіз помісячного відпуску тепла (або споживання ПЕР) за кілька останніх років.	
Добова нерівномірність споживання теплоти та способи її компенсації	
Наявність газових котлів (при встановленні котлів на БМ в існуючій котельні)	
Наявність вільного місця (в існуючій котельні та на прилеглій території)	
Наявність під'їзних шляхів для доставки паливної БМ	
Перспективи розвитку теплопостачання даного населеного пункту та конкретних теплових споживачів	
Заходи з енергозбереження у споживачів	
Наявність та обсяги паливної БМ, надійність її постачальників	Вибір виду паливної БМ та логістичних рішень
Ціни паливної БМ	
Вид паливної БМ	Необхідне допоміжне обладнання, капітальні витрати проекту. Додаткові експлуатаційні витрати.
Логістичні рішення (постачання та складування БМ)	
Окрема котельня чи реконструкція існуючої	
Питомі витрати електроенергії	
Додатковий персонал	
Додаткове технічне обслуговування	
Способи утилізації золи	
Очікувані викиди забруднюючих речовин	
Технічні вимоги підключення до тепло- водо- та електромереж	
Вимоги пожежної безпеки	
Умови фінансування проекту (кредитування)	Доходи та витрати проекту
Ціни паливної БМ	
Тарифи відпуску теплової енергії	
Необхідність додаткової оплати за транспортування ТЕ до споживача	
Оренда приміщень та обладнання	

Оцінка фінансово-економічної ефективності різних варіантів здійснюється на основі таких відомих економічних показників як чистий приведений дохід (NPV), внутрішня норма рентабельності (IRR), простий та дисконтований періоди окупності капітальних витрат для проектів, що передбачають залучення зовнішніх інвестицій. В процесі розробки ТЕО також необхідно обв'язково враховувати макроекономічні показники, такі як рівень відсоткової ставки по кредитам, облікова ставка національного фінансового регулятора, ставка дисконтування. Очевидно, чим вище ставка по кредитам (і відповідно нижче кредитний макроекономічний рейтинг), тим гірші фінансові показники проекту. Те ж саме справедливо і для ставки дисконтування. Для кожного конкретного проекту існує деяке порогове значення макроекономічних показників, що взагалі унеможливлює його потенційне впровадження (наприклад, дисконтований строк окупності досягає 30 років, що є абсолютно неприйнятним для інвестора, в той же час простий строк окупності, що не враховує макроекономічну ситуацію та знецінення грошей у часі, може бути для того ж проекту 2 роки). Це обов'язково має бути враховано на початковому етапі розробки ТЕО.

Одним з найважливіших питань є **вибір потужності котла** чи котельні на біомасі. Для початку, принаймні, слід скласти уявлення про приєднане теплове навантаження споживачів котельні, де планується впровадження котла на біомасі, або до тепломережі якої планується приєднати модульну котельню. В основному ці навантаження відомі заздалегідь, але в деяких випадках (відсутність теплових лічильників у більшості споживачів, значна кількість від'єднань споживачів від системи централізованого теплопостачання, утеплення будинків, встановлення ІТП, тощо), дійсні теплові навантаження можуть суттєво відрізнятись від тих, що були враховані при проектуванні існуючої котельні. Для визначення дійсного стану справ, можна скористатись аналізом помісячного відпуску тепла (або споживання ПЕР) за кілька останніх років. При можливості, слід визначити добову нерівномірність споживання теплоти та методи її компенсації. Таке питання виникає в основному при визначенні навантаження ГВП.

Також необхідно враховувати **перспективи розвитку системи теплопостачання** даного населеного пункту, з огляду на вже існуючі чи перспективні плани розвитку теплозабезпечення і можливі зміни теплових навантажень споживачів. Зокрема, суттєвий вплив на теплові навантаження споживачів можуть мати проведення термомодернізації будинків, муніципальні плани щодо децентралізації теплопостачання окремих територій, закриття малоефективних котельних з переведенням споживачів на теплопостачання від інших котельних, плани централізованого переходу на інші джерела теплопостачання, макроекономічні тенденції розвитку населеного пункту (збільшення чи скорочення кількості населення, динаміка нового будівництва, тощо).

Слід зазначити, що **котли на біомасі є більш інерційними**, ніж газові, повільніше збільшують або зменшують теплову потужність, потребують більшого часу для виходу на робочі параметри. Тому, як правило, потужності котлів на біомасі вибирають таким чином, щоб забезпечити якомога довшу їх роботу в базовому режимі протягом опалювального сезону, без різких збільшень та зменшень потужності. Пікові навантаження при цьому забезпечуються використанням газових котлів. Також треба мати на увазі, що котли на біомасі, як правило, не допускають їх використання з потужністю меншою, ніж 25-40% від номінальної. Тому, для більш повного використання котлів на біомасі при зменшенні теплового навантаження споживачів, виправданим є використання двох чи трьох котлів на біомасі меншої потужності замість одного потужного котла. При цьому котли на біомасі можуть бути різної потужності, з таким розрахунком, щоб нижня експлуатаційна межа потужності меншого котла співпадала з нижньою межею теплового навантаження споживачів під час сезону опалення. Попри деяке збільшення вартості котельного обладнання, таке рішення буває виправданим через суттєве збільшення кількості енергії, виробленої з використанням біомаси. Загальну встановлену потужність котлів на біомасі вибирають на рівні 40-70% від загальної встановленої потужності котельні, якщо така потужність може бути забезпечена за існуючих умов постачання палива. При виборі такої потужності, котли на біомасі можуть забезпечити до 80-90% всієї виробленої теплової енергії, що суттєво збільшує економічну доцільність їх застосування.

При впровадженні котлів на біомасі в існуючих котельнях, часто є можливість використання існуючих газових котлів як пікових та резервних. При впровадженні модульних котелень, які повністю покривають теплове навантаження споживачів, необхідність використання існуючих газових котлів відсутня. В такому випадку в залежності від категорії споживачів в котельній повинно бути, що найменше 2 котла.

Після вибору потужності котлів на біомасі та режиму їх використання, складається виробнича програма котельні, що надалі є основою для оцінки доходів та витрат.

На основі отриманих комерційних пропозицій постачальників обладнання проводиться аналіз запропонованих рішень, визначаються можливості застосування запропонованого обладнання, його переваги та недоліки. Для якісної оцінки проекту

при підготовці ТЕО слід розглядати декілька варіантів основного обладнання необхідної потужності.

Також розглядаються можливі організаційні та технічні рішення щодо постачання палива та завантаження паливного бункеру, організації виробництва та відпуску теплової енергії, видалення паливної золи та очистки димових газів.

Особливу увагу слід звернути на логістику паливної біомаси. На основі виробничої програми визначають обсяг споживання палива та графік постачання для забезпечення потреб котельної. У рамках ТЕО має бути розроблена схема логістики та виконана оцінка можливих постачальників і умов поставки, розраховані витрати на доставку палива, запропоновані рішення по організації та технічному забезпеченню логістики, оцінені ризики недопоставки або поставки неякісного палива.

На підготовчих стадіях (ескізний проект, ТЕО) обов'язково проводиться порівняльний аналіз технічних параметрів, якісних та кількісних показників виробництва теплової енергії з біопалива, а також можливі варіанти компоновки обладнання та будівельних рішень.

Для оцінки капітальних витрат необхідно врахувати, крім вартості основного обладнання, також вартість будівельних, монтажних та пусконалагоджувальних робіт, додаткового обладнання для очищення димових газів (при необхідності), а у випадку будівництва окремої котельні – вартість спорудження будівлі котельні, насосного обладнання, системи хімводопідготовки, ємностей для запасу хімічно очищеної води, лічильників води, теплової та електричної енергії, спорудження димової труби, додаткових робіт, пов'язаних з підключенням до мереж водопостачання та водовідведення, електромереж, прокладення ділянок тепломереж до існуючих споживачів або до точки підключення до існуючої тепломережі. В залежності від технологічних рішень може знадобитись додаткова техніка для обслуговування – фронтальний навантажувач, сміттєвоз, подрібнювач та ін.

Для попередньої оцінки капітальних витрат можна скористатись усередненими даними подібних проектів (**таблиця 3.2.2**) або результатами кошторисного розрахунку.

Загальну встановлену потужність біомасової котельні рекомендується вибирати на рівні 40-70% від загальної встановленої потужності котельні

Таблиця 3.2.2. Орієнтовні питомі капітальні витрати, Євро/кВт встановленої теплової потужності

Капітальні витрати	Вид палива		Примітки
	деревна тріска	гранули	
Орієнтовні питомі капітальні витрати, Євро/кВт встановленої теплової потужності			
Основне обладнання* (українського виробництва)	50-70	35-60	для котлів потужністю 200...500 кВт
	25-40	25-30	для котлів потужністю 600...1300 кВт
Основне обладнання* (європейських виробників)		85-100	для котлів потужністю 200...500 кВт
Додаткові витрати, % від вартості основного обладнання			
Будівельні роботи (встановлення в існуючій котельні)	10-25		
Монтажні роботи, внутрішні трубопроводи	30-35		
Шефмонтаж, пусконалагоджувальні роботи	10		
Розроблення проекту	5-7		

* Примітка: до основного обладнання віднесено котли, оперативні бункери палива, тягодуттєве обладнання, пульти керування, паливний склад.

Загалом, інші витрати становлять близько 80% вартості основного обладнання. При будівництві окремої, наприклад модульної, котельні, інші витрати можуть становити 100-150% вартості основного обладнання (тобто, загальна вартість проекту може перевищувати вартість основного обладнання в 2-2,5 рази). Слід зазначити, що розмір капітальних витрат в схожих проектах може відрізнятися дуже суттєво, що пов'язано з умовами будівництва, технологічними рішеннями, комплектацією, рівнем автоматизації, якості та вартості обладнання й комплектуючих.

Експлуатаційні витрати розподіляються постійні (адміністративні) та змінні – виробничі, що включають витрати на паливно-енергетичні ресурси (паливо, вода, електроенергія), ремонти, матеріали, заробітну палату та соціальні виплати, амортизаційні відрахування, інвестиційні відрахування, плата за ліцензії та дозволи, оренда та сервісне обслуговування, фінансові зобов'язання та ін.

При оцінюванні майбутніх експлуатаційних витрат необхідно мати на увазі, що питомі витрати електричної енергії для котлів на твердому паливі вищі, ніж для газових, оскільки експлуатація такого обладнання передбачає роботу електричних приводів на паливному складі, в системі подачі палива зі складу та з оперативного бункера, в деяких випадках – також системи автоматичного золовидалення. При застосуванні в системі централізованого теплопостачання, питомі значення витрат електроенергії можуть складати близько 35-45 кВт×год/Гкал для систем з використанням гранул та близько 30-55 кВт×год/Гкал при використанні тріски (в порівнянні з 23-30 кВт×год/Гкал при використанні газових котлів).

Також слід врахувати можливе збільшення кількості обслуговуючого та ремонтного персоналу, особливо при використанні котлів з ручним завантаженням. Зазвичай котли на твердому паливі потребують додаткового обслуговування (періодичне чищення поверхонь теплообміну від сажі) та, на відміну від газових котлів, мають більшу вирогідність виникнення неполадок через наявність механічного обладнання системи паливоподачі.

До додаткових витрат котельні на біомасі також можна віднести витрати на утилізацію золи. Якщо неможливі інші способи утилізації, додатковими будуть витрати на вивезення золи на загальноміські полігони ТПВ. На етапі ТЕО варто звернути увагу на забезпечення необхідних екологічних вимог при впровадженні котельні на біомасі, особливо щодо викидів твердих часток золи та окису вуглецю в атмосферне повітря. Необхідно, базуючись на даних виробника котельного обладнання щодо його екологічної ефективності, провести попередній розрахунок обсягів викидів забруднюючих речовин та їх відповідність екологічним вимогам (див. пункт 3.2) та при необхідності приділити увагу вибору системи очистки димових газів або впровадженню інших технічних рішень, що забезпечили б виконання екологічних вимог.

При розробці ТЕО необхідно попередньо визначити джерела та умови фінансування проекту, для правильного врахування можливих кредитних зобов'язань, а також тарифи, за якими планується постачати теплову енергію споживачам, з урахуванням віднесення потенційних споживачів до відповідних категорій (населення, бюджетні чи комерційні) та останніх законодавчих змін щодо стимулювання заміщення природного газу в сфері теплопостачання. Оцінку проекту слід проводити для декількох можливих варіантів, в яких може варіюватись встановлена потужність котельного обладнання, його ціна, види палива, показники ефективності та інше.

Остаточний результат – економія в порівнянні з базовим (існуючим) варіантом, який передбачає використання існуючого обладнання та викопного палива. Якщо ж це новий проект, що впроваджується приватним інвестором, розглядаються різні варіанти технічної реалізації проекту та прибуток від їх реалізації. На цій основі робиться висновок щодо прийнятності чи неприйнятності отриманих фінансових показників проекту.

В результаті виконання ТЕО ініціатор проекту виробництва тепла з біомаси, зазвичай, приймає остаточне (позитивне або негативне) рішення щодо його впровадження в тому чи іншому варіанті, або продовжує пошук того варіанту, який забезпечив би прийнятні економічні показники ефективності проекту.

Бізнес-план, як правило, розробляється з метою залучення коштів інвесторів, використання кредитів і позик та служить для ознайомлення потенційних партнерів із сутністю та основними аспектами реалізації конкретної бізнес-ідеї. Крім того, бізнес-план допомагає їх розробникам обміркувати і вирішити конкретні питання, пов'язані з налагодженням виробництва, маркетингу, організацією управління і контролю, пошуком партнерів, джерел фінансування, тощо. Цей документ є необхідною умовою ефективного пошуку інвесторів для проектів енергетичного використання біомаси.

При розробці бізнес-плану більша увага приділяється таким питанням як вибір організаційно-правової форми ведення бізнесу, визначення організаційної структури підприємства, графік фінансування проекту, потреба в обігових коштах, план доходів і видатків, план грошових надходжень і виплат, плановий баланс, розрахунок та управління ризиками. Проводиться оцінка впливу найбільш вагомих факторів на фінансово-економічні показники проекту на основі аналізу чутливості до зміни вихідних даних.

Результати ТЕО та бізнес-плану, крім допомоги в прийнятті рішення щодо подальшої реалізації проекту, служать одним з джерел вихідних даних для технічного завдання на розробку проектної документації на об'єкт будівництва.

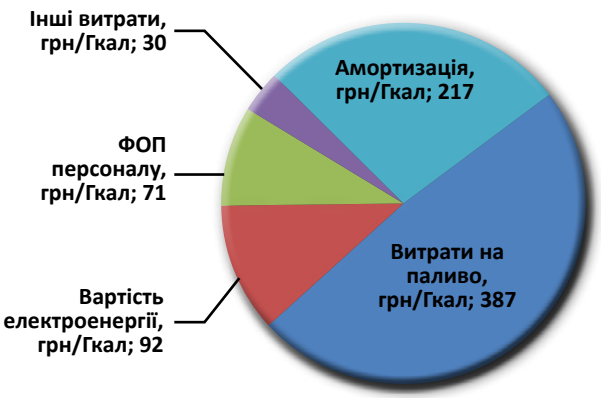
Орієнтовні показники окупності котельних на БМ, представлені нижче (**таблиця 3.2.3**), було розраховано виходячи з наступних припущень:

Тариф на виробництво теплової енергії з біомаси
(для категорії «бюджетні споживачі та інші»): ***1097,24 грн./Гкал***;
те ж, для категорії «населення»: ***1092,12 грн./Гкал***,
(згідно постанов КМУ № 293 від 9.07.2014 та № 453 від 10.09.2014, постанов НКРЕКП № 906 та № 907 від 19.12.2014)
Строк життя проекту: ***15 років***
Ставка дисконтування: ***20%***
Умови фінансування проекту:
Банківський % за кредит ***23%***
Строк кредиту: ***8 років***
Відстрочення виплати тіла кредиту: ***1 рік***
Частка кредиту в капвитратах: ***80%***
Капвитрати проекту (встановлена теплова потужність 1 МВт):
спалювання гранул (вітчизняне обладнання): ***1 475 тис. грн.***
те ж, європейське обладнання: ***2 330 тис. грн.***
спалювання тріски (вітчизняне обладнання): ***2 260 тис. грн.***
те ж, європейське обладнання: ***6 820 тис. грн.***

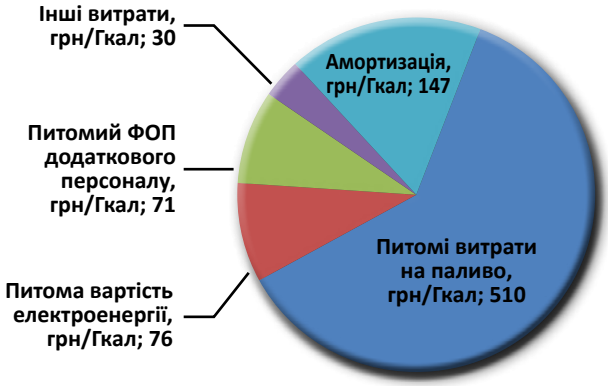
Таблиця 3.2.3. Фінансові показники проектів впровадження котельних на БМ.

Вид палива, середня ціна	Тариф на теплову енергію, грн./Гкал без ПДВ:			
	населення, 90% середньозваженого тарифу	населення, 100% середньозваженого тарифу	бюджетні споживачі, 100% середньозваженого тарифу	очікуваний рівень тарифу для бюджетних та інших споживачів в сезон опалення 2015/2016 р.р.
	982.91	1092,12	1097,24	1600
Вітчизняне обладнання				
Деревна тріска, 800 грн./т з ПДВ				
IRR, %	**17%**	**25%**	**26%**	**62%**
Простий строк окупності, років	**6.1**	**4.3**	**4.3**	**1.7**
Дисконтований строк окупності, років	**>15**	**8.5**	**8.3**	**2.1**
Деревні гранули, 1800 грн./т з ПДВ				
IRR, %	**18%**	**30%**	**30%**	**84%**
Простий строк окупності, років	**5.9**	**3.7**	**3.6**	**1.2**
Дисконтований строк окупності, років	**>15**	**6.5**	**6.3**	**1.5**

Орієнтовну структуру собівартості теплової енергії (при виробництві на вітчизняному обладнанні) показано на **рис. 3.2.1**.



а) паливо-деревна тріска, ціна 800 грн/тону з ПДВ.
Собівартість ТЕ: 797 грн./Гкал



б) паливо-гранули, ціна 1800 грн/тону з ПДВ.
Собівартість ТЕ: 834 грн./Гкал

Рис. 3.2.1. *Структура собівартості теплової енергії з БМ (деревна тріска, гранули).*

Розрахункову залежність окупності котельних на БМ показано на **рис. 3.2.2** (А-Б):

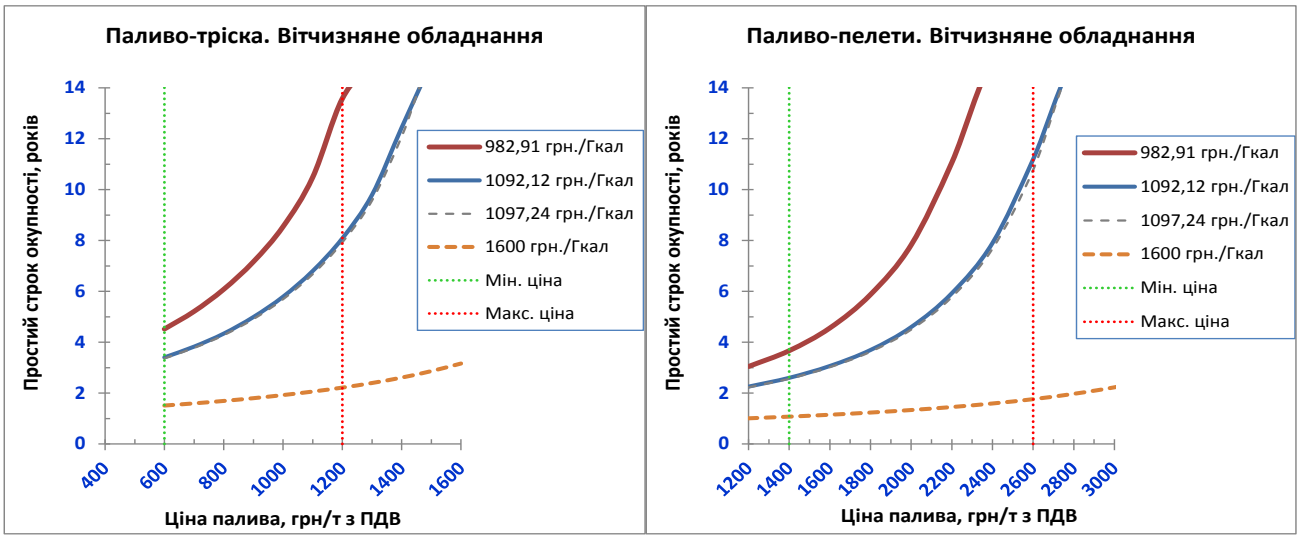


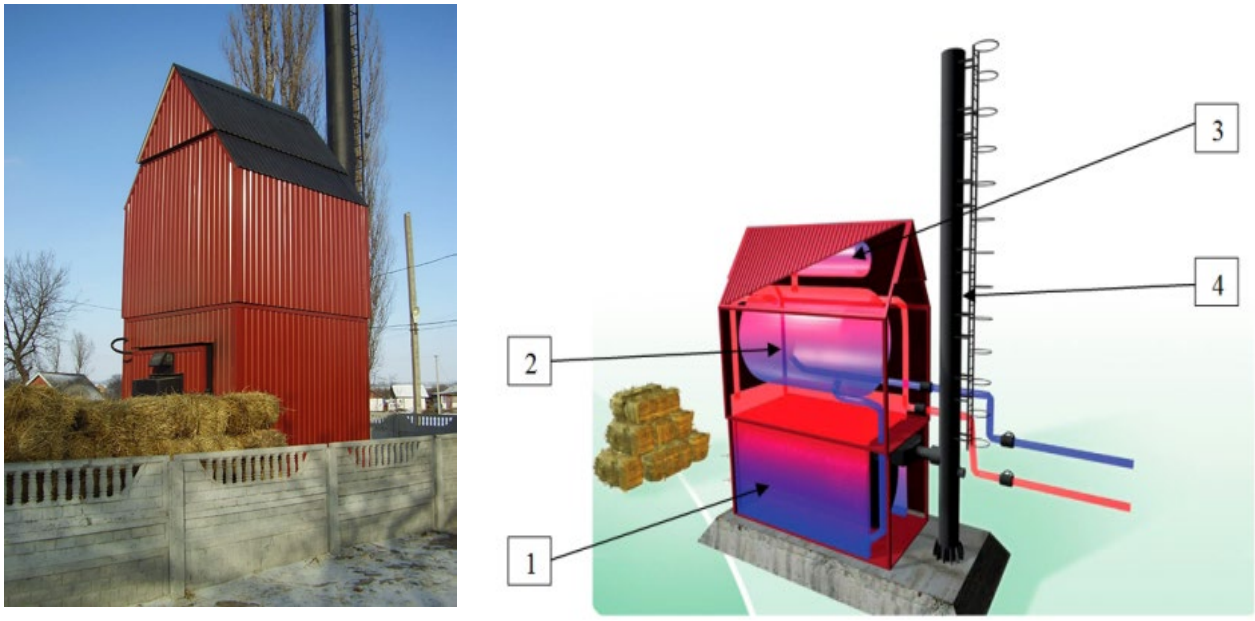
Рис. 3.2.2. *(А-Б) Залежність окупності котельних від виду та ціни палива, виробників обладнання, а також тарифу на теплову енергію.*

4. УСПІШНІ ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ

❖ Періодичне спалювання тюків соломи (ЮТЕМ)

Оператор:	Бюджетна установа (школа)
Встановлена потужність:	300 кВт
Виробник котла,	RAU-2-331 «Південтеплоенергомонтаж» (Київ) за ліцензією Пассат Енерджі (Данія)
Вид палива	Солома в тюках
Рік будівництва:	2009
Вартість проекту	100 тис. грн.

Теплогенератор (RAU-2-331) потужністю 300 кВт виробництва компанії «Південтеплоенергомонтаж» (Київ), що випускає котли по виключній ліцензії датської компанії Passat Energy A/S, встановлено в селі Демівка Чечельницького району Вінницької області для опалення приміщень школи (**Рис. 4.1**). До 2009 року школа площею 3032 кв.м. опалювалась двома твердопаливними котлами «НИИСТУ-5». Потреба у вугіллі та дровах на опалювальний сезон складала близько 120 т та 20 куб.м. відповідно, загальною вартістю близько 216 тис.грн.



1-топка; 2-акумуляційний бак; 3- розширювальний бак; 4- димова труба.

Рис. 4.1. *Теплогенератор RAU-2-331 потужністю 300 кВт.*

Для опалення шкільного закладу на період 2014-2015 рр. було заготовлено 130 т соломи на 43 тис.грн. та 20 куб.м. дров на 7,3 тис.грн. Разом витрати на паливо склали 50,3 тис.грн., а економія (без урахування додаткових витрат на електроенергію та дизпаливо) склала 216- 50,3 = 165,7 тис.грн.

Запас соломи зберігають в старих корівниках, що дало змогу захистити паливо від дощу та снігу. Збудовано ангар біля теплогенератора для десятиденного запасу палива, на баланс школи передано трактор з причепом для перевезення тюків.

Для обслуговування теплогенератора необхідно 4 кочегари, які працюють позмінно, та 1 тракторист.

❖ Безперервне автоматизоване спалювання соломи

Оператор:	Птахокоплекс «Дніпровський»
Встановлена потужність:	2х5 МВт
Виробник котла,	VESKO-S, компанії «TTS boilers» (Чехія)
Вид палива	Солома в гранулах
Рік будівництва:	2014

Протягом 2011-2012 рр. групою підприємств АТТ реалізований проект переведення опалення пташників птахокомплексу «Дніпровський» з природного газу на біопаливо (**Рис. 4.2**).

Проект забезпечує впровадження технології корисної утилізації відходів виробництва птахокомплексу, скорочення споживання природного газу, управління енергозбереженням, а також підвищує екологічні стандарти виробництва.

Рис. 4.2. *Котельня птахокомплексу «Дніпровський» в Нікополі, Дніпропетровська обл.*

Згідно з робочим проектом побудовані дві котельні потужністю 5 МВт кожна, укомплектовані твердопаливними котлами VESKO-S, компанії «TTS boilers» (Чехія), що на 100% забезпечують теплом пташники двох майданчиків підприємства – птахокомплексів «Першотравневий» і «Нетельне».

Власні посівні площі замовника, а також вже накопичені запаси, що підлягають утилізації, забезпечують достатній обсяг палива для безперебійного опалення пташників. На стадії ТЕО розрахунковий термін окупності проекту станом на 2012 рік складав 2 роки і 8 місяців. Беручи до уваги зростання вартості природного газу, за словами персоналу котельні, проект уже досяг окупності і продовжує економити кошти підприємства на енергозабезпеченні.

❖ Сушильні комплекси БРІГ, що працюють на тюкованій соломі

ВАТ «Бриг» (м. Первомайськ, Миколаївська обл.) вперше в Україні в 2004 р. створив зерносушильні комплекси потужністю 5 і 8 тон/год. з теплогенераторами на соломі, використання яких істотно знижує витрати на сушіння зерна, та виконав модернізацію італійської зерносушарки типу AS 1300 виробництва «AGROMEC» в ПСП «Сейм-Еліта» (с. Козацьке Сумської обл.), перевівши її на тюковану солому, що спалюється в теплогенераторі типу ТГС-500 тепловою потужністю 500 кВт. Така сушарка сушить до 74 тонн кукурудзи за сезон з початковою вологістю зерна 30%, витрачаючи при цьому близько 1200 літрів дизпалива. Технічна модернізація дозволила економити не менше 16 тис. дол. США за місяць, що складає близько 65% від ціни самого теплогенератора (враховуючи ціну соломи на рівні 24-30 дол. США/тону).

Максимальна разове завантаження паливом теплогенератора ТГС-500 становить 700-800 кг соломи, що забезпечує безперервне горіння протягом 4-5 годин (**Рис. 4.3**).

При спалюванні соломи тепло димових газів надходить в трубчастий теплообмінник, через який продувається чисте атмосферне повітря, нагріваючись до температури 60...110°С, що досягається за рахунок автоматичного регулювання інтенсивності горіння соломи в топці. Це дозволяє сушити посівний матеріал при м'якому режимі сушіння з температурою сушильного агента 60°С, або продовольче зерно в більш інтенсивному режимі.

Рис. 4.3. *Теплогенератор ТГС-500.*

Теплогенератори ТГС-500 можуть використовуватися для модернізації діючих в сільському господарстві зерносушильних комплексів різних виробників, в яких використовується як паливо природний газ, дизпаливо або топковий мазут. При цьому комплекси продуктивністю до 10 т/год оснащуються одним теплогенератором ТГС-500, а продуктивністю до 20 т/год – двома спареними.

Соломи, зібраної з 1 га поля (3-4 тони) вистачить щоб висушити 100-120 тонн зерна, знизивши його вологість з 20% до 15%. Крім того, в теплогенераторах такого типу можна спалювати також стрижні кукурудзи, лушпиння соняшнику, гречки і рису.

❖ Спалювання лушпиння соняшника (котельня)

Оператор:	ТОВ «Бандурський олійноекстракційний завод» (група «КЕРНЕЛ»)
Встановлена потужність:	16 МВт
Виробник котла,	JNO-HD бельгійської фірми «VYNCKE»
Вид палива	Лушпиння соняшника
Рік будівництва:	2010

Наприкінці 2010 року у Миколаївській області було запущено один з найбільших в Україні олійноекстракційних заводів – ТОВ «Бандурський олійноекстракційний завод», який входить до Групи Компаній «Кернел» – найбільшого українського виробника та експортера соняшникової олії.

Рис. 4.4. *Жаротрубний котел типу JNO-HD.*

Обладнання заводу дозволяє переробляти 1500 т насіння соняшника, 900 т насіння рапсу та 1180 т сої. Вихід на паспортні потужності був здійснений навесні 2011 р. Теплова енергія для виробничих та теплофікаційних потреб підприємства забезпечується котельнею, обладнаною жаротрубним котлом типу JNO-HD бельгійської фірми «VYNCKE», що працює на лушпинні соняшника, продуктивністю 24 т насиченої пари за годину тиском 13 бар (Рис. 4.4).

Котел складається з чотирьох основних агрегатних частин: топка; велика водотрубна радіаційна система; конвекційна частина з єдиним горизонтальним пучком жарових труб; економайзер.

❖ Спалювання лушпиння (ТЕЦ)

Оператор:	ПАТ «Кіровоградолія» (КЕРНЕЛ груп)
Встановлена потужність:	35 МВтт (26.7 МВтт+1.7 МВте)
Виробник котла,	3 котла Е-16-3,9-360-Д виробництва ПАТ «АК Сатер» (Україна), 1 котел ДЕ-25-1,4-250ГМО
Вид палива	Лушпиння соняшника
Рік будівництва:	2008
Вартість проекту	15 млн. Євро

ТЕЦ «Кіровоградолія» — промислова теплоелектроцентраль виробника соняшникової олії ПАТ «Кіровоградолія». ТЕЦ покриває власні потреби підприємства у тепловій та електричній енергії. Надлишок виробленої електроенергії постачається у енергомережу України за зеленим тарифом. Виробничі потреби підприємства ПАТ «Кіроворгадолія» включають потреби у насиченій парі для пресування насіння та виробництва олії, та у електроенергії для забезпечення роботи заводського обладнання (пресів, сушок, конвеєрів, тощо). Для виробництва пари встановлено три котли Е-16-3,9-360-Д виробництва ПАТ «АК Сатер» (Україна) на лушпинні (**Рис. 4.5**). Четвертий котел ДЕ-25-1,4-250ГМО має можливість працювати як на лушпинні, так і на природному газі для забезпечення стабільної роботи паросилового господарства при тимчасовій відсутності лушпиння як палива.

Рис. 4.5. *Котел Е-16-3,9-360-Д на ТЕЦ «Кіровоградолії».*

Пара, що виробляється котлами потрапляє у колектор пари високого тиску, звідки розподіляється на парову теплофікаційну турбіну (виробник «PBS-Energo», Чехія) та технологічні потреби підприємства. Пара на технологічні потреби редукується після колектору високого тиску до тиску 10 бар та температури 198 °С і використовується на потреби екстракційного та підготовчого цехів підприємства. Вся інша пара з максимальними параметрами Р=39 бар та Т=290°С потрапляє на турбіну, забезпечуючи власні потреби підприємства у електричній енергії. Встановлена електрична потужність складає 1,7 МВт, встановлена теплова потужність – приблизно 26,7 МВт. Річне виробництво електроенергії становить 13 млн кВт-год, річне виробництво тепла – 234 тис. Гкал.

Спалювання однієї тони лушпиння соняшника заощаджує 500 м³ природного газу, всього за місяць ТЕЦ використовує в якості палива в середньому 5 000 тонн лушпиння.

❖ Котельня Житомирської обласної психіатричної лікарні

Оператор:	ТОВ Крігер Енергія
Встановлена потужність:	2500 кВт
Виробник котла,	марка: Крігер (Україна), КВм-2,5
Вид палива	деревна тріска (12 тис.м3/рік)
Рік будівництва:	2013
Вартість проекту	5 млн. грн.

У котельні встановлено водогрійний котел компанії «Крігер» – КВм-2,50 потужністю 2,5 МВт (**Рис. 4.6**). Тепломеханічна частина проекту виконана таким чином, щоб забезпечити автоматичний режим роботи котельні для обігріву приміщень та підготовки гарячої води в обсязі не менше 100 м^3 / на добу.

Котел оснащено мультициклоном, системою очищення внутрішніх поверхонь котла від золи. Склад палива з рухомими секціями виробництва компанії «Крігер» дозволяє забезпечити 3-х добову автономну роботу котельні. Паливо на рухомі секції подається за допомогою автонавантажувача. Водогрійний котел в автоматичному режимі працює з паливом вологістю до 55%, з тиском теплоносія до 0,6 МПа і температурою до 115°С. Вентилятори, димосос, привід подачі палива обладнані частотними перетворювачами Діапазон регулювання складає 20-100% від номінального навантаження.

Витрата палива (тирса, тріска) при максимальному навантаженні становить 1200 кг / год (для нижчої теплотворної здатності палива 1900 ккал/кг).

Рис. 4.6. *Котельня з котлом КВм-2,5 ТОВ Крігер Енергія.*

❖ Котельня системи централізованого теплопостачання м. Славутич

Оператор:	ТОВ «Зелена енергія Т»
Встановлена потужність:	10,5 МВт
Виробник котла,	СООО Комконт (Білорусь), СН 350 (3 од.)
Вид палива	деревна тріска, торф
Рік будівництва:	2013
Вартість проекту	47,6 млн.грн (5,9 млн.дол.США)

Цей спільний Білорусько-Український проект впроваджено в сфері виробництва теплоти для опалення та гарячого водопостачання м. Славутич з метою часткового заміщення природного газу та зменшення собівартості тепла для споживачів. Проект дозволив місту економити на паливі 10 млн. грн. на рік, використовуючи замість природного газу біомасу - суміш торфу і деревної тріски. Реалізувала проект у м. Славутич українська компанія «Зелена енергія Т».

Рис. 4.7. *Котельня в м. Славутич.*

❖ Котельня системи централізованого теплопостачання м. Івано-Франківськ

Оператор:	ДМП «Івано-Франківськтеплокомуненерго»
Встановлена потужність:	3 400 кВт
Виробник котла,	Е-2,5-0,9 (2 од.)
Вид палива	деревна тріска, тирса
Рік будівництва:	2013

В даний час ДМП «Івано-Франківськ-теплокомуненерго» встановило 2 котли на біопаливі загальною потужністю 3,4 МВт на котельні на вул. Юності 11 для заміщення природного газу. В якості палива використовується деревна тирса та тріска. На території котельної створено необхідну інфраструктуру для зберігання і подрібнення деревини та автоматичної її подачі в котли для спалювання. Всі процеси автоматизовані та потребують мінімального втручання персоналу. Сировиною для забезпечення цієї котельні є відходи деревообробних підприємств та санітарної чистки насаджень міста та приміської території.

Рис. 4.8. *Котельня на біомасі ДМП «Івано- Франківськтеплокомуненерго».*

❖ Котельня системи централізованого теплопостачання м. Черкаси

Оператор:	КПТМ «Черкаситеплокомуненерго»
Встановлена потужність:	2 500 кВт
Виробник котла,	СООО «Комконт» (Білорусь), СН 250
Вид палива	деревна тріска, тирса, качани кукурудзи
Рік будівництва:	2011
Вартість проекту	8.4 млн. грн.

Котел на біомасі потужністю 2,5 МВт встановлено в комунальному підприємстві теплових мереж «Черкаситеплокомуненерго» в рамках «Проекту ефективного використання енергоресурсів м. Черкаси», що фінансується через кредит Європейського Банку Реконструкції та Розвитку (ЄБРР). Це перший такий проект в м. Черкаси.

Встановлено котел виробництва СООО «КОМКОНТ» (Республіка Білорусь) який виготовлено по ліцензії компанії COMPTE-R (Франція). Котел призначений для автоматичного спалювання вологих відходи деревини (опилки, стружка, тирса) із середньою вологістю 50% та середніми розмірами 100x50x20 мм. Максимальна витрата палива 1400 кг/год (при вологості 50 % на загальну вагу), а ККД - 86% при вологості палива до 50%. Річний економічний ефект від впровадження котла складе 3 830 800 грн.

Рис. 4.9. *Котельня на біомасі КПТМ «Черкаситеплокомуненерго».*

❖ Котельня Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України

Оператор:	ТОВ «НВО Екотех»(Україна)
Встановлена потужність:	2500 кВт (верхня та нижня котельні) кВт
Виробник котла,	ТОВ «НВО Екотех»(Україна), КВу-0,5М (5 од.)
Вид палива	Деревні гранули
Рік будівництва:	2012

У 2012–2013 рр. оранжерейний комплекс, будівлі та споруди Ботанічного саду м. Києва повністю переведено на альтернативне опалення за допомогою твердопаливних котлів вітчизняного виробництва (**Рис. 4.10**). Відповідно до науково-технічного проекту, організованого з компанією «Екотех», за кошти інвестора введено в дію дві котельні потужністю 1,5 та 3,0 МВт, які забезпечують щорічну потребу установи в тепловій енергії. Перевагами цього проекту є малий термін окупності обладнання, що становить 1–2 опалювальних сезони; менша на 20–25% порівняно з газом вартість опалення; використання наявних комунікацій для опалення оранжерей та будівель; ощадне використання теплоносіїв, можливість керування процесом теплопостачання; впровадження високопродуктивних сортів енергетичних рослин селекції Ботанічного саду як твердопаливної сировини.

Робота котелень повністю автоматизована. Паливні котли, все обладнання та комплек- туючі виготовлені в Україні і працюють на паливних гранулах, які можна виготовляти з деревини та її відходів, соломи і сировини енергетичних сортів рослин.

Використання твердопаливних котлів у Ботанічному саду для опалення понад 100 тис. м^3 площі дозволяє витрачати на 26,8% менше коштів порівняно з газовим опаленням, заощаджуючи понад 1,5 млн грн. на рік бюджетних видатків.

Рис. 4.10. *Котельня на біомасі Національного ботсаду ім. М.М. Гришка НАН України.*

❖ Котельня Кам'янець-Подільської міської лікарні

Оператор:	КП «Міськтепловоденергія»
Встановлена потужність:	1 400 кВт
Виробник котла:	Ретра
Вид палива:	Гранули соломи
Рік будівництва:	2014

У новій котельні працює два котли на солом'яних гранулах тепловою потужністю по 0,7 МВт (**Рис. 4.11**). На сьогодні котельня обігріває корпуси міської лікарні, міську поліклініку, водолікарню та медичне училище.

Рис. 4.11. *Котельня на біомасі КП «Міськтепловоденергія» (м. Кам'янець-Подільський).*

❖ Котельня Полтавської обласної дитячої лікарні

Оператор:	Комунальне підприємство ПОКВПТГ «Полтаватеплоенерго»
Встановлена потужність:	1000 кВт
Виробник котла:	HERZ (Німеччина), BioMatic-500 (2 од.)
Вид палива:	деревні гранули
Рік будівництва:	2012
Вартість проекту	2 млн. грн.

Котельня за адресою пров. Горбанівський, 2, була реконструйована із встановленням двох твердопаливних котлів HerzBioFire (Рис. 4.12). Котли оснащені камерною топкою з механічною колосниковою решіткою для спалювання деревних гранул та тріски з ККД до 90%. Спалювання відбувається на перештовхуючій решітці, подача палива – шнекова. Встановлення данного обладнання дозволило щорічно заміщати значні об'єми дорогого природного газу.

Рис. 4.12. Котельня на біомасі ПОКВПТГ «Полтаватеплоенерго».

❖ Котельня Бази ресурсного забезпечення ДСНС України у с.Жеребкове (Рис. 4.13)

Оператор:	ТОВ «Укртепло Одеса»
Встановлена потужність:	3 000 кВт
Виробник котла:	Україна, СЕТ-1000 (3 од.)
Вид палива:	деревні брикети, дрова
Рік будівництва:	2014
Вартість проекту	5.5 млн. грн.

Рис. 4.13. *Котельня на біомасі у с.Жеребкове Одеської обл.*

Котельня ТОВ «Укртепло Одеса» розташована у смт. Жеребкове, Ананьївського р-ну, Одеської області на території Бази ресурсного забезпечення та аварійно-рятувальних робіт Державної Служби України з Надзвичайних Ситуацій.

Котельня встановленою потужністю 3 МВт обладнана котлами компанії «Сучасні енергоефективні технології» – СЕТ, (м. Рівне). Вони розташовані у приміщені існуючої мазутної котельні, спалюючи дрова та паливні брикети. Два мазутних парових котла ДКВР 6,5 знаходяться у гарячому резерві.

Плановий відпуск теплоти на сезон становить біля 2500 Гкал/рік. Котельня постачає теплову енергію по системі централізованого теплопостачання та опалює приміщення загальною площею 18188 м².

❖ Котельня загальноосвітньої школи у Київській області

Оператор:	ТОВ «Укртепло»
Встановлена потужність:	1 250 кВт
Виробник котла:	Україна, СЕТ-500 (2 од.), СЕТ-250
Вид палива:	гранули деревні
Рік будівництва:	2014
Вартість проекту	1.5 млн. грн.

Рис. 4.14. *Котельня на гранулах ТОВ «Укртепло».*

❖ Досвід організації логістики соломи для забезпечення потреб заводу з виробництва агропелет ТОВ «Він-ПЕЛЕТА» в смт. Турбів, Вінницької області.

Смарт-Холдинг – одна з найбільших промислово-інвестиційних груп України. У сфері альтернативної енергетики Смарт-Холдинг реалізує проекти будівництва мережі заводів із виробництва паливних пелет із біомаси. Першим кроком проекту став завод «Він-Пелета» введений в експлуатацію у 2013 році.

Для забезпечення потреб заводу з виробництва паливних гранул підприємство організувало власну схему логістики сировини. Власна база спецтехніки для заготівлі соломи дає можливість організувати надійне забезпечення підприємства сировиною починаючи з збору соломи в полі та закінчуючи вивантаженням її на складах.

На даний час, потреба заводу в соломі складає 30 тис. тн/рік, що збирається в радіусі 50 км на 15 тис. га земель. Солома для заготівлі закуповується у понад 100 господарств, що мають у розпорядженні від кількох сотень до кількох тисяч гектар посівних площ. Період заготівлі соломи починається в липні з соломи ріпаку та закінчується в жовтні при збирання соломи сої. В часи інтенсивного збору врожаю заготівля соломи може здійснюватися у 2 та 3 зміни, що потребує складної логістики та відповідальної організації робіт. В час пікових навантажень кількість людей задіяних в логістиці соломи складала понад 60 чол. Для збору та транспортування соломи також залучаються сторонні організації та додатковий персонал.

Заготівля соломи розпочинається з формування валків, коли кілька валків за допомогою валкоутворювачів ущільнюються, що дає можливість за один прохід преспідбирача сформувати більшу кількість тюків за меншу кількість часу. Враховуючи попередній досвід, можна стверджувати, що кількість соломи доступної для збору може коливатися в широкому діапазоні 1- 3 т/га, а в середньому складала 1,8 т/га, що залежить як від агротехнічних аспектів вирощування, виду культури, а також технології збору та техніки, що використовується. В реальних умовах було визначено, що швидкість прес-підбирача складає в середньому 7-10 км/год, а швидкість збирання – 10-15 га/год, що дозволяє заготовити до 30 тн/год тюкованої соломи одним прес-підбирачем.

Оператор	ТОВ «Він-ПЕЛЕТА»
Встановлена потужність Проектна потужність	30 тис. тн/рік 75 тис. тн/рік
Вид сировини	Солома ріпаку, пшениці, ячменю, гороху, гречки та сої
Характеристики тюків соломи	2,5x1,0x1,2 – до 400 кг 2,5x0,8x0,7 – до 300 кг
Техніка для тюкування	7 прес-підбирачів: CLAAS QUADRANT 3400 та QUADRANT 2200, New Holland BB 9080
Валкоутворювачі	CLASS Liner 1750
Навантажувачі телескопічні	CLAAS SCORPION 6030, 8 од.
Трактори	CLAAS 850 Axion 850 – 260 к.с. – 2 од. МТЗ-952 – 1 од.
Рік будівництва	2011-2013

Як правило, тюкування соломи розпочинають з 700 та закінчують о 2400 год, що пов'язано з випаданням вологи в нічний час, що погіршує якість соломи та спричиняє негативний вплив на роботу тюкувальної техніки. Для перевезення тюків соломи використовують напівпричепи довжино 15 м, що дозволяє розмістити до 30 тюків загальною вагою до 15 тн. Швидкість завантаження розвантаження автотехніки складає близько 40 хв. Навантаження та транспортування тюків на склади соломи може відбуватися цілодобово за умови прийнятних погодних умов.

На етапі збору та доставки палива на склади здійснюється контроль кількості та якості заготовленої соломи. В полі здійснюють підрахунок кількості тюків, що були утворені прес-підбирачами та кількості тюків, що були відвантажені з поля. Перед відвантаження соломи здійснюється експрес аналіз її вологості. На території складів здійснюють контроль кількості та якості соломи шляхом повторного підрахування кількості тюків, зважування загальної кількості соломи та повторного контрольного визначення вологості соломи експрес методом. Оплата соломи, що була зібрана з полів господарств, здійснюється по факту відвантаження на основі базової ціни з корегуванням ціни в залежності від її вологості.

Для зберігання соломи передбачено два відкритих склади: оперативний склад об'ємом 3 тис. тн та склад тривалого зберігання площею 36 га на відстані 7 км від заводу.

❖ Досвід заготівлі та постачання енергетичної верби для забезпечення потреб біопаливної котельні в смт. Іваничі Волинської області

Агро-енергетична компанія «SALIX energy» створена в 2010 році і основним видом діяльності якої є вирощування енергетичної верби для виробництва біомаси – сировини для виробництва гранул та палива для котельних. Перші плантації компанії були закладені в 2010 році, а в 2014 році був отриманий перший промисловий урожай енергетичної верби. Компанія першою в Україні почала експорт деревної тріски з енергетичних плантацій для покупців в Польщі і для твердопаливних котелень в Україні. Станом на 2015 рік компанія висадила понад 1700 га власних енергетичних плантацій, має власний розплідник саджанців та повний парк техніки для обробітку та заготівлі тріски, а також надає послуги стороннім компаніям з висаджування енергетичних культур та збору врожаю.

Аналіз досвіду, набутого в даному проекті, свідчить, що за рік з плантації в 100 га отримується приблизно 1800 т тріски вологістю 50%. На сьогодні компанія в змозі забезпечити виробництво тріски із енергетичної верби в обсязі 35-40 тис. т/рік. Для створення плантацій на великих площах використовується посадкова машина Energy Planter датської компанії Egedal. Вона забезпечує висадку саджанців товщиною від 8 до 30 мм. Нарізка саджанців регулюється по довжині від 12 до 24 см. Щільність висадки регулюється від 15 тис. до 17 тис. саджанців/га. Заготівлю вирощеної сировини проводять у період зимового спокою (листопад – лютий).

❖ **Досвід компанії «Крігербейк» в організації логістики деревної біомаси для забезпечення потреб в паливі власних котельних компанії «Крігер Енергія»**

Компанія Крігер - вертикально інтегрований енергохолдинг, що об'єднує в себе «Котлозавод Крігер» – виробництво парових та водогрійних котлів на біомасі, «Крігеркотлосервіс» – сервісна компанія з реалізації котлів, розробки проектів котельних, сервісного обслуговування та будівельно-монтажних послуг, «Крігер Енергія» – виробник та постачальник теплової енергії з біомаси, «Крігербейк» – компанія по заготівлі та постачанню біомаси.

Компанія «Крігер Бейк», що створена в 2008 року, основним видом діяльності якої є виробництво, зберігання, постачання твердого палива з відновлюваних джерел енергії. Метою даного підрозділу компанії є доведення виробничих потужностей до 200 тис. м3/рік тріски. Для супроводу своїх партнерів у розвитку проектів котелень на біопаливі компанія створила центр підготовки і складування палива в Житомирському районі. Центр має в своєму розпорядженні усе необхідне обладнання, щоб приймати в середньому 40 вантажівок в день і готувати «зелене паливо» для котелень.

Постачання палива здійснюється за допомогою вантажівок: УРАЛ 43202, вантажопідйомність - 11т тріски , MAN з напівпричепом MAFASAK - 29т, МАЗ-54353 з напівпричепом КЕМПФ - 16,0т сировини, КАМАЗ 53213 - 6,0т, ЗіЛ з причепом - 10,0т, ЗіЛ - 6,0т. По прибуттю і на виїзді кожна вантажівка зважується на автоматичних вагах. Після розвантаження паливо складується в зоні очікування.

Переробка деревної сировини на тріску відбувається за допомогою дробарок Woodsman 18XX, Допштат, Олнова та МРГ 40. Продуктивність дробарок відповідно: 40 куб.м/год.; 28 куб.м/год.; 1,5-2,0т/год.; 40 куб.м/год.

Мобільний або стаціонарний подрібнювач здійснює подрібнення сировини в тріску. Потім тріска очищується від металевих залишків і подається на сортувальну машину, яка сортує тріску згідно вимог. Для обслуговування складу тріски використовується трактор «Білорус» з ковшом. Найбільші шматки відокремлюються і подрібнюються ще раз. Різні типи тріски змішуються згідно бажаних вимог. Біомаса складується в ангари, під навісами. На наступному етапі завантажується в автотранспорт для перевезення на котельні. Контроль за продукцією здійснюється від постачальника до котельні завдяки системі автоматичного супроводу.

Основні показники проекту «Центр підготовки і складування палива в Житомирському районі»

Оператор	Компанія «Крігер Бейк»
Потужність в рік	20 тис. м^3 деревної тріски
Зона охоплення	Житомирська область, 60 км
Рік будівництва	2008

Компанія «Крігербейк» заготовляє тріску паливну для ТОВ «Крігер Енергія», яка обслуговує котельні 4-х медичних закладів та одного санаторію. Теплова енергія виробляється твердопаливними котлами загальною потужністю - 8,9 Гкал/год., в т.ч. - 2 парових котли потужністю 0,86 Гкал/год. Кожний.

❖ Реконструкція комунальної котельні з переведенням котла ДКВР-10 на спалювання деревної тріски (2015-2016 р.) в м. Кам'янець-Подільський

Оператор	КП «Міськтепловоденергія»
Встановлена потужність	5,5 МВт
Вид палива	тріска, 5 тис. тонн/рік
Рік будівництва	2015
Вартість проекту	10 млн. грн

В опалювальному сезоні 2015-2016 рр. в Кам'янці-Подільському Хмельницької області комунальне підприємство теплопостачання завершило реконструкцію котельні з переобладнанням газового котла ДКВР-10/13 для спалювання деревної тріски.

Для спалювання тріски спеціально організовано топковий пристрій котла ДКВР-10 з видозміненим заднім екраном топкової камери та встановлено похилу перештовхувальну решітку виробництва української компанії «Енергодизайн». Потужність котла при спалювання тріски становить 5 МВт. Для забезпечення ефективного спалювання вологої тріски до 55% було замінено штатний економайзер котла на підігрівач повітря, організовано позонну подачу первинного та вторинного повітря та рециркуляцію димових газів, що дозволило організувати більш ефективно процес горіння та зменшити хімічний недопал та викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

У складі проекту реконструкції котельні було передбачено організацію транспорту та складування палива. Готове паливо підвозиться автомобільним транспортом та вивантажується безпосередньо в паливному складі. На площадці додатково встановлена рубильна машина ОЛНОВА DP 660, що дозволяє використовувати паливну сировину у вигляді дров та деревних відходів та переробляти їх в тріску безпосередньо на території котельні. Подрібнена сировина у вигляді тріски зберігається в спеціально облаштованому механізованому складі підземного типу. Подача палива зі складу в котел здійснюється за допомогою норій, скребкових транспортерів та гідравлічних штовхачів.

Очищення димових газів від твердих часток здійснюється в мультициклоні. Золовидалення сухе за допомогою шнека з топкової камери та з-під підігрівача повітря.

Переобладнаний котел дозволить підприємству замістити близько 1,7 млн. м^3 природного газу в рік, а очікувана економія на виробництві теплової енергії очікується близько 5 млн. грн. щорічно.

❖ Проект з глибокою утилізацією димових газів після котла на біомасі на котельні ТОВ «Київ ГрінЕнерджі» в аеропорту м. Бориспіль

Керівництвом міжнародного аеропорту «Бориспіль» було ухвалено рішення про використання на території аеропорту економічного теплового котла, який працює на біомасі для забезпечення тепловою енергією потреб підприємства.

Роботи з обладнання котельні на спалювання біопалива було розпочато у серпні 2014 року компанією «Київ Грін Енерджі». Встановлений котел українського виробництва потужністю 5 МВт частково забезпечував потреби міжнародного аеропорту в тепловій енергії в опалювальний сезон 2014-2015 років. Впродовж наступного опалювального сезону (2015-2016 р.) даний твердопаливний котел був дооснащений конденсаційним економайзером, що дозволило підвищити потужність біопаливної котельні на 1 МВт при тому ж споживанні палива. В Україні це перший проект глибокої утилізації димових газів на базі економайзера, що встановлений після біопаливного котла.

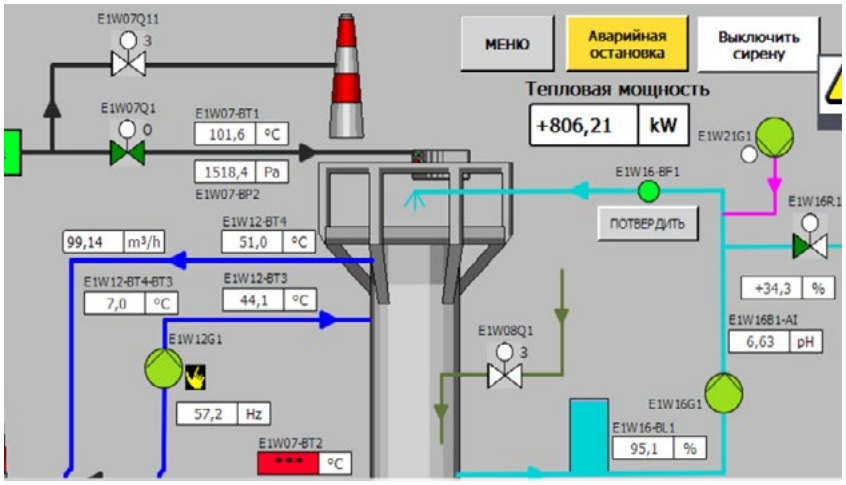
Оператор	ТОВ «Київ Грін Енерджі»
Встановлена потужність	6 МВт (5 МВт котел + 1 МВт економайзер)
Виробник котла	ІНКА, Харків
Виробник економайзера	Enerstena, Литва
Вид палива	Тріска деревна
Рік будівництва	2014-2015

При спалюванні вологого палива, велика частина теплової енергії, що виділяється при згорянні, витрачається на випаровування води. Випарувана волога у вигляді водяних парів разом з димовими газами скидається в атмосферу, таким чином частина енергії втрачається. У конденсаційному економайзері, димові гази охолоджуються, що спричиняє конденсації водяних парів та можливості повторного корисного використання теплової енергія, що виділилася при згоранні палива.

Конденсаційний економайзер колонного в середині якого встановлений трубчатий теплообмінник виконано повністю з нержавіючої сталі для запобігання корозії металу. Димові гази рухаються всередині труб, що ззовні омиваються теплоносієм з низькою температурою, в якості якої використовують зворотну воду тепломережі. Конденсат стікає по стінкам теплообмінника й збирається в накопичувальній ємності під економайзером. Частина конденсату постійно контактує з димовими газами та циркулює в економайзері й використовується для омивання труб теплообмінника від твердих часток, що налипають на стінках. Надлишок конденсату відводиться на систему очистки конденсату. Внаслідок охолодження димових газів температура знижується до 40-45^{0}С, а зворотна вода підігрівається. Таким чином, в економайзері відбувається не тільки підігрів води але й очистка димових газів від забруднюючих речовин.

Тверді частинки, що знаходяться в димі, потрапляють в конденсат, надаючи спільно з іншими факторами помітний вплив на якість і забрудненість води. Для видалення надлишку конденсату його необхідно нейтралізувати й очистити. Надлишок конденсату передається в систему очищення конденсату, де насамперед відбувається нейтралізація його рівня pH. Після проведеної нейтралізації, конденсат обробляють коагулянтом, що дозволяє з'єднати дрібні частки, а далі піддають флотації та очищенню в механічних фільтрах. І тільки після цього конденсат придатний для зливу в каналізацію.

Особливістю застосування економайзерів даного типу є необхідність наявного низькотемпературного теплоносія, що здатний охолодити димові гази нижче температури крапки роси. Кількість додаткової теплової енергії, що може бути отримана внаслідок конденсації напряму залежить від вологості палива, що спалювалося. При спалюванні деревної тріски з вологістю 50% додатковий енергетичний ефект може досягати 25%.



❖ **Реконструкція газових котельних з установкою твердопаливних котлів на деревній трісці з енергетичних плантацій верби в смт. Іваничі Волинської області**

У 2014 компанія «Аванті-Девелопмент» в смт. Іваничі Волинської області провела реконструкцію трьох газових котельних з установкою твердопаливних котлів та системи подачі палива з метою виробництва теплової енергії з біомаси. В якості палива твердопаливних котлів являється деревна тріска з плантацій енергетичної верби. Проект «Іваничі» являє собою невеликий енергетичний кластер, який складається із трьох твердопаливних котельних тепловою потужністю 0,85 МВт, 1,22 МВт та 1,35 МВт. Відповідно загальна теплова потужність складає 3,4 МВт. На кожній котельні встановлені твердопаливні котли фірми «Волинь-Кальвіс» з жаротрубними котлами та топками ретортного типу. Кожну котельню обладнано бункером палива та шнековою системою подачі палива. В якості системи газоочищення використовуються циклони.

Серед споживачів теплової енергії: місцева гімназія, школа-інтернат, будинок культури, дитячий садок, приміщення державних та місцевих органів влади. На одній із котелень були прокладені додаткові теплові мережі з метою підключення но-

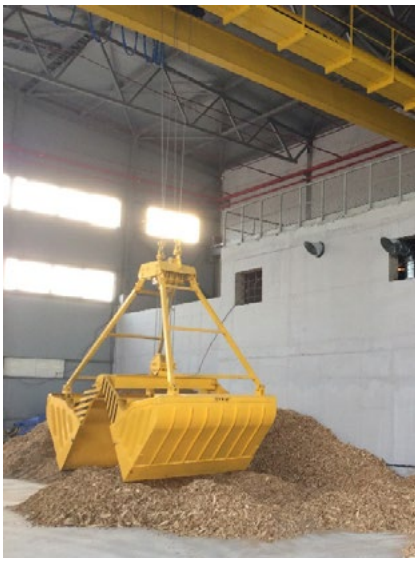
вого споживача. В результаті здійснення проекту загальна економія для місцевих бюджетів за оплату теплової енергії в тепловому сезоні 2014-2015 рр. склала 1,15 млн. грн.

Оператор	ТОВ «Аванті-Девелопмент»
Встановлена потужність	3,4 МВт
Виробник котла	Волинь-Кальвіс
Вид палива	тріска з енергетичних плантацій верби (7-8 тис. м^3/рік)
Рік будівництва	2014

❖ **Досвід виробництва теплової енергії з біомаси на комунальній котельній централізованого теплопостачання в м. Вінниця (2015-2016 р.)**

Оператор	КП ВМР «Вінницяміськтеплоенерго»
Встановлена потужність	2х2,6 МВт (5,2 МВт)
Споживання палива	6 500 тонн/рік
Виробник котла	Viessmann
Вид палива	деревна тріска
Рік будівництва	2015

В 2015-2016 рр. у м. Вінниця реалізовано четвертий етап Проекту з енергоефективності за підтримки швейцарської конфедерації. В рамках Проекту завершилось будівництво котельні по вул. Баженова, 15А з встановленням 2-ох котлів потужністю 2,6 МВт кожен, що працюють на спільну теплову мережу. В якості палива передбачається використання натуральної деревної тріски розміром до 100 мм та вологістю до 55%, робоча вологість – 30%. Діапазон зміни потужності котла від 25 % до 100 %.



Кожен котел оснащено індивідуальною системою автоматичної подачі палива, до складу якої входить з бункер з рухомою підлогою (10х4х5 м) та трьома штовхачами, транспортний пристрій з подавальним штовхачем палива в топку котла. Для обслуговування паливного складу та завантаження накопичувальних бункерів склад обладнано мостовим краном з грейфером 4 м^3. Доставка палива не територію котельні передбачена автотранспортом.

Топка котла футерована й призначена для спалювання вологого та зольного палива. Механічна водоохолоджувана плоска решітка з похилими колосниками розділена на чотири зони подачі повітря та можливістю незалежного регулювання окремих секцій колосників для забезпечення належного спалювання палива. В котлі передбачена подача первинного та вторинного повітря, а також рециркуляція димових газів, що дозволяє організувати процес горіння з мінімальним надлишком повітря та максимальною ефективністю роботи котла. Над топкою встановлено трьохходовий жаротрубно-димогарний блок з горизонтальним розміщенням поверхонь

нагріву. Очистка труд здійснюється автоматично за допомогою стиснутого повітря шляхом періодичного спрацювання клапанів, що встановлені на фронтових дверцятах жаротрубного блоку.

За котлом встановлено систему очистки димових газів на базі мультициклону та електричного фільтру, що забезпечують зниження викидів забруднюючих речовин до належного рівня. Видалення золи з топки котла здійснюється за допомогою шнеку на поперечний транспортер, а далі в накопичувальний бункер золи.

Впровадження котельні дозволить зменшити споживання природного газу на 2,3 млн. м^3 на рік та знизить викиди CO_2 на 4411 тонн.

❖ **Досвід використання тюкованої соломи в якості палива для виробництва теплової енергії в комунальній котельні м. Миргород (2014-2015 р.)**

Оператор	ОКВПТГ «Миргородтеплоенерго»
Встановлена потужність	1 МВт
Вид палива	тюкована солома
Споживання палива	1500 тонн/рік
Виробник котла	ООО «Комконт»
Рік будівництва	2015

В жовтні 2015 року у м. Миргород (Полтавська область) на базі існуючої газової котельні шляхом реконструкції було запущено комбіновану котельню, яка працює на соломі (у штатному періоді) та природному газі (у період пікових навантажень), а також повну логістичну інфраструктуру зі збирання, транспортування, зберігання та постачання соломи для потреб комунальної теплоенергетики. Котельня забезпечує теплом 10 багатоквартирних будинків, школу, дитсадок та одного комерційного споживача. Реалізація проекту була здійснена в рамках Проекту «Муніципальна енергетична реформа» завдяки підтримці USAID.

В котельні організований процес спалювання соломи у вигляді прямокутних тюків, які мають розміри 2×1,2×0,9 м. Вилковий навантажувач подає тюки соломи на стрічковий транспортер, який надсилає їх у подрібнювач. Після подрібнення солома потрапляє до накопичувача (проміжного бункеру). Скребковий транспортер підбирає солому з проміжного бункеру та подає далі до шнека для подачі палива у топку котла.

В якості основного обладнання встановлено твердопаливний водогрійний жаротрубний котел потужністю 1 МВт виробництва ООО «Комконт» (Республіка Білорусь). Спалювання подрібненої соломи відбувається у топці котла на похилій рухомій решітці. Топка футерована вогнетривким бетоном. Бетон витримує температуру до 1350 °С що істотно подовжує термін її експлуатації. Розташована в топці рухома решітка складається з хромованих чавунних вогнетривких колосників, розташованих уступами.

Котел обладнаний системою мокрого золовидалення. Процес видалення золи з топки і сажі з димового фільтра автоматизований. Скребковий транспортер, розташований під топкою і під фільтром збирає незгорілі залишки і транспортує до ємності - зольника. У транспортері знаходиться вода, рівень якої підтримується автоматично. Наявність води в транспортері дозволяє не тільки гасити золу, а й термоударом розбивати в пил великі незгорілі вуглисті залишки і на виході з транспортера мати однорідну кашоподібну масу. Утворена внаслідок спалювання соломи зола вивозиться на золовідвал.

Додатково, для потреб котельні на тюкованій соломі було побудовано оперативний та центральний склад тюкованої соломи. Центральний склад розрахований для зберігання 2 тис. тонн сировини. Із центрального складу тижневий запас заготовленої соломи, необхідний для роботи твердопаливного котла, транспортуватиметься на оперативний склад, розташований безпосередньо біля котельні.

Завдяки проведеним заходам економія природного газу на цій котельні становитиме близько 600 тис. м^3 /рік.

❖ Досвід виробництва теплової енергії з біомаси на паровій опалювально-виробничій котельні ТОВ «Т-Стиль» в м. Рівне (2015-2016 р.)

Оператор	ТОВ «Т-Стиль»
Встановлена потужність	4 МВт
Виробник котла	Polytechnik
Вид палива	деревна тріска, 10 тис. тонн/рік
Рік будівництва	2015-2016

В 2015-2016 рр. на території текстильної фабрики «Т-Стиль» було завершено реконструкцію існуючої газової котельні зі встановленням твердопаливного жаротрубного котла виробництва фірми Polytechnik (Австрія), що виробляє насичений пар для виробничих потреб,тепловою потужністю 4 МВт (6,1 т/год, тиск – 0,8 МПа та температурою 175°С). Котел працює в базовому режимі теплового навантаження. В якості резерву будуть використовуватись два існуючі газові котли, які підключені до спільного парового колектору.

Основне паливо для роботи котельні – деревна тріска, деревні відходи, кора технологічна з вологістю до 60%. Радіус доставки палива автомобільним транспортом близько 30 км. При роботі котла на номінальному навантаженні витрата палива складає 2,1 т/год (близько 50 тонн/добу). Для забезпечення запасу палива запроектовано паливний склад (12х20м) з вбудованим бункером та системою механізованої подачі палива «живе дно» – 55 м^2, що примикає до будівлі котельної. Для обслуговування паливного передбачено використання фронтального ковшового навантажувача.

Топка котла встановлена в приямку котельні на відмітці -1,4 м, а над топкою встановлений жаротрубний конвективний блок випаровування. Котел оснащено димогарним вертикальним водяним економайзером та підігрівачем повітря. Топка котла обладнана водоохолоджувальною колосниковою похило-перештовхувальною решіткою та футерована вогнетривкою цеглою. Для організації ефективного спалювання організована позонна подача первинного та вторинного повітря, а також рециркуляція димових газів.

В результаті спалювання палива в шарі на колосниковій рухомій решітці основна частина золи, близько 95%, залишається в топці і видаляється контейнер за допомогою шнеку в зольний, що знаходиться під топкою котла. Решта золи виноситься з димовими газами. Очистка димових газів від золи здійснюється послідовно в економайзері, підігрівачі повітря шляхом осадження та в мультициклоні шляхом інерційного очищення. Сухе видалення золи здійснюється з-під топки котла, економайзера, мультициклону та повітря-підігрівача в чотири окремі зольні контейнери. Димові гази з температурою 120 °С відводяться в окрему стальну нержавіючу димову трубу за допомогою димососа.

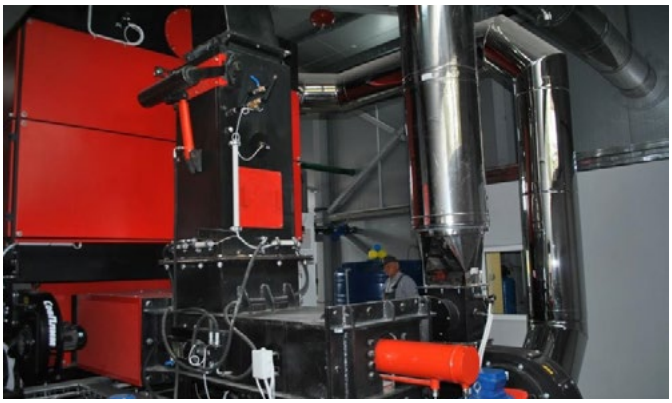
Вода, що циркулює в контурі охолодження колосникової решітки використовується для підігріву транспортеру подачі палива в котел, а також для підігріву холодного повітря в опалювальній установці, що потрапляє в приміщення котельні в зимовий період.

Котел повністю автоматизований, що потребує мінімально втручання обслуговуючого персоналу в його роботу та дозволяє досягнути високих показників ефективності – ККД близько 88%.

❖ Реконструкція опалювальної котельні центральної районної лікарні з встановленням котлів на біомасі в м. Берегово

Оператор:	ТОВ «Райт Пауер Енерджі Україна»
Встановлена потужність:	1,5 МВт
Виробник котлів:	«Крігер»
Вид палива:	деревна тріска, 7,5 тис.м^3
Рік будівництва:	2015
Вартість проекту:	400 тис.євро

Заходи з енергозбереження на території лікарні проводилися вже декілька років. Зокрема було виконано роботи по утепленню фасадів будівель із заміною вікон і вхідних дверей на енергозберігаючі металопластикові – цим вдалося втричі скоротити використання природного газу. Наступним етапом стало підписання концесійного договору між Берегівською районною радою та ТОВ «Райт пауер енерджі Україна» на будівництво нової автоматизованої котельні на твердому паливі, що дозволило лікарні знизити використання природного газу до мінімуму. Паливом для котельної є відходи деревини у вигляді тріски. Компанія самостійно займається заготівлею деревних відходів, переробкою в деревну тріску та доставкою сировини на котельню.



Берегівська ЦРЛ одна з перших на Закарпатті перейшла на альтернативний вид опалення, що суттєво зменшить витрати та залежність від іноземного газу. Також в 2014 році компанією була збудована та експлуатується котельня в м. Тячів, що забезпечує теплом місцеву лікарню площею 13 тис.м^2. Котельня потужністю 1,25 МВт працює з використанням паливної тріски, що дозволяє зекономити понад 250 тис.м^3 газу щорічно. Споживання деревного палива близько 6 тис.м^3.

ДОДАТКИ

Додаток А. Основні виробники теплогенеруючого обладнання на твердій біомасі.

Виробники в Україні

№	Назва/Торгівельна марка	Вид палива					Спосіб подачі		Технологія спалювання				Теплова одинична потужність, МВт				Контакт
		дрова	тріска	гранули	солома	лушпиння	ручне	мех.	нерух. решітка	рух. решітка	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
1	ЗАТ «Волинь Кальвіс»	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•	•	http:// volyn-kalvis.com.ua
2	ТОВ «Котлозавод «Крігер»	•	•	•				•		•				•	•	•	http://kriger.com.ua
3	ТОВ «Сучасні Ефективні Технології»	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	http://cet.ua
4	«Броварський завод комунального обладнання»	•					•	•	•				•	•			http://ardenz.com.ua
5	ТД «Коростенський завод теплотехнічного обладнання»	•		•		•	•	•	•		•			•	•		http://tdkzto.com.ua
6	ПАТ «Агроресурс»	•	•	•			•	•		•			•	•	•		http://agroresurs.ua
7	СПКТБ «Енергомашпроект»		•			•		•		•				•		•	http://energomashproekt.com
8	ТОВ «Триада ком»	•		•	•	•	•	•	•		•		•	•			http://kes.ucoz.ua
9	ТОВ «Дозамех Україна»		•	•	•		•	•	•	•			•	•	•		http://dozamech.com.ua
10	ППФ «Ретра»	•		•	•		•	•	•		•		•	•	•		http://retra.com.ua
11	ТОВ «ATON Group»	•	•	•			•		•					•			http://aton.ua
12	ТОВ «НВО «ЕКОТЕХ»	•		•			•	•						•			http://nvo-ecotech.com.ua
13	Об'єднання «Енерго-Спектр»	•	•	•		•	•	•	•					•	•		http://energy-spectrum.com.ua
14	ТОВ «Арм-Електро»	•	•				•							•	•		http://arm-elektro.com.ua
15	ТОВ «Альянс-Енергія»	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•		http://a-energy.net.ua
16	ПП «Альтеп-центр»	•		•			•	•	•	•			•	•			http://altep.ua
17	ТОВ «Хітеко»	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	http://heateco.com.ua
18	«ГРЕСА-ГРУП»	•		•			•	•	•	•			•	•			http://ggc.com.ua
19	ТОВ «ГРІНБЕРНЕР»	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	http://teplowinner.com.ua
20	ТОВ «Котлотурбо-пром»	•		•			•		•					•			http://ktp.must-ipra.com
21	«Banisa Energy Ukraine»			•				•		•			•	•			http://banisaenergy.com
22	Компанія «БЕЗГАЗУ»	•		•			•	•	•	•			•				http://bezgaza.org
23	ТОВ «Котлотурбо-пром»	•		•			•		•					•			http://ktp.must-ipra.com
24	Корпорація «Котельный завод «Колві»	•		•			•	•						•			http://kolvi.com
25	ТОВ «Зібарт»	•	•	•			•	•	•				•	•	•		http://ziehbart.com.ua
26	АТЗТ «МАЯК»	•		•			•		•				•				http://majak.ua
27	СП «Ройек-Львів»	•		•			•	•	•		•		•	•	•		http://rojek-lviv.com
28	ТзОВ «Металіст»	•	•				•	•	•		•			•	•		http://kotel-metalist.com.ua
29	ТОВ «Денасмаш»	•	•				•	•	•		•			•	•		http://denasmash.com
30	«Буржуй»	•					•		•				•				http://teplota.in
31	ВАТ «Мотор Січ»	•		•			•					•	•	•			http://lmz.com.ua
32	ТОВ «Дунаєвський ливарно-механічний завод»	•	•	•	•			•		•				•	•	•	http://dulmz.com

Продовження таблиці

№	Назва/Торгівельна марка	Вид палива					Спосіб подачі		Технологія спалювання				Теплова одинична потужність, МВт				Контакт
		дрова	тріска	гранули	солома	лушпиння	ручне	мех.	нерух. решітка	рух. решітка	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
33	**ТОВ «Енергія»**			•	•			•	•		•		•	•			http://e-solar.com.ua
34	**«Веренекотехнік»**	•								•			•				http://veren.com.ua/
35	**ЗАТ «Макагротех»**	•					•					•	•				http://macagrotech.com
36	**ПАО «Барський машинобудівний завод»**	•		•			•		•				•				http://barmash.com.ua
37	**ПП «Агро СМАП»**	•	•				•	•	•				•				http://agro-smap.ua
38	**ТОВ «Завод Металіст-Шабо»**	•											•	•			http://metallist.odessa.ua
39	**ТОВ «Гейзер»**			•				•	•				•	•			http://geyser.ua
40	**Корпорація «ІНКА»**	•	•		•		•	•				•		•	•	•	http://kotel.inka.ua
41	**ТОВ «Сіона»**	•	•				•					•	•				http://siona.com.ua
42	**ТОВ МПВФ «Енергетик»**		•			•		•	•	•				•	•		http://energetik.com.ua
43	**Завод «Котеко»**	•		•			•	•	•		•	•	•	•			http://koteko.com.ua
44	**СП «Стропува-Украина»**	•	•				•					•	•				http://stropuva.org
45	**ТОВ «Росс»**	•	•				•		•			•	•				http://rosskiev.com
46	**ДП «Красилівський агрегатний завод»**	•		•			•		•					•			http://kaz.km.ua
47	**«Корді»**	•	•	•			•	•	•				•	•			http://kordi.com.ua
48	**ППФ «Компанія Квартал»**	•		•			•	•	•				•	•			http://kvartalkotel.com
49	**«Тирас»**	•	•	•			•	•	•		•		•				http://tiras-ab.com.ua
50	**ТМ «ProTech»**	•	•	•			•		•				•				http://protech.kh.ua
51	**«Данко»**	•		•			•		•				•				http://danko-kotel.com.ua
52	**ПП «Еко-2»**	•	•	•			•	•	•				•	•			http://vega-kotel.com.ua
53	**ТОВ «Технічний центр Радіосистеми»**			•				•				•	•	•			http://gorelka.sumy.ua
54	**«Тівер»**	•		•			•	•	•				•				http://tiver.org.ua
55	**«Eurotherm»**	•	•	•			•	•	•		•		•	•			http://eurothermgroup.com.ua
56	**ПАТ «Барський машинобудівний завод»**	•					•		•				•	•			http://ligaterm.com.ua
57	**ПАТ «Інститут Укроргстанкинпром»**	•					•		•				•	•			http://stankinprom.com.ua
58	**ТОВ «Теффі»**		•	•				•				•		•	•	•	http://teff.com.ua/
59	**ТОВ «ЮТЕМ-ІНЖИНІРІНГ»**				•		•	•	•					•			http://utem.com.ua
60	**Інженерний центр «Еко Енерго Проект»**		•	•				•				•	•	•			http://eco-energy.com.ua/
61	**«Газотрон»**	•	•	•	•	•	•	•	•	•				•			http://gazotron.com.ua
62	**ТДВ «Макагротех»**	•	•	•	•	•	•		•				•				http://macagrotech.com
63	**ТОВ «Інтекс-груп»**	•	•	•		•	•		•				•	•	•		http://intex-group.com.ua
64	**«Вогнезар»**	•		•			•	•	•				•				http://vohnezar.com.ua
65	**«Teta install system»**	•	•	•			•	•	•			•	•	•	•		http://tetainstall.com
66	**«Енергодизайн»**		•	•	•	•		•		•	•			•	•	•	http://www.energo.design/

Зарубіжні виробники

№	Назва/Торгівельна марка	Вид палива					Спосіб подачі		Технологія спалювання				Теплова одинична потужність, МВт				Контакт
		дрова	тріска	гранули	солома	лушпиння	ручне	мех.	нерух. решітка	рух. решітка	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
1	«CARBOROBOT Co.» LTD, Угорщина		•	•			•	•		•			•	•			http://carborobot.hu
2	«PROTECH» Sp. z o.o., Польща	•		•	•		•	•	•		•		•	•	•		http://protech-wkg.pl
3	«Viessmann», Німеччина		•	•				•	•	•			•	•	•	•	http://viessmann.ua
4	«VYNCKE S.R.O.», Чехія	•	•	•	•	•		•		•				•	•	•	http://vyncke.com
5	«Enerstena», Литва		•	•				•		•					•	•	http://enerstena.lt
6	«VERNER SK s.r.o.», Чехія		•	•	•			•		•				•	•		http://kotle-verner.cz
7	«HERLT SonnenEnergie Systeme», Німеччина	•	•	•			•	•	•				•	•	•		http://herlt.eu
8	«Step TRUTNOV», Чехія				•		•	•		•				•			http://steptrutnov.cz
9	«Polytechnik», Австрія		•	•			•	•		•				•	•	•	http://polytechnik.com
10	«Hollsen», Данія		•		•			•		•			•	•	•	•	http://danstoker.dk
11	«Kalvis», Литва	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•		http://kalvis.lt
12	«HURST Boiler», Австрія		•	•	•	•		•		•					•	•	http://hurstboiler.com
13	«Grandeg», Латвія	•		•			•	•				•	•	•			http://grandeg.lv
14	«Komkont», Білорусь	•	•	•	•		•	•	•			•	•	•	•	•	http://komkont.com
15	«TTS Boilers», Чехія		•		•			•		•					•	•	http://atit-group.ru http://tts.cz
16	«MW Biopower Oy», Фінляндія		•	•				•		•		•					http://mwpower.fi
17	«Herz Energietechnik GmbH», Австрія		•	•				•		•			•	•	•		http://herz-energie.at
18	«Granpal», Польща		•	•	•			•						•	•	•	http://granpal.pl
19	«Defro», Латвія	•	•	•			•	•					•	•			http://defro.org.ua
20	«HOST», Нідерланди		•	•	•			•		•					•	•	http://host-bioenergy.com
21	«KARA energy system», Нідерланди		•	•	•	•		•		•				•	•	•	http://kara-greenenergy.com
22	«Buderus», Німеччина	•					•					•	•				http://buderus.kievgas.com.ua
23	«Ferroli» S.p.A., Італія		•	•				•	•	•				•	•		http://ferroli.ua
24	«Eurotherm», Данія	•	•	•			•	•	•		•		•	•	•	•	http://tatano.com/
25	«Biokaitra», Литва	•					•	•	•		•		•				http://biokaitra.lt
26	«Multibio», Чехія			•				•				•	•	•			http://multibio.eu
27	«Heizomat», Польща-Німеччина	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	http://ht-heiztechnik.ua
28	«Sunsystem», Болгарія	•	•	•			•	•	•			•	•	•			http://sunsystem.bg
29	«Ermach», Турція	•					•					•	•	•			http://ankot.com.ua http://ermach.org.ua
30	«Opop», Данія	•		•			•	•	•			•	•	•			http://nbe.dk
31	«CHT» (cichewicz heiz technik), Польща	•		•			•		•			•	•	•			http://cht.net.ua
32	«SAS», Польща	•		•			•	•	•		•	•	•	•			http://sas.busko.pl
33	«Swag», Турція	•		•			•		•				•				http://swagkotli.com.ua
34	ZGM «Zebiec» S.A, Польща	•	•	•				•	•			•	•				http://zebiec.pl

Продовження таблиці

№	Назва/Торгівельна марка	Вид палива					Спосіб подачі		Технологія спалювання				Теплова одинична потужність, МВт				Контакт
		дрова	тріска	гранули	солома	лушпиння	ручне	мех.	нерух. решітка	рух. решітка	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
35	«ORLANSKI», Польща	•	•				•	•				•	•				http://orlanski.pl
36	«Kamen», Польща	•	•	•			•	•	•		•		•				http://kamen.com.pl
37	«Kolton», Польща	•	•	•			•	•	•		•	•	•				http://kolton.eu
38	«Nolting», Германія	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•		http://nolting-online.com
39	«Gilles», Австрія	•	•	•			•	•	•	•		•	•	•			http://gilles.at
40	«Tatano», Італія	•	•	•			•	•	•		•		•	•	•	•	http://tatano.com
41	«Mozselmash», Білорусія	•					•		•				•				http://mozselmash.by
42	«Viadrus», Чехія	•		•			•	•	•			•	•				http://viadrus.cz
43	«Protherm», Чехія	•					•		•				•				http://protherm.cz
44	«D'alessandro», Італія	•	•	•			•	•	•			•	•	•	•		http://ukrtehenergo.com.ua
45	«Kubus», Турція	•		•			•	•	•		•		•	•	•		http://tetainstall.com
46	«Unical», Италія	•					•		•				•				http://unicalag.it
47	«Binder», Австрія		•	•		•		•		•	•	•	•	•	•	•	http://binder-gmbh.at
48	«Logiterm», Польща	•	•	•	•		•	•	•			•	•	•	•		http://logiterm.pl
49	«Rakoczy», Польща	•					•		•				•				http://rakoczy.pl/ua
50	«Hoval», Великобританія			•				•				•	•	•			http://hoval.co.uk
51	«Axis», Литва	•	•	•	•			•	•	•				•	•	•	http://axis.lt
52	«Hargassner», Великобританія	•	•	•			•	•	•	•			•	•			http://hargassner.uk.com
53	«Atmos», Чехія	•		•			•	•	•			•	•				http://atmos.eu
54	«Reka», Данія	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•		http://reka.com
55	«Candle», Литва	•					•		•				•				http://kotel-candle.com.ua
56	«Passat Energy», Данія	•	•	•	•		•	•	•	•			•	•	•		http://passat.dk
57	«Attack», Словакія	•		•			•	•	•				•				http://attack.sk/
58	«Linka», Данія		•	•	•			•		•	•		•	•	•	•	http://linka.dk
59	«Weiss», Франція		•		•			•		•					•	•	http://weissboiler.com
60	«B&W», Данія		•		•			•		•		•			•	•	http://bwe.dk
61	«Demrad», Турція	•					•		•				•				http://demrad.in.ua
62	«Agro-ft», Австрія			•	•			•		•				•	•	•	http://agro-ft.at
63	«Stropuva», Литва	•	•				•					•	•				http://stropuva.org
64	«Dakon», Чехія	•	•	•			•			•			•				http://dakon.in.ua
65	«Alcon», Данія	•	•	•	•				•				•	•			http://alcon.nu
66	«Krzaczek», Польща	•		•			•	•	•	•			•	•			http://krzaczek.com.ua
67	«DP CleanTech», Данія		•		•			•		•						•	http://dpcleantech.com
68	«MetalERG», Польща	•	•		•		•	•	•				•	•			http://metalerg.pl
69	«FARM2000», Великобританія	•			•		•	•	•				•	•			http://farm2000.co.uk
70	«Verner», Чехія		•	•	•			•	•			•	•	•	•	•	http://www.kotle-verner.cz
71	«Uniconfort», Італія		•	•			•	•	•	•			•	•	•	•	http://uniconfort.com
72	«Froling», Австрія	•	•	•				•	•	•				•	•		http://froeling.com

Додаток Б. Виробники подрібнювачів деревини та соломи

№	Торгівельна марка	Сировина			Тип		Продуктив-ність, м³/год			Конст-рукція		Посилання
		Деревина, стовбури	вторинна дерев., пні	Солома / агросировина	мобільна	стаціонарна	<25	25-50	>50	дискова	барабанна	
1	«Захід-Агросервіс Плюс»	•		•	•	•	•			•		http://zahidagroservis.com.ua
2	НВКТФ «ЮВИС»	•		•		•	•			•		http://uvis-tor.com.ua
3	«Нестандарт»			•	•	•	•			•	•	http://nestandart2000.com
4	ПАО «УкрПКТИлеспром»	•				•	•	•		•	•	http://pkti.if.ua
5	СП ООО «Олнова»	•					•			•	•	http://olnova.prom.ua
6	ТзОВ «ХЕММЕЛЬ-Украина»	•				•	•			•		http://hemmel.com.ua
7	ТОВ «Біообладсервіс»			•		•	•			•		http://biofuel.in.ua
8	ТОВ «Торговий Дім «Уніпром»			•		•	•				•	http://freetorg.com.ua
9	ТОВ «ICK Group»	•		•	•	•	•	•	•		•	http://ick.ua
10	ЧП «Борисенко»			•		•	•			•		http://ukrstankodrev.com.ua
11	Albach, Німеччина	•			•						•	http://albach-maschinenbau.de
12	ASKET, Польща			•		•	•			•		http://ru.asket.pl
13	BRUKS KLÖCKNER GMbH, Німеччина	•			•	•	•	•	•	•	•	http://bruks.com
14	DECM, Німеччина-Корея	•				•	•	•	•		•	http://biofuel.in.ua
15	Doppstadt, Німеччина	•			•						•	http://doppstadt.de
16	EUROBIOMASS Poland, Польща			•		•	•				•	http://eurobiomass.info
17	Farmi Forest Corporation, Фінляндія	•			•		•	•	•	•		http://farmiforest.fi
18	GreenMech, Великобританія	•			•	•	•			•		http://greenmech.co.uk
19	JENZ, Німеччина	•			•					•	•	http://jenz.de
20	Junkkari, Фінляндія	•			•		•	•	•		•	http://junkkari.fi
21	Heizomat GmbH, Німеччина	•			•						•	http://heizomat.de
22	Kara Energy Systems, Нідерланди	•				•					•	http://kara-greenenergy.com
23	Kompania Leśna, Польща	•			•	•	•				•	http://kompanialesna.pl
24	Laski, Чехія	•	•		•		•			•		http://rus.laski.cz
25	Midlands Wood Fuel Ltd, Великобританія	•			•				•		•	http://wood-fuel.co.uk
26	Morbark, США	•	•		•			•	•		•	http://morbark.com
27	Muetek Systemtechnik, Німеччина	•				•	•				•	http://hartmut-mueller-gmbh.de
28	ООО «БелСельХозСнаб», Білорусь			•	•	•	•			•		http://belselhozsnab.ru
29	REKA, Данія			•		•	•				•	http://www.reka.com
30	ROTO GRIND, США			•	•		•				•	http://stankeecompany.com
31	Schliesing, Німеччина	•			•						•	http://schliesing.com
32	Sonstige, Данія	•			•						•	http://ua.technikboerse.com
33	Teknamotor, Польща	•	•		•	•				•	•	http://teknamotor.com.ua
34	Timberwolf	•			•					•	•	http://timberwolf-uk.com
35	ttCEC, Білорусь			•		•	•				•	http://ttcec.by
36	TS industrie, Німеччина	•			•		•	•			•	http://ts-industrie.eu
37	URBAN, Чехія	•				•	•				•	http://ru.stepkovac.com
38	Vermeer, США	•	•		•						•	http://www2.vermeer.com/vermeer
39	WEIMA, Німеччина	•	•			•					•	http://weima.com
40	Woodsman, США	•					•	•			•	http://henryequipment.com

Додаток В. Перелік виробників систем паливоподачі

№	Назва виробника/ Торгівельна марка	Система подачі палива				Продуктивність, м³/год			Посилання
		Механічні склади	Скребковий транспортер	Шнековий транспортер	Стрічковий транспортер	<25	25-50	>50	
Виробники в Україні									
1	Артемівський машинобудівний завод «Проммаш»		•	•	•				http://amz-prommash.com
2	«Інка»	•	•	•		•	•		http://.minites.inka.ua
3	ПП «Альтеп-Центр»			•		•			http://altep.ua
4	ПП «Конвеєр-БЦ»		•	•	•	•			http://konveer.ltd.ua
5	ПП «Ретра-ЗМ»		•	•		•			http://retra.zakupka.com
6	ТОВ "АКВІТЕНС"				•				http://akvitens.com.ua
7	ТОВ «Волинь-Кальвіс»			•		•			http://volyn-kalvis.com.ua
8	ТОВ "ІТЕК "Енергодизайн"	•		•					http://energo.design
9	ТОВ «Крігеркотлосервіс»	•	•	•					http://kriger.com.ua
10	ТОВ «Коростенський завод теплотехнічного обладнання»			•		•			http://tdkzto.com.ua
11	ТОВ «Сучасні і ефективні технології»			•		•			http://cet.ua
12	ТОВ «ТД»Югэлеватор»	•	•		•	•	•	•	http://td-ugelevator.com
13	ТОВ «Укртехносервіс»	•	•	•					http://ukrtehnoservis.com
14	ЧП «Шнек»		•	•	•				http://shneck.com.ua
Зарубіжні виробники									
1	AG-Projekt, Польща	•	•	•	•	•	•	•	http://agprojekt.pl
2	Atmos, Чехія			•		•			http://atmos.eu
3	Axis Industries, Литва	•		•					http://axis.lt
4	Biomass Systems Supply, США	•		•					http://biomasssystemssupply.com
5	ВАТ «Гомельський завод комунальник», Білорусь	•		•					http://gzk.by
6	ENERSTENA								http://enerstena.lt/ua
7	EUROBIOMASS Poland, Польща	•	•	•					http://eurobiomass.info
8	Froling, Австрія	•		•					http://froeling.com
9	Herz Energietechnik GmbH, Австрія	•		•		•	•	•	http://herz-energie.at
10	Kalvis, Латвія			•		•			http://kalvis.lt http://kalvis.org.ua
11	Kara Energy Systems, Нідерланди	•		•					http://kara-greenenergy.com
12	KLm Energi & Mekanik AB, Швеція	•	•	•					http://klmenergi.se
13	Компания "Timbermatic Oy", Фінляндія	•	•						http://timbermatic.ru
14	Концерн Ferroli S.p.A., Італія			•					http://ferroli.ua
15	LIN-KA ENERGY A/S, Данія	•						•	http://linka.dk
16	Nest Group, Литва	•	•	•	•				http://nest-group.eu
17	REKA, Данія	•	•	•		•			http://reka.com
18	Saxlund International Ltd, Великобританія	•	•	•	•	•	•	•	http://saxlund.co.uk
19	UNICONFORT, Італія	•	•	•					http://uniconfort.com
20	WAMGROUP, Італія		•	•	•			•	http://wamgroup.com.ua
21	Wiessmann, Німеччина	•		•					http://viessmann.ua

Додаток Г. Перелік виробників газоочисного обладнання

№	Назва виробника/ Торгівельна марка	Тип газоочисного обладнання					Посилання
		Циклони	Скрубери	Рукавні фільтри	Електро-фільтри	Керамічні фільтри	
1	ТОВ «Енергомашекологія», Україна	•		•	•		http://www.em-eco.net.ua
2	ДЕМЗ-Инжиниринг, Україна			•			http://demz.org
3	Завод газоочисного обладнання, Україна	•	•		•		http://zgo.com.ua
4	Науково-дослідний і проектний інститут АІК-ЕКО, Україна	•	•	•	•		http://www.rdiaik-eko.com
5	ТОВ НВП «Дніпроенергосталь», Україна			•	•		http://destal.net
6	ПАТ «Бердичівський машинобудівний завод «Прогрес», Україна			•	•		http://www.progress.ua
7	ООО «Институт промышленной экологии», Україна	•					http://ecologenergy.com/
8	Вентиляторный завод «Укрвентсистемы»	•					http://ukrvent.com
9	ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», Україна			•			http://energostal.kharkov.ua
10	НПП «ТЕХЭЛЕКТРОСЕРВИС», Україна			•			http://testes.com.ua/
11	ООО «Фабрика рукавных фильтров», Україна			•			http://frf.com.ua
12	ТОВ «Філкон-ДК», Україна		•	•			http://filcon.com.ua/
13	ЧАО «Сєвєродонецький ОРГХІМ», Україна	•					http://orghim.ua
14	ТОВ «ТОРГІВЕЛЬНИЙ ДІМ ХІММАШСЕРВІС», Україна	•	•				http://himmashservis.b-i.com.ua/
15	ТОВ «ІТЕК« Енергодизайн», Україна	•					http://energo.design
16	«ILD UA», Україна			•			http://ild-ua.com
17	«ECO INSTAL» «Infastaub» GmbH			•			http://ecologyomkdp.ua
18	мKonsTrack, Україна-Польща	•		•			http://konstrack.com
19	ТОВ СП «ЗВВЗ Україна» АТ «ЗВВЗ-Енвен Інжиніринг»			•	•		http://www.zvvz.com.ua
20	Hoval, Велика Британія					•	http://www.hoval.co.uk
21	Donaldson Filtration (GB) Ltd			•			http://www.2donaldson.com
22	LUEHR FILTER GmbH & Co KG, Німеччина			•			http://www.luehr-filter.de/
23	FLSmidth, Данія			•	•		http://www.flsmidth.com
24	Alstom, Франція				•		http://www.alstom.com
25	EWK Umwelttechnik GmbH, Німеччина		•	•	•		http://www.ewk.de
26	Hitachi, Сінгапур Hitachi Zosen Inova AG, Швейцарія		•	•	•		http://www.hitachi-infra.com
27	ACS (Advanced Cyclone Systems), Португалія	•					http://www.acsystems.pt

Продовження таблиці

№	Назва виробника/ Торгівельна марка	Тип газоочисного обладнання					Посилання
		Циклони	Скрубери	Рукавні фільтри	Електро-фільтри	Керамічні фільтри	
28	**Tri-Mer Corporation, США**		•			•	http://www.tri-mer.com
29	**Научно-технический центр «Бакор», Росія**		•			•	http://ntcbacor.ru
30	**ОАО «Гомельский завод «Коммунальник», Республіка Білорусь**	•					http://www.gzk.by
31	**Jernforsen, Швеція**	•	•		•		http://www.jernforsen.com
32	**Nederman, Швеція**			•			http://www.nederman.com
33	**JM Stoftteknik AB, Швеція**	•		•			www.jmstoftteknik.com
34	**CZBA, Чехія**	•		•			http://czba.com
35	**AAF International, США**	•	•	•			http://www.aafintl.com
36	**PureteQ, Данія**		•				http://www.pureteq.com
37	**Steinmüller Babcock Environment GmbH, Німеччина**		•	•	•		http://www.steinmueller-babcock.com/
38	**Götaverken Miljö AB, Швеція**	•	•	•	•		http://www.gmab.se/
39	**Keppel Seghers, Сінгапур**		•	•			http://www.keppelseghers.com
40	**ANDRITZ, Австрія**			•	•		https://www.andritz.com

Додаток Д. Коефіцієнти перерахунку та базові розрахункові формули

1. Співвідношення між різними одиницями вимірювання кількості теплоти та потужності

Одиниці вимірювання кількості теплоти

	кДж	МДж	ккал	Мкал	Гкал	кВт×год	МВт×год	кг.у.п.	т.н.е.
кДж	1	10^{-3}	0,2388	$0,239•10^{-3}$	$0,239•10^{-6}$	$0,278•10^{-3}$	$0,278•10^{-6}$	$0,341•10^{-4}$	$0,2388•10^{-7}$
МДж	10^{3}	1	238,8	0,2388	$0,239•10^{-3}$	0,2778	$0,278•10^{-3}$	$3,41•10^{-2}$	$0,2388•10^{-4}$
ккал	4,187	$4,187•10^{-3}$	1	10^{-3}	10^{-6}	$1,163•10^{-3}$	$1,163•10^{-6}$	$1,429•10^{-4}$	10^{-7}
Мкал	$4,187•10^{3}$	4,187	10^{3}	1	10^{-3}	1,163	$1,163•10^{-3}$	$1,429•10^{-1}$	10^{-4}
Гкал	$4,187•10^{6}$	$4,187•10^{3}$	10^{6}	10^{3}	1	$1,163•10^{3}$	1,163	142,9	0,1
кВт×год	$3,6•10^{3}$	3,6	$8,598•10^{2}$	0,8598	$8,598•10^{-4}$	1	10^{3}	$1,228•10^{-1}$	$8,598•10^{-5}$
МВт×год	$3,6•10^{6}$	$3,6•10^{3}$	$8,598•10^{5}$	$8,598•10^{2}$	0,8598	10^{3}	1	122,8	$8,598•10^{-2}$
кг.у.п.	29309	29,309	$7•10^{3}$	7	$7•10^{-3}$	8,141	$8,141•10^{-3}$	1	$7•10^{-4}$
т.н.е	$4,187•10^{7}$	$4,187•10^{4}$	10^{7}	10^{4}	10	$1,163•10^{4}$	11,63	$1,4286•10^{3}$	1

Одиниці вимірювання потужності

	кВт	МВт	ккал/год	Гкал/год
кВт	1	10^{-3}	$8,598*10^{2}$	$8,598•10^{-4}$
МВт	10^{3}	1	$8,598*10^{5}$	0,8598
ккал/год	$1,163•10^{-3}$	$1,163•10^{-6}$	1	10^{-6}
Гкал/год	1163	1,163	10^{6}	1

2. Характеристики палив біологічного походження:

Паливо	Характеристики	Нижча теплотворна здатність,		Насипна вага, кг/м³	Об'ємний енерговміст, Гкал/м³	Золь-ність, %	Температура плавлення золи, °С
		од. виміру	значення				
Дрова	у повітряно-сухому стані	МДж/кг	13,5	400-500	1,3-1,6	0,2-0,5	1280-1430
Тріска деревна, вільним насипом	вологість* 20%	МДж/кг	14,5	205-250	0,71-0,86	0,3-1	-//-
	вологість 40%	МДж/кг	10,2	240-300	0,58-0,73	-//-	-//-
	вологість 50%	МДж/кг	8,1	260-350	0,5-0,68	-//-	-//-
Тріска деревна, утрамбована	вологість 40%	МДж/кг	10,2	360-390	0,88-0,95	-//-	-//-
Стружка деревна без утрамбування	вологість 7-15%	МДж/кг	14-17	105-140	0,35-0,57	-//-	-//-
те ж, утрамбована	вологість 7-15%	МДж/кг	14-17	140-215	0,47-0,87	-//-	-//-
Тирса деревна велика, без утрамбування	вологість 7%	МДж/кг	17	100	0,4-0,5	-//-	-//-
	вологість 33-38%	МДж/кг	10,5-12,5	170	0,43-0,5	-//-	-//-
Тирса деревна велика, утрамбована	вологість 7%	МДж/кг	17	150	0,6-0,65	-//-	-//-
	вологість 33-38%	МДж/кг	10,5-12,5	260	0,65-0,70	-//-	-//-
Гранули, брикети	з дерева	МДж/кг	17-17,5	550-680	2,2-2,6	0,2-0,5	-//-
	з соломи	МДж/кг	15,5-16	550-600	1,85-2,2	4-6,5	750-1050
	з лушпиння соняшника	МДж/кг	18-18,5	630-650	2,4-2,8	4-6,5	
Кора деревна	у повітряно-сухому стані	МДж/кг	18,5-22,7	-	-	2-10	1440

Продовження таблиці

Паливо	Характеристики	Нижча теплотворна здатність,		Насипна вага, кг/м³	Об'ємний енерговміст, Гкал/м³	Золь-ність, %	Температура плавлення золи, °С
		од. виміру	значення				
Деревина енергетичних плантацій	верба, тополя (у повітряно-сухому стані)	МДж/кг	12,5-13,5	-	-	2	1280-1340
Солома зернових	вологість 15%, малі тюки	МДж/кг	14,4	90-135	0,31-0,46	4-6,5	750-1050
	вологість 15%, великі тюки	МДж/кг	14,4	140-180	0,48-0,62	4-6,5	-//-
Солома ріпаку	вологість 9%	МДж/кг	15,5	-	-	5,5	900-1300
Біогаз		МДж/м³	20	-	-	-	-

*Примітка: тут і далі мається на увазі відносна вологість

3. Взаємозв'язок між абсолютною та відносною вологістю палива.

Абсолютна вологість: відношення маси вологи в паливі до маси сухої речовини палива; відносна вологість – відношення маси вологи в паливі до всієї маси палива.

Співвідношення між абсолютною та відносною вологістю:

Абс., %	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Відн., %	0,0	4,8	9,1	13,0	16,7	20,0	23,1	25,9	28,6	31,0
Абс., %	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Відн., %	33,3	35,5	37,5	39,4	41,2	42,9	44,4	45,9	47,4	48,7
Абс., %	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
Відн., %	50,0	51,2	52,4	53,5	54,5	55,6	56,5	57,4	58,3	59,2
Абс., %	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
Відн., %	60,0	60,8	61,5	62,3	63,0	63,6	64,3	64,9	65,5	66,1
Абс., %	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
Відн., %	66,7	69,2	71,4	73,3	75,0	76,5	77,8	78,9	80,0	81,0

4. Перевідні коефіцієнти та співвідношення

1000 куб.м природного газу = 1,16 т у.п.=0,812 т н.е.;

1 Гкал теплової енергії = 0,143 т у.п. = 0,1 т н.е.;

1000 кВт.год. електроенергії = 0,351 т у.п. = 0,246 т н.е.;

1 т вугілля = 0,75 т у.п. = 0,525 т н.е.;

1 куб.м дров (у щільному вимірі) = 0,266 т у.п. = 0,186 т н.е.;

1 т паливного торфу = 0,29 т у.п. = 0,203 т н.е.;

1 т скрапленого газу (пропан-бутанова суміш) = 1,54 т у.п. = 1,1 т н.е.;

1 т мазуту топкового = 1,46 т у.п. = 1,02 т н.е.;

1 т бензину моторного = 1,49 т у.п. = 1,04 т н.е.;

1 т дизпалива = 1,45 т у.п.=1,02 т н.е.;

1000 куб.м природного газу = 8,11 Гкал теплової енергії = 3305 кВт.год. електроенергії = 1,55 т вугілля = 4,36 куб.м дров;

1000 кВт.год. електроенергії = 303 куб.м природного газу = 2,45 Гкал теплової енергії = 0,468 т вугілля = 1,32 куб.м дров;

1 Гкал теплової енергії = 407 кВт.год. електроенергії = 123 куб.м природного газу = 0,191 т вугілля = 0,54 куб.м дров.

5. Заміщення газу – скільки необхідно палива

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

Дрова, у повітряно-сухому стані	кг	2520
	м³	5-6,3
Тріска деревна, вологість 40%	кг	3340
	м³	11-14
Стружка деревна, вологість 7-15%	кг	2270
	м³	16-21,6
Тирса деревна, вологість 33-38%	кг	2960
	м³	17,4
Гранули з дерева	кг	1970
	м³	3-3,6
Гранули з соломи	кг	2200
	м³	4-4,4
Гранули з лушпиння соняшника	кг	1890
	м³	3-3,4
Солома зернових в тюках	кг	2360
	м³	13-26

6. Визначення економії вартості паливної складової при переході на інші види палива.

Доцільність переходу на інші види палива можна визначити простим розрахунком на основі порівняння вартості паливної складової 1 Гкал теплоти.

Паливна складова в базовому та пропонованому варіантах визначається:

$$A_1 = 4{,}19 \cdot \frac{Ц_1 \cdot 100}{Q_н^р(1) \cdot \eta_1}; \qquad A_2 = 4{,}19 \cdot \frac{Ц_2 \cdot 100}{Q_н^р(2) \cdot \eta_2}$$

де: A_1; A_2 – паливна складова вартості теплоти відповідно в базовому та новому варіантах, грн./Гкал;
$Ц_1$; $Ц_2$ – ціна палива відповідно в базовому та новому варіантах, грн./т (грн./тис.м³);
$Q_н^р$ (1); $Q_н^р$ (2) – нижча теплотворна здатність палива відповідно в базовому та новому варіантах, МДж/кг (МДж/м³);
η_1; η_2 – коефіцієнт корисної дії котла відповідно в базовому та новому варіантах, %.

Показником доцільності переходу на нове паливо є виконання рівності: $A_2 < A_1$.

Приклад: визначити доцільність переходу з природного газу на гранули з деревини за наступних умов:
Базовий варіант (паливо- природний газ): = 8500 грн./тис.м³; = 33,7МДж/тис. м³; = 92%.
Пропонований варіант (паливо-гранули): = 2000 грн./т; = 17,5 МДж/т; = 85%.
Розрахунок:

$$A_1 = 4{,}19 \cdot \frac{Ц_1 \cdot 100}{Q_н^р(1) \cdot \eta_1} = 4{,}19 \cdot \frac{8500 \cdot 100}{33{,}5 \cdot 92} = 1148{,}7 \text{ грн./Гкал};$$

$$A_2 = 4{,}19 \cdot \frac{Ц_{21} \cdot 100}{Q_н^р(2) \cdot \eta_2} = 4{,}19 \cdot \frac{2000 \cdot 100}{17{,}5 \cdot 85} = 563{,}4 \text{ грн./Гкал};$$

$$A_2 < A_1$$

Як видно з розрахунку, вартість паливної складової в пропонованому варіанті менша, отже він є доцільним принаймні щодо економії коштів на паливо.

Звичайно, такий розрахунок є лише оціночним, що показує можливість економії. Для всебічної оцінки доцільності нового варіанту необхідно порівнювати всі складові витрат на виробництво теплоти, зокрема, врахувати можливі зміни в споживанні електроенергії та потребу в робочій силі на обслуговування та ремонт обладнання, запчастини та витратні матеріали в пропонованому варіанті. Остаточний висновок можна зробити на основі техніко-економічного обґрунтування, з урахуванням капітальних витрат та економічних показників ефективності, таких як рентабельність та строк окупності.

7. Визначення кількості палива, що споживається котлом.

Годинна витрата палива в котлі визначається по формулі:

для розрахунку в Гкал/год: $B = \frac{10^6 \cdot W_1}{Q^{р}_{н1} \cdot \eta}$ або для розрахунку в МВт: $B = \frac{3{,}6 \cdot W_2}{Q^{р}_{н2} \cdot \eta}$

де: В – витрата палива, кг/год (м³/год);

W1 – теплова потужність котла, Гкал/год; W2 – теплова потужність котла, кВт;

$Q^{р}_{н1}$ – нижча теплотворна здатність палива, ккал/кг (ккал/м³),

$Q^{р}_{н2}$ – нижча теплотворна здатність палива, МДж/кг (МДж/м³);

η – коефіцієнт корисної дії котла, % . Приймається по паспортним даним котла на конкретному виді палива 0,85-0,9.

Розрахунок потреби в паливі для виробництва необхідної кількості теплової енергії визначається за формулою:

для розрахунку в Гкал/год: $\Sigma B = \frac{10^3 \cdot \Sigma Q_1}{Q^{р}_{н1} \cdot \eta}$ або для розрахунку в МВт: $\Sigma B = \frac{3{,}6 \cdot \Sigma Q_2}{Q^{р}_{н2} \cdot \eta}$

де: ΣВ – витрата палива, т (тис.м³);

ΣQ_1 – кількість теплової енергії, Гкал; ΣQ_2 – кількість теплової енергії, МВт-год;

Приклад 1: Визначити витрату палива в котлі з ручним завантаженням потужністю 200 кВт при спалюванні сухих дров з калорійністю 2700 ккал/кг та ККД котла 80%.

Розрахунок: приводимо одиниці в одну систему вимірювання: 200 кВт=0,2 МВт=0,2 МВт*0,86=0,172 Гкал/год.

Витрата палива $B = \frac{10^6 \cdot 0{,}172}{2700 \cdot 0{,}8}$ = 80 кг/год

Приклад 2: Визначити витрату палива для виробництва 18 тис. Гкал теплової енергії у випадку використання соломи з нижчою теплотою згорання 3220 ккал/кг та деревних гранул з калорійністю 17,2 МДж/кг при спалюванні в котлі з ККД 85%.

Розрахунок: приводимо одиниці в одну систему вимірювання: 18 000 Гкал=18 000*1,16=20880 МВт-год. Калорійність 3220 ккал/кг * 4,186 /1000 = 13,5 МДж/кг.

Витрата палива (солома) $\Sigma B = \frac{3{,}6 \cdot \Sigma Q_2}{Q^{р}_{н2} \cdot \eta} = \frac{3{,}6 \cdot 20880}{13{,}5 \cdot 0{,}85}$ = 6 550 т.,

витрата палива (гранули) $\Sigma B = \frac{3{,}6 \cdot \Sigma Q_2}{Q^{р}_{н2} \cdot \eta} = \frac{3{,}6 \cdot 20880}{17{,}2 \cdot 0{,}85}$ = 5 141 т.

В таблиці наведені розрахунки витрати різних видів палива (кг/год) для котлів потужністю від 100-4000 кВт та усередненому ККД 85%.

Теплова потужність		лушпиння W15%		дрова W40%		тріска W45%		гранула W8%		вугілля A19,8%		солома W15%		торф W10% A11,34%	
		15,40	3678,05	10,22	2440,89	9,16	2187,48	17,00	4059,09	21,57	5151,66	13,50	3224,27	16,63	3970,80
кВт	Гкал/год	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг
100	0,086	28		41		46		25		20		31		25	
250	0,216	69		104		116		62		49		78		64	
500	0,431	138		207		231		125		98		157		127	
800	0,690	220		332		370		199		157		251		204	
1000	0,862	275		414		462		249		196		314		255	
1250	1,078	344		518		578		312		245		392		318	
1500	1,293	413		622		694		374		295		471		382	
1800	1,552	495		746		832		449		353		565		459	
2000	1,724	550		829		925		498		393		627		509	
2500	2,155	688		1036		1156		623		491		784		637	
3000	2,586	825		1243		1387		748		589		941		764	
3500	3,017	963		1450		1618		872		687		1098		892	
4000	3,448	1100		1658		1850		997		785		1255		1019	

Додаток Е. Типові показники біомаси як палива

На даний час в Україні відсутні державні стандарти на паливну біомасу. Єдиним винятком є дрова, на які діє ГОСТ 3243-83, який встановлює вимоги щодо їх форми та розмірів. Окремі виробники інших видів паливної біомаси розробляють та реєструють технічні умови (ТУ У) на свою продукцію (паливну тріску, гранули та брикети з дерева, лушпиння соняшника, ріпакової соломи та соломи зернових культур, тощо). Підприємства, що виготовляють брикети та гранули на експорт, керуються нормами країн-імпортерів , зокрема такими як DIN 51 731 та DINplus (**Німеччина**), O-Norm M 7135 (**Австрія**), SS 18 71 20 (**Швеція**), ENplus (загальноєвропейський).

Дрова

Одиницею виміру кількості паливних дров зазвичай служить щільний кубічний метр – кількість деревини, що повністю займає 1 м^3 без пустот між полінами. Для переведення складового об'єму (що враховує проміжки між полінами) в щільний, служать коефіцієнти, що приймаються згідно ГОСТ 3243-83:

Довжина, м	Хвойні породи				Листяні породи			
	Круглі		Розколоті	Суміш круглих та розколотих	Круглі		Розколоті	Суміш круглих та розколотих
	тонкі	середні			тонкі	середні		
0,25	0,79	0,81	0,77	0,77	0,75	0,80	0,76	0,76
0,33	0,77	0,79	0,75	0,75	0,72	0,78	0,74	0,74
0,50	0,74	0,76	0,73	0,73	0,69	0,75	0,71	0,71
0,75	0,71	0,74	0,71	0,72	0,65	0,72	0,69	0,69
1,00	0,69	0,72	0,70	0,70	0,63	0,70	0,68	0,68
1,25	0,67	0,71	0,69	0,69	0,61	0,68	0,67	0,67
1,50	0,66	0,703	0,68	0,68	0,60	0,67	0,65	0,66
2,00	0,64	0,68	0,66	0,67	0,58	0,65	0,63	0,65
2,50	0,62	0,67	0,64	0,66	0,56	0,63	0,62	0,64
3,00	0,61	0,65	0,63	0,65	0,55	0,62	0,60	0,63

Для знаходження щільного об'єму складовий об'єм треба помножити на коефіцієнт з цієї таблиці, що відповідає довжині дров, їх розміру та породі деревини.

Для переведення щільного об'єму дров в їх масову кількість, треба щільний об'єм помножити на щільність того чи іншого виду деревини, в кг/м^3. Щільність деяких видів деревини (кг/м3) подано нижче:

Порода дерева	Вологість деревини, %										
	Абсолютна (відношення маси води до маси сухої речовини)										
	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	Свіж.*
	Відносна (відношення маси води до маси всієї деревини)										
	13,0	16,7	20,0	23,1	28,6	33,3	37,5	41,2	44,4	50,0	
Тополя	460	470	480	500	540	570	610	650	690	760	700
Бук	680	690	710	720	780	830	890	950	1000	1110	960
В'яз	660	680	690	710	770	820	880	930	990	1100	940
Дуб	700	720	740	760	820	870	930	990	1050	1160	990
Граб	810	830	840	860	930	990	1060	1130	1190	1330	1060
Ялина звичайна	450	460	470	490	520	560	600	640	670	750	740
Липа	500	530	540	540	580	620	660	710	750	830	760
Вільха	530	540	560	570	620	660	700	750	790	880	810
Клен	700	720	740	760	820	870	930	990	1050	1160	870
Ясен звичайний	690	710	730	740	800	860	920	930	1030	1150	960
Сосна звичайна	510	520	540	550	590	640	680	720	760	850	820
Береза	640	650	670	680	730	790	840	890	940	1050	870
Осика	500	510	530	540	580	620	660	710	750	830	760

Приклад: знайти масу 10 складових метрів колотих букових дров довжиною 1 м вологістю 20%.

Розрахунок: для розколотих дров листяних порід довжиною 1 м знаходимо коефіцієнт перерахунку в щільний кубометр: 0,68. Для букової деревини з абсолютною вологістю 20% знаходимо щільність – 710 кг/м^3. Маса 10 складових метрів дорівнює: 10*0,68*710= 4828 кг.

Нижчу теплотворну здатність дров можна розрахувати, знаючи їх вологість та нижчу теплотворну здатність абсолютно сухої деревини, за формулою:

$$Q_н^р = Q_н^с \cdot \left(1 - \frac{W^р}{100}\right) - 2{,}442 \cdot \frac{W^р}{100},$$

де: $Q_н^р$ – нижча теплотворна здатність, кДж/кг; $Q_н^с$ – нижча теплотворна здатність абсолютно сухої деревини, кДж/кг $W^р$ – робоча (відносна) вологість, %.

Нижчу теплотворну здатність (МДж/кг) абсолютно сухої деревини деяких порід наведено в таблиці:

Порода дерева:	Стовбур без кори	Кора	Стовбур з корою
Сосна звичайна	19,31	19,53	19,33
Ялина звичайна	19,05	18,8	19,02
Береза	18,65	22,6	19,17
Вільха	18,7	21,5	19,15
Осика	18,7	18,57	18,65
Верба (енергетичних плантацій)	-	-	18,4
Тополя (енергетичних плантацій)	-	-	18,5

Типові характеристики дров деяких порід дерев у повітряно-сухому стані (що зберігались на відкритому повітрі під навісом близько 1 року) наведено нижче:

Порода дерева:	Щільність дерева, кг/м^3	Насипна шільність, кг/м^3	Нижча теплотворна здатність $Q_н^р$, МДж/кг	Енерговміст насипного об'єму,	
				МДж/м^3	Гкал/м^3
Береза	680	485	13,6	6596	1,574
Ялина	490	340	13,7	4658	1,112
Сосна	550	385	13,6	5236	1,250
Вільха	570	400	13,3	5320	1,270
Осика	540	380	12,9	4902	1,170

Деревна тріска

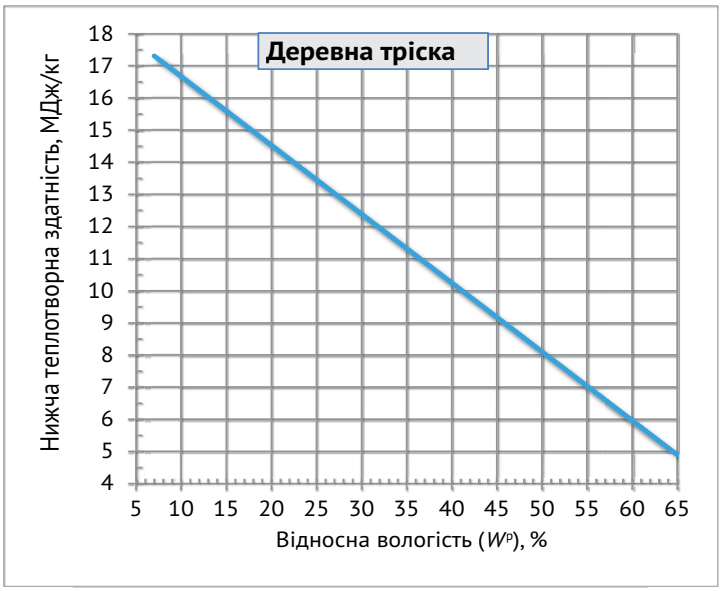
Основним чинником, що впливає на нижчу теплотворну здатність деревини, в тому числі паливної тріски, є її вологість, що може варіюватись в досить широких межах (відносна вологість від 15 до 60%).

Зольність також впливає на теплотворну здатність, але ступінь цього впливу, навіть з урахуванням можливих коливань, не такий великий. Орієнтовно нижчу теплотворну здатність тріски та відходів деревини, незалежно від породи можна визначити за формулою:

$$Q_н^р = 18900 - 214W^р - 189A^р,$$

де: $Q_н^р$ – нижча теплотворна здатність, кДж/кг; $W^р$ – робоча (відносна) вологість, %; $A^р$ – робоча зольність, %.

На рисунку показано графічну залежність нижчої теплотворної здатності деревної тріски та деревних відходів від відносної вологості при робочій зольності 0,5%.



Якість тріски залежить від її розміру, вологості та вмісту забруднюючих речовин (грунту, каміння тощо). Розміри тріски важливі з точки зору її транспортування механічними пристроями. Якщо партія тріски дуже неоднорідна, то є ймовірність їх блокування. Приміром, тріска, що містить великі шматки, може заблокувати шнековий конвеєр. Якщо в паливі міститься багато пилу і тріски менше допустимого розміру, то воно стає менш проникним для повітря. Тому основною умовою якості паливної тріски є забезпечення якнайбільш однорідного фракційного складу, недопущення попадання в неї великих кусків та обмеження кількості маленьких часток. Прикладом таких вимог може бути стандарт CEN/TS 14961:2005:

Клас якості	Розмір основної фракції (що становить більше 80% по масі)	Розмір мілкої фракції (становить менше 5% по масі)	Розмір грубої фракції (становить менше 1% по масі)
P16	3,15≤ P≤ 16 мм	< 1 мм	макс. 1% > 45 мм, але не більше 85 мм
P45	3,15≤ P≤ 45 мм	< 1 мм	макс. 1% > 63 мм
P63	3,15≤ P≤ 63 мм	< 1 мм	макс. 1% > 100 мм
P100	3,15≤ P≤ 100 мм	< 1 мм	макс. 1% > 200 мм

Згідно того ж стандарту, прийнято пять класів вологості (відносної):

Клас	Вологість (Wp,%)	Примітка
M20	≤ 20	Висушена
M30	≤ 30	Придатна до складування
M40	≤ 40	Обмежено придатна до складування
M55	≤ 55	
M65	≤ 65	

Складування тріски вологістю вище 30-40% протягом тривалого часу може призвести до мікробіологічних процесів, які в свою чергу можуть викликати пріння та навіть самозаймання тріски.

Ще одним стандартом, якого притримуються деякі українські виробники щодо розмірів тріски, є австрійський стандарт ÖNORM M7133:

Клас	Масова частка фракції відповідного розміру				Найбільші частки	
	Макс. 20% (мм)	60-100% (мм)	Макс. 20% (мм)	Макс. 4% (мм)	площа, см²	довжина, мм
G30 (мілка)	> 16	16 – 2,8	2,8 1	< 1	3	8,5
G50 (середня)	> 31,5	31,5 – 5,6	5,6 1	< 1	5	12
G100 (крупна	> 63	63 – 11,2	11,2 1	< 1	10	25

Для перерахунку об'єму дров та тріски можна користуватись коефіцієнтами, наведеними нижче:

Вид деревного палива	Об'єм деревного палива, еквівалентний за кількістю деревини					
	Суцільний масив деревини, м³	Дрова довжиною 1 м, складені	Колоті дрова, м³		Деревна тріска, насипом, м³	
			складені	насипом	класу G30	класу G50
1 м³ суцільного масиву деревини	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 м³ дров довжиною 1 м, складені	0,7	1	0,8	1,4	1,75	2,1
1 м³ дров колотих, складених в штабель	0,85	1,2	1	1,7		
1 м³ дров колотих, насипом	0,5	0,7	0,6	1		
1 м³ тріски класу G30 (мілкої), насипом	0,4*	0,55*			1	1,2
1 м³ тріски класу G50 (середньої), насипом	0,33	0,5			0,8	1

* Примітка (пояснення змісту таблиці): коефіцієнт 0,4 означає, що 1 м³ тріски класу G30 (мілкої), насипом за вмістом деревини еквівалентний 0, 4 м³ суцільного масиву деревини або 0,55 м³ дров довжиною 1 м, складених

Паливні гранули (гранули)

Основні якісні показники гранул згідно вимог найбільш розповсюджених норм наведено нижче:

Параметри	DIN 51 731	O-Norm M 7135	DIN plus	SS 18 71 20
Діаметр (d), мм	4-10	4-10		< 25
Довжина (l), мм	< 50	< 5 x d	< 5 x d	< 5 x d
Щільність, кг/дм³	> 1,0-1,4	> 1,12	> 1,12	н.о.
Вологість (відносна), %	< 12	< 10	< 10	< 10
Насипна вага, кг/м³	650	650	650	> 500
Пил, %	-	< 2,3 %	< 2,3 %	-
Зольність, %	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5
Теплота згоряння (нижча робоча), МДж/кг	17,5-19,5	> 18	> 18	> 16,9
Вміст сірки, %	< 0,08	< 0,04	< 0,04	< 0,08
Вміст азоту, %	< 0,3	< 0 ,3	< 0 ,3	-
Вміст хлору, %	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,03
Вміст арсену, мг/кг	< 0,8	-	< 0,8	-
Вміст свинцю, мг/кг	< 10	-	< 10	-
Вміст кадмію, мг/кг	< 0,5	-	< 0,5	-
Вміст хрому, мг/кг	< 8	-	< 8	-
Вміст міді, мг/кг	< 5	-	< 5	-
Вміст ртуті, мг/кг	< 0,05	-	< 0,05	-
Вміст цинку, мг/кг	< 100	-	< 100	-
Закріплювач, %	-	< 2	< 2	

Стандартом **ENplus на даний час охоплено більше половини продукції європейського ринку паливних гранул. В залежності від виду сировини, з якого зроблені гранули, встановлено три основних класи якості** (Enplus-A1; Enplus-A2; Enplus-B):

Enplus-A1	Enplus-A2	Enplus-B
➲ стовбурова деревина; ➲ відходи деревооброб-ної промисловостіті без хімічної обробки	➲ дерево цілком без кореневища; ➲ стовбурова деревина; ➲ відходи лісозаготівлі; ➲ відходи та субпродукти дере-вообробної промисловості без хімічної обробки	➲ лісова, плантаційна та інша деревина, що не була в користуванні; ➲ відходи та субпродукти деревообробної про-мисловості без хімічної обробки; ➲ хімічно необроблена деревина, що булла у використанні (деревина після зносу будівель виключається)

Основні якісні показники гранул згідно вимог стандарту **ENplus наведено нижче**:

Параметри	Enplus-A1	Enplus-A2	Enplus-B
Діаметр (d), мм	6±1 или 8±1		
Довжина (l), мм	3,15-40 (допускається не більше 5% довжиною від 40 до 45 мм)		
Насипна вага, кг/м^3	≥600		
Теплота згоряння (нижча робоча), МДж/кг	16,5-19,0	16,3-19,0	16,0-19,0
Вологість (відносна), %	≤10		
Пил, мілкі фракції, %	≤1		
Добавки	не більше 2% по сухій вазі (тип та кількість повинні бути вказані)		
Зольність, %	≤0,7	≤1,5	≤3,0
Температура плавлення золи, °C	≥1200	≥1100	
Вміст хлору, %	≤0,02	≤0,03	
Вміст сірки, %	≤0,05		
Вміст азоту, %	≤0,3	≤0,5	≤1,0
Вміст міді, мг/кг	≤10		
Вміст хрому, мг/кг	≤10		
Вміст арсену, мг/кг	≤1		
Вміст кадмію, мг/кг	≤0,5		
Вміст ртуті, мг/кг	≤0,1		
Вміст свинцю, мг/кг	≤10		
Вміст нікелю, мг/кг	≤10		
Вміст цинку, мг/кг	≤100		

Вимоги деяких європейських стандартів до паливних брикетів з деревини наведено нижче:

Параметри	DIN 51 731	O-Norm M 7135	DIN plus	SS 18 71 20
Щільність, кг/дм^3	> 1,0-1,4	> 1,12	> 1,12	н.о.
Вологість, %	< 12	< 10	< 10	< 10
Насипна вага, кг/м^3	650	650	650	> 500
Брикетний пил, %	н.о.	< 2,3 %	< 2,3 %	н.о.
Зольність, %	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5
Теплота згоряння (нижча робоча), МДж/кг	17,5-19,5	> 18	> 18	> 16,9

Солома зернових (в тюках)

Показники соломи зернових щодо теплотворної здатності наведено в таблиці.

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

Згідно стандарту CEN/TS 14961:2005 прийнято основні розміри тюків (брикетів) соломи:

Клас якості	Розміри		
	Висота	Ширина	Довжина
P1	1300	1200	2200
P2	1300	1200	2400
P3	600-900	1200	2400
P4	1300	1200	1100-2750

Згідно того ж стандарту, прийнято шість класів вологості (відносної):

Клас	Вологість (Wp, %)	Примітка
M16	≤ 16 %	Ніяка частина не > 23 %
M16+	≤ 16 %	Частини > 23 % прийнятно
M23	≤ 23 %	Ніяка частина не > 30 %
M23+	≤ 23 %	Одна або більше частин > 30 %
M30	≤ 30 %	Ніяка частина не > 35 %
M30+	≤ 30 %	Одна або більше частин > 35 %

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

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

Нижче в таблиці наведено основні розміри тюків соломи, що використовуються для енергетичних та інших потреб:

Прямокутні тюки		Циліндричні тюки	
Розміри, м	Маса, кг	Діаметр та ширина (висота), м	Маса, кг
0,46 × 0,36 × 0,8	12	Ø1,1 × 1,2	140
0,45 × 0,38 × 1,2	25	Ø1,5 × 1,2	240
0,8 × 0,8 × 2,4	235	Ø1,8 × 1,5	300-500
1,2 × 1,3 × 2,4*	525		

* Примітка: в залежності від типу прес-підбирача, розміри великих прямокутних тюків можуть відрізнятись від наведених в таблиці. Так, довжина тюка може бути до 3 м.

В таблиці нижче наведено приклади елементарного складу різних видів палива та їх енергетичні характеристики

Вид палива	Елементарний склад палива							$Q^р_н$		$Q^р_в$		Qdaf	
	Wp	Sp	Hp	Op	Ap	Np	Cp	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг
Лушпиння соняшника	15	0,2	4,9	34,6	2,4	0,4	42,5	15,40	3678,1	16,88	4032,7	18,64	4452,8
Лушпиння гречки	1,12	0,14	6	44,9	1,27	0,7	45,86	16,80	4012,4	18,18	4343,1	17,21	4110,7
Дрова/Тріска	40	0	3,6	25,1	0,6	0,4	30,3	10,22	2440,9	12,04	2875,3	17,21	4109,2
Торф	50	0,1	2,6	15,2	6,3	1,1	24,7	8,12	1939,3	9,96	2379,7	18,58	4437,8
Лушпиння рису	7,8	0,1	3,9	32,2	19,5	0,3	36,2	13,31	3178,9	14,39	3436,3	18,31	4372,6
Вугілля	10	2,6	3,7	7,5	19,8	0,9	55,5	21,57	5151,7	22,66	5411,5	30,73	7338,5
Шрот ріпаку	10	0,85	6,63	35,65	4,3	0,57	42	17,25	4119,9	19,00	4537,9	20,13	4807,3
Лушпиння сої	9,3	0,2	3,8	38	3,2	0,5	45	14,80	3534,8	15,89	3795,8	16,91	4039,7
Солома	15	0,16	5	37,3	4,5	0,35	37,7	13,50	3224,3	15,01	3584,3	16,77	4005,3

$Q^р_н$ – нижча теплота згорання палива, $Q^р_в$ – вища теплота згорання палива, Q_{daf} – теплота згорання сухого беззольного палива

ПОСІБНИК
Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні

Авторський колектив:

Олійник Євген, Антоненко Вячеслав, Чаплигін Сергій, Зубенко Віталій

Редакція:
Гелетуха Георгій

Рецензенти:

Желєзна Тетяна, Крамар Володимир

Підписано до друку 05.07.2016. Формат 60×84 1/8
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура PT Sans.
Умов. друк. арк. 12,09. Обл. вид. арк. 13,00.
Тираж 500 прим. Замовлення № 050716

ТОВ «Поліграф плюс»
03062, м. Київ, вул. Туполєва, 8.
тел./факс: (044) 502-39-78 (доб.119)
e-mail: office@poligraph-plus.kiev.ua
www.poligraph-plus.kiev.ua

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
№ 5041 (серія ДК) від 26.01.2016 р.