



USAID
ВІД АМЕРИКАНСЬКОГО НАРОДУ

МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА
РЕФОРМА В УКРАЇНІ



ПОСІБНИК

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

КИЇВ • 2015



USAID
ВІД АМЕРИКАНСЬКОГО НАРОДУ

МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА
РЕФОРМА В УКРАЇНІ



ПРАКТИЧНИЙ ПОСІБНИК

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

УДК 620.925:662.767]:621.311.22](477)(083.13)
ББК 31.36(4Укр)+31.354(4Укр)
ПЗ2

Авторський колектив:

Олійник Євген, Антоненко Вячеслав, Чаплигін Сергій, Зубенко Віталій,
Желізна Тетяна, Гайдай Ольга, Крамар Володимир, Епик Олексій

Редакція:

Гелетуха Георгій

ПЗ2 **«Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні».** Практичний посібник/За ред. Г. Гелетуха. – К.: «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.

ISBN 978-966-8977-55-8.

Практичний посібник «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні» підготовлений Громадською організацією «Агентство з відновлюваної енергетики» (ABE) в рамках виконання Проекту «Сприяння заміщенню природного газу біомасою при виробництві теплової енергії», що фінансується 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)

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 з відновлюваної енергетики»:
<http://www.rea.org.ua/>

Будь-яка частина цього звіту не може бути відтворена або використана в жодний спосіб без відповідного посилання на першоджерело, Громадську організацію «Агентство з відновлюваної енергетики» і Проект «Сприяння заміщенню природного газу біомасою при виробництві теплової енергії».

Повне відтворення тексту цього звіту у будь-якій формі можливе лише з письмової згоди Проекту «Сприяння заміщенню природного газу біомасою при виробництві теплової енергії».

© Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні», 2015.

ISBN 978-966-8977-55-8

© Агентство з відновлюваної енергетики, 2015

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 . БАЗОВІ ПОНЯТТЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ	6
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	15
2.1. Який вид біомаси обрати в якості палива?	15
2.2. Логістичні схеми постачання деревної та агробіомаси	17
2.3. Договірні відносини з постачальниками біопалива	19
2.4. Організаційно-технічні рішення постачання деревної біомаси	20
2.5. Організаційно-технічні рішення по постачанню агробіомаси	26
2.6. Використання енергетичних культур	32
3 . ПРАКТИКА РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ..	36
3.1. Технічні рішення та обладнання для виробництва теплової енергії з біомаси	36
3.2. Особливості розробки ТЕО та бізнес-плану проектів виробництва теплової енергії з біомаси	42
4 . УСПІШНІ ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ	49
4.1. Виробництво теплової енергії з агробіомаси.	49
4.2. Виробництво теплової енергії з деревної біомаси	52
4.3. Виробництво теплової енергії з гранул та брикетів.	54
ДОДАТКИ	57
Додаток А. Основні виробники теплогенеруючого обладнання на твердій біомасі.	58
Виробники в Україні	58
Зарубіжні виробники	59
Додаток Б. Коефіцієнти перерахунку та базові розрахункові формули	61
Додаток В. Типові показники біомаси як палива	65

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 _{ен} , кВт _{ен}	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.	Умове 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».

Протягом останнього часу сталися значні зміни в енергетичній галузі України, включаючи сфери використання відновлюваних джерел енергії, а також індивідуального та централізованого теплопостачання. Все більшого значення набувають питання енергетичної безпеки країни, зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв, перш за все – природного газу. Крім загального зростання цін на енергоносії, зумовленого об'єктивними причинами, Урядом країни здійснюється поступове вирівнювання ціни на природний газ та скорочення її субсидування для окремих категорій споживачів.

Прийнято ряд документів, що підсилюють законодавче поле для впровадження ВДЕ, зокрема використання біомаси, а також стимулювання заміщення природного газу в теплопостачанні іншими енергоносіями.

Серед найбільш важливих документів, слід відзначити:

- ❖ Національний План дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року;
- ❖ Постанови КМУ «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів» та «Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання»;
- ❖ Розпорядженням КМУ «План коротко- та середньострокових заходів щодо скорочення обсягу споживання природного газу на період до 2017 року».

Прийняті зміни до державних стандартів що дозволяють віднесення об'єктів біоенергетики до 2-4 категорії складності замість 5-ї категорії, як було раніше.

Суттєво зросла актуальність проектів енергетичного використання біомаси та заміщення викопних палив, в першу чергу природного газу. Найбільш динамічно розвивається використання деревини у вигляді дров, відходів деревообробки, тріски та гранул, спалювання лушпиння соняшника. Поступово зростає інтерес до енергетичного використання соломи зернових та відходів і залишків кукурудзи, енергетичних культур. Ряд вітчизняних компаній вже освоїли випуск котлів на біомасі як для побутових, так і промислових споживачів.

Зростання суспільного інтересу до таких проектів має підкріплюватись актуальною інформацією, що допомагала би в процесі їх впровадження. Потенційним власникам подібних проектів часом не вистачає обізнаності в питаннях вибору обладнання, визначення необхідних паливних ресурсів, особливостей проектування та будівництва, оцінки техніко-економічної ефективності таких проектів а також пошуку необхідних джерел їх фінансування.

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 моментів стосовно їх розробки та впровадження, підвищити загальний рівень обізнаності суспільства в питаннях енергетичного використання біомаси.

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 – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним

галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів. 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, відновлювальна деревина	ДЕРЕВНІ ПАЛИВА	Тверді: необроблена деревина, тирса тріска, гранули Рідкі: чорний луг, метанол, піролізні смоли Газоподібні: продукти газифікації та піролізу
Відходи агрокультур, відходи тваринництва, відходи переробки агропродукції, енергетичні культури	АГРОПАЛИВА	Тверді: солома, стебла, лушпиння, енергетичні трави Рідкі: етанол, метанол, піролізні смоли, жом, олії Газоподібні: біогаз, продукти газифікації та піролізу
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.

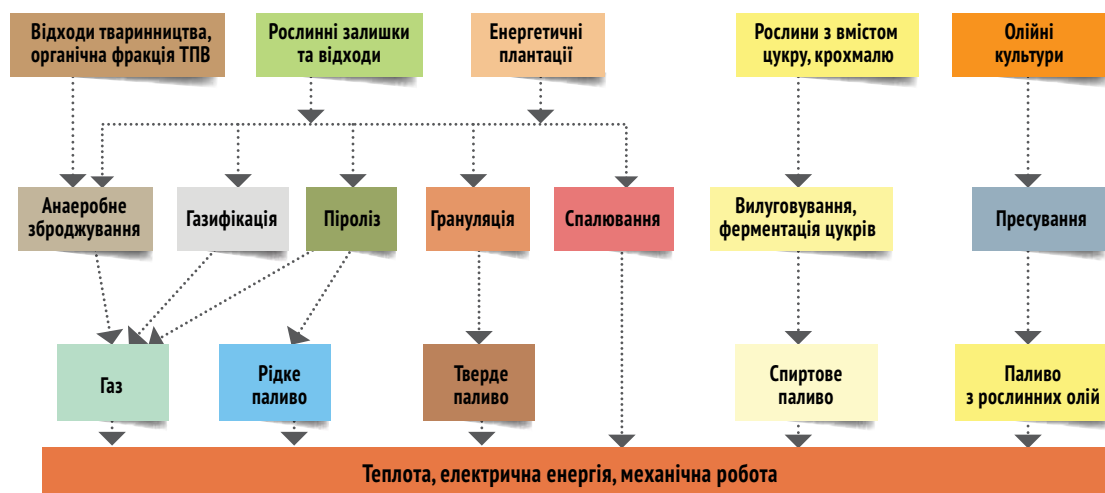


Рис. 1.2.1. Способи виробництва енергії з біомаси.

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 типів 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, вугіллем. Як правило, біомаса містить мало сірки, а її спалювання при відносно невисоких температурах не призводить до утворення окислів азоту. Крім того, завдяки включенню біомаси у природний цикл поглинання, зберігання та вивільнення CO₂, спалювання біомаси не призводить до посилення парникового ефекту та знижує негативний антропогенний вплив на оточуюче середовище;

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

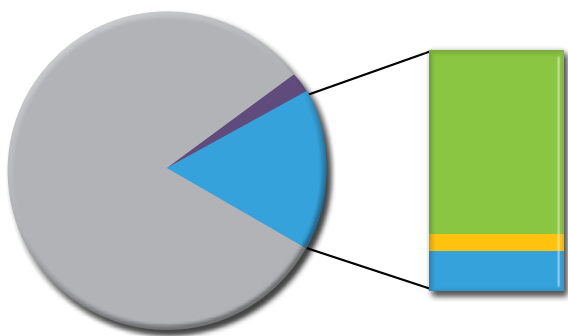


Ринок виробництва енергії з біомаси є новим сектором економічної діяльності, що створює нові робочі місця, сприяє росту регіонального валового продукту та загальному «озелененню» економіки; Використання біомаси зменшує кількість відходів та сміття у містах, а у випадку використання біогазу – призводить до утилізації небезпечних відходів з полігонів ТПВ, що сприяє очищенню засмічених територій, поверненню 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 2011 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).



1.5. Потенціал біомаси в Україні

Україна володіє достатнім потенціалом біомаси, доступної для виробництва енергії – більше 27 млн. т у.п./рік за оцінками 2013 р. (таблиця 1.5.1). Основними складовими потенціалу є первинні агро-відходи (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 12,2 млн. т у.п./рік, енергетичних

культур – 10 млн. т у.п./рік.

Наразі на енергетичні потреби в Україні використовується лише близько 10% загального потенціалу біомаси – 2,7 млн. т у.п./рік (таблиця 1.5.2). Головним чином це деревна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (загалом 86% всього річного обсягу використання біомаси), та лушпиння соняшника (8%). Найменш активно застосовуються рослинні відходи – 94 тис. т соломи на рік, що становить <1% економічного потенціалу соломи в Україні.

Таблиця 1.5.1. Енергетичний потенціал біомаси в Україні (2013 р.)

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	30,6	4,54
Солома ріпаку	4,2	0,84
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	40,2	4,39
Відходи виробництва соняшника (стебла, корзинки)	20,9	1,72
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	6,8	0,69
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	4,6	1,97
Біодизель (з ріпаку)	–	0,47
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряка)	–	0,99
Біогаз з відходів та побічної продукції АПК	1,6 млрд. м ³ метану (CH ₄)	0,97
Біогаз з полігонів ТПВ	0,6 млрд. м ³ CH ₄	0,26
Біогаз зі стічних вод (промислових та комунальних)	1,0 млрд. м ³ CH ₄	0,27
Енергетичні культури:		
- верба, тополя, міскантус	11,5	6,28
- кукурудза (біогаз)	3,3 млрд. м ³ CH ₄	3,68
Торф	–	0,40
Всього	–	27,47

Таблиця 1.5.2. Використання біомаси для виробництва енергії в Україні (2013 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	94 тис. т	48	1,8%	0,9%
Дрова (населення)	5,0 млн. м ³	1200	45,1%	>90%
Деревна біомаса (крім споживання населенням)	3,2 млн. т	1089	40,9%	
Лушпиння соняшнику	380 тис. т	208	7,8%	41%
Біоетанол	65 тис. т	60	2,3%	6,1%
Біодизель	18 тис. т	23	0,9%	4,8%
Біогаз з відходів с/г	22,3 млн. м ³	14	0,5%	4,4%
Біогаз з полігонів ТПВ	31,2 млн. м ³	21	0,8%	8,1%
Всього		2662**	100%	

* Експорт гранул/брикетів з біомаси не враховується.

** Узгоджується з даними Державної служби статистики України: 2,68 млн. т у.п. у 2013 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 ПГ, 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. м³/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.)

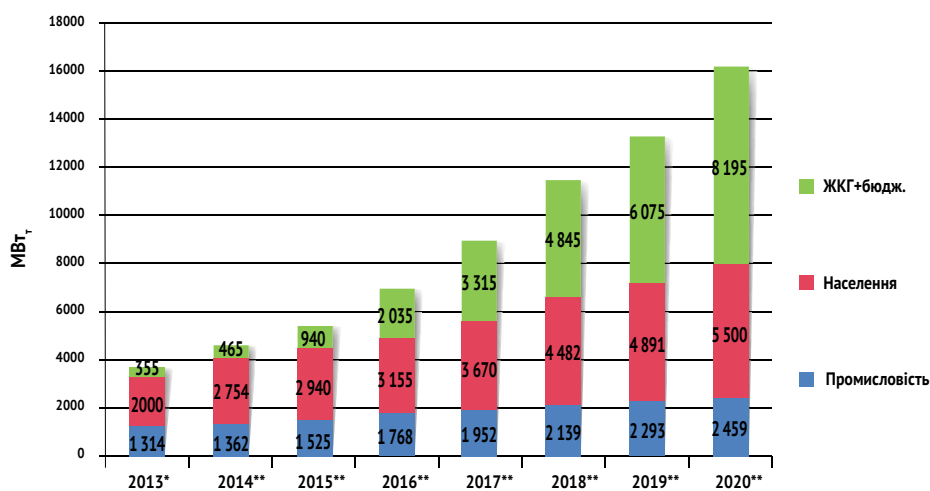
Сектор / Тип обладнання	Кількість, од.	Встановлена потужність, МВт _т (+ МВт _е)	Заміщення ПГ, млрд. м ³ /рік
Населення:			
Побутові котли на дровах та деревних гранулах 10-50 кВт _т	30000	900	0,36
Перехід населення з індивідуальних до систем помірно ЦТ: Котли на соломі/стеблах 1-10 МВт _т	1300	2600	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 МВт _т	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. м³/рік (з 0,14 млрд. м³/рік у 2013 р.). Загальне заміщення ПГ біомасою у цьому секторі у 2020 р. оцінюється у 3,32 млрд. м³/рік. На другому місці по очікуваним обсягам заміщення природного газу знаходиться населення (2,23 млрд. м³ у 2020 р.), найменший обсяг заміщення у 2020 р. прогнозується у промисловості та комерційних споживачів (1,66 млрд. м³ у 2020 р.). Динаміку відповідного росту потужності біоенергетичного обладнання по секторах та створення нових робочих місць 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 бути задіяне загалом понад 118 тис. га у 2020 р. Це складатиме лише порядку 3% вільної площі сільськогосподарських земель в Україні.

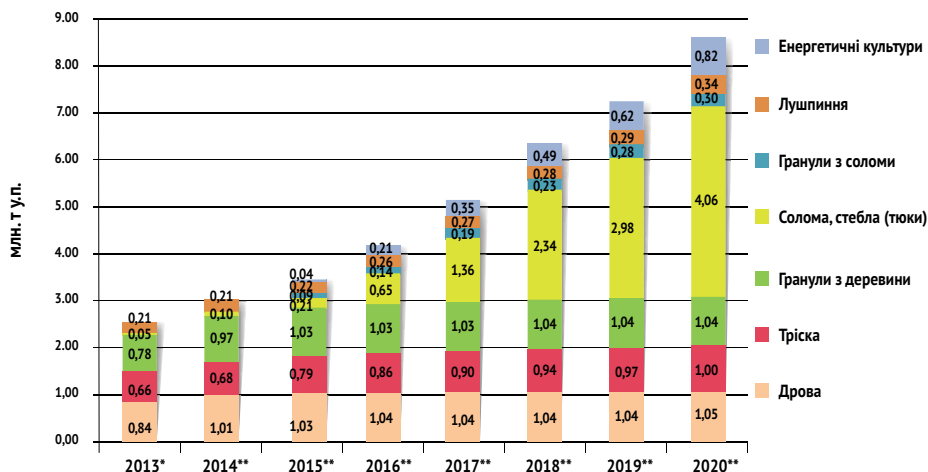
Ресурси деревної біомаси для енергетичних цілей в Україні є відносно обмеженими і вже зараз активно використовуються. З огляду на це у представленій концепції розвитку теплової біоенергетики запланований відносно невеликий ріст потужності обладнання на деревині у порівнянні з іншими видами біомаси (в 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. 1.6.1. Динаміка росту потужності біоенергетичного обладнання в Україні



* 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 коротко- та 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.
- Імплементация терміну «біомаса» у національне законодавство відповідно до Директиви 2009/28/ЄС.
- 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 проєктів по заміщенню газу.
- Внесення змін до Законів України стосовно переходу на альтернативні види палива та до стимулюючого регулювання відповідних суб'єктів господарювання.

Крім того, уведено додаткові механізми стимулювання заміщення природного газу у сфері тепlopостачання населення (Постанова КМУ № 293 від 09.07.2014) та бюджетних організацій (Постанова КМУ № 453 від 10.09.2014).

Так, **Постанова КМУ № 293**, встановлює тариф на теплову енергію «не з газу» для потреб населення на рівні тарифу на теплову енергію вироблену з газу за ринковими цінами. Різниця між встановленим за

цією постановою тарифом «на з газу» та дійсним тарифом, що сплачує населення компенсується з держбюджету з урахуванням граничного рівня рентабельності не вище 21%.

Треба зазначити, що на практиці, нажаль, цей механізм не працює через його недосконалість. Основною проблемою є те, що в Постанові мова іде про тариф на **виробництво теплової енергії**, тоді як більшість теплокомуненерго України мають затверджений **тариф на теплову енергію**, що включає в себе тарифи на виробництво, транспортування й постачання, але без структурування за цими складовими. Наразі ведеться робота з підготовки нової редакції Постанови № 293, в якій буде виправлено цей та інші недоліки.

Постанова КМУ № 453 встановлює тариф на теплову енергію «не з газу» для бюджетних установ на рівні тарифу на теплову енергію вироблену з газу за ринковими цінами. Постанова також має аналогічну проблему, що й попередня щодо визначення виду тарифу на виробництво теплової енергії, тому наразі готується нова, більш вдосконалена редакція цієї Постанови.

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 Нацпла-

ну 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, МВт _е : 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. м³/рік у секторі теплової енергії та 0,95 млрд. м³/рік у секторі електроенергії (прогножуючи, що 90% електричних потужностей на твердій біомасі буде працювати в режимі ТЕЦ). Віднімаючи від загального запланованого обсягу заміщення природного газу (7,2 млрд. м³/рік) об'єм скорочення, вже досягнутий на сьогодні за рахунок біомаси (1,93 млрд. м³/рік), отримуємо об'єм газу (5,27 млрд. м³/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 прийнята нова редакція закону про зелені тарифи № 2010-д, 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 р., були **ріст цін на газ для населення та підприємств ЖКГ** та встановлення адміністративних лімітів на споживання газу – 30% скорочення споживання для промисловості, бюджетної сфери та ЖКГ, 10% – для населення.

Незважаючи на певний прогрес у розвитку біоенергетичних технологій протягом минулого року, дотепер залишається **ряд бар'єрів** та неврегульованих питань, що потребують якнайшвидшого вирішення:

- Забезпечення доступу до теплових мереж, що знаходяться в експлуатації місцевих теплокомуненерго, які не зацікавлені в підключенні конкурентних об'єктів теплогенерації і часом чинять перешкоди у видачі технічних умов на підключення. Необхідні зміни до Закону України «Про теплопостачання», які б забезпечували гарантований доступ об'єктам альтернативної теплогенерації до теплових мереж.
- Недоліки діючих Постанов КМУ № 293 та 453 заважають їх практичній реалізації. Наразі в НКРЕКП, Мінрегіонбуді та Держенергоєфективності вже узгоджені необхідні зміни в ці постанови. Потрібно їх затвердження КМУ, що очікується в восени 2015 р.
- Більшість енергетичних культур досі не віднесені до розряду сільськогосподарських і

їх вирощування на землях сільськогосподарського призначення неможливе. Існуюча процедура включення до реєстру сільгоспкультур є тривалою. (передбачаються польові випробування протягом понад 3 років). Необхідне спрощення процедури внесення до реєстру для енергетичних культур.

- Держлісгоспи не мають достатньої техніки і мотивації для значного збільшення заготівлі деревного палива та корисній утилізації деревних відходів. Потрібно врегулювати питання заготівлі деревного палива приватними компаніями, що мають відповідну техніку та обмежити спалювання деревних відходів на лісосіках.
- Недосконалість законодавства щодо «зеленого» тарифу на електроенергію, вироблену з біомаси/біогазу.

Крім того, несприятливими для інвестування у біоенергетику були деякі урядові рішення, прийняті у 2014 році: скасування звільнення від податку на прибуток для виробників електроенергії з ВДЕ; скасування звільнення від ПДВ операцій з продажу біопалив, в тому числі дров, тріски, гранул, брикетів; тимчасова відмова від перегляду величини «зелених» тарифів на електроенергію з ВДЕ в залежності від курсу євро, введення акцизів на виробництво рідких біопалив.

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 користуван-

ня 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 стано-

вить 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; агрохолдинги; фермерські господарства, виробники пелет та брикет з біомаси; деревообробні підприємства, підприємства переробки с/г продукції, тваринницькі комплекси, підприємства харчової та обробної промисловості тощо.

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

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

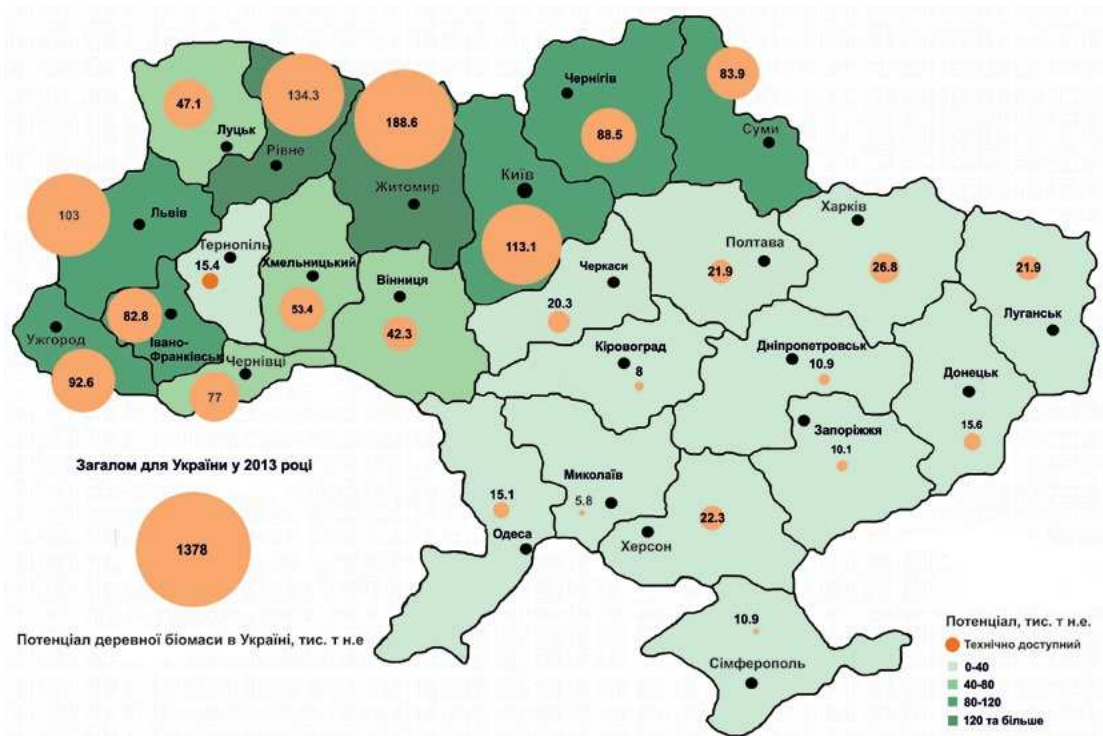


Рис. 2.1.1. Потенціал деревної біомаси в Україні, 2013.

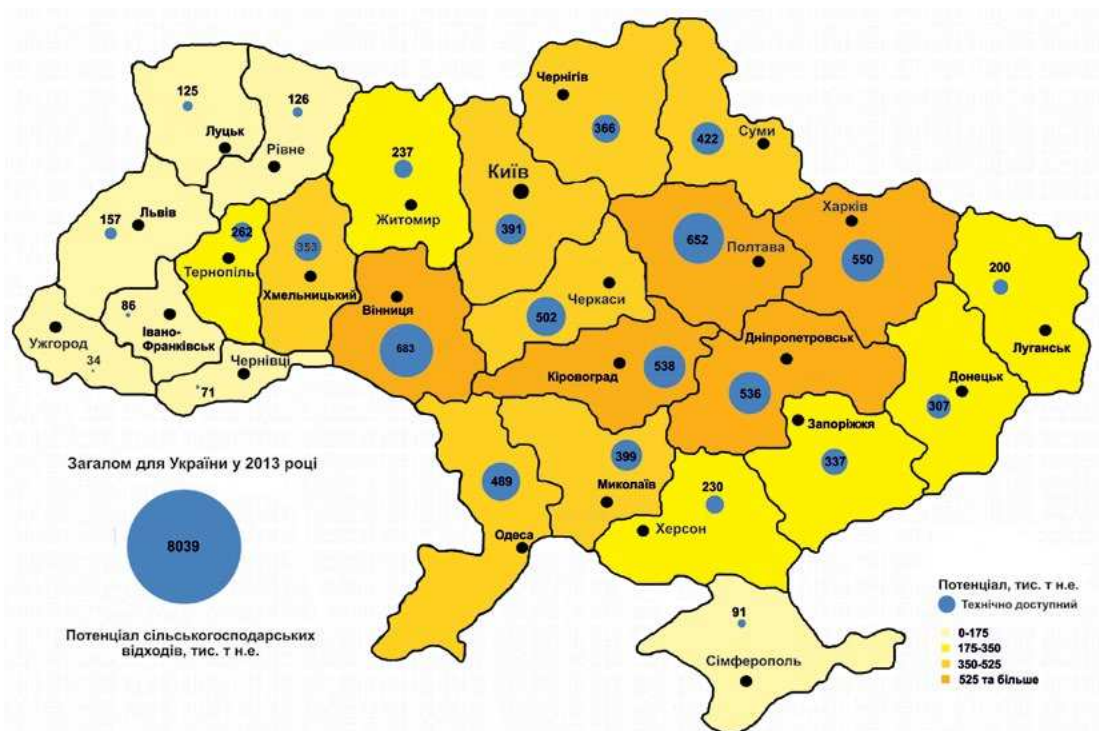


Рис. 2.1.2. Потенціал агробіомаси в Україні, 2013.

2.2. Логістичні схеми постачання деревної та агробіомаси

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

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

спортні витрати і суттєво підвищує кінцеву вартість палива.

Особливості логістики деревних відходів.

При використанні біомаси у вигляді деревної тріски з відходів ведення лісгосподарської 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 організаційно-технічні рішення представлені у розділі 2.4.

В Україні наразі не існує розвинутого ринку біомаси як палива.



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 пря-

мокутні 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 організаційно-технічні рішення представлені у розділі 2.5.

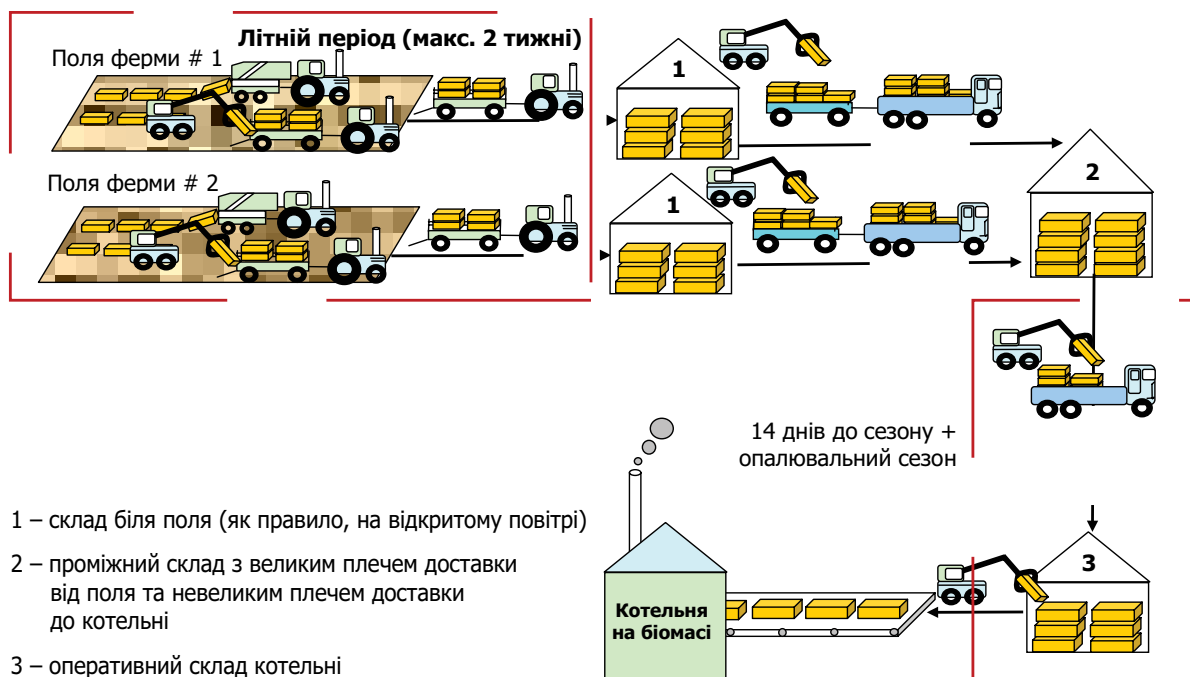


Рис. 2.2.2. Принципова логістична схема для агровідходів.

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 беггах) 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). Ре-

комендується температурний контроль в насіпах тріски для запобігання самозаймання, контроль утворення плісняви, вологості виділення CO (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.

Для кількісного контролю обсягів поставки чи споживання палива необхідно організувати ваговий чи об'ємний пропускний контрольний пункт. Для контролю калорійності та зольності, на території об'єкта генерації рекомендується розмістити контрольно-дослідну лабораторію з відповідним обладнанням для дослідження контрольних зразків різних партій постачання сировини. Основним показником контролю якості палива є вологість, що може бути визначена експрес методами. В процесі спалювання біомаси утворюється велика кількість золи, яку необхідно складувати в окремо відведеному місці та періодично вивозити (бажано – назад до лісного масиву/фермерського господарства, рівномірно розкидаючи спеціальною технікою).

При розробці організаційно-технічних рішень щодо створення інфраструктури з організації логістики біомаси значна увага має приділятися 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.

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 м³, соломата 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 різ-

них 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 лісо-січних відходів, можуть використовуватися **мобільні подрібнювачі (рис. 2.4.2)**, на одному шасі якого змонтовано маніпулятор, подрібнювач та накопичувальний бункер.

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.



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



Рис. 2.4.3. Мобільний подрібнювач на шасі вантажного автомобіля.

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 причепа та напівпричепа. Об'єми типових трісковозів: 35, 45, 55, 60, 65, 75 м³. Перевезення подрібненої деревини здійснюється в закритих або напівзакритих кон-

тейнерах, 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 причепа-самоскиди та причепа 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.

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.



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

Найчастіше для транспортування даних напівпричепів використовуються автомобілі: DAF; Mercedes; MAN; Renault; Scania; Volvo; Iveco, що відповідають сучасним вимогам надійності, без-

пеки, комфорту та економічності. Характеристики напів-причепів для перевезення тріски наведено на рис 2.4.9.

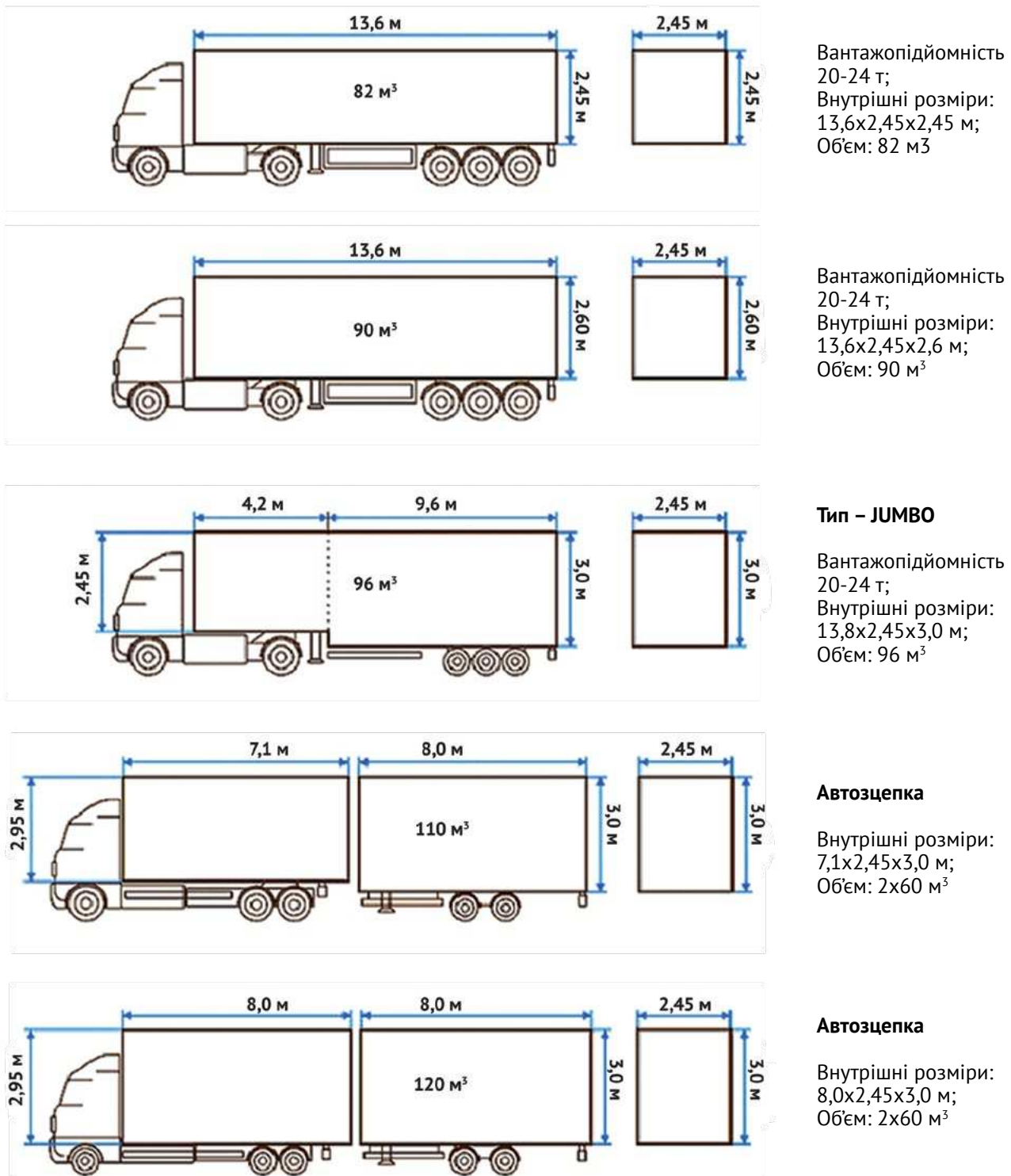


Рис. 2.4.9. Технічні характеристики причепів для перевезення тріски.

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, Linddane 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	FARMİ (Фінляндія)		Heizohack (Німеччина)		Tekna
Марка	260 HFC	380 HFC	HM-8-400	HM-10-500 K	Scorpion
Продуктивність, м³/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 BOM	750 (540)	750 (540)	540 (750)	540 (750)	540
Маніпулятор	FARMİ 4571	FARMİ 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 пали-

ва (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 паливної дрова будуть перевантажуватись безпосередньо на відкритий паливний склад або безпосередньо на робочий стіл стаціонарного подрібнювача тріски.



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

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 м³ 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. 2.4.14. Ковшові навантажувачі.

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 проєктів.

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 соломка за допомогою зернозбиральних комбайнів, косарок та граблів вкладається у валки. Частина соломи залишається у вигляді стерні на полі, потім вона приорується у ґрунт. Тюкування соломи прес-підбирачем вико-

нується 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 адміністративного судочинства).

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 збо-

ру 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-Standard	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/м³ і залежить від типу сировини, щільності валків, швидкості

пресування та типу підбирача. Для спалювання найчастіше використовують великі тюки (1,2х1,3х2,4 м) вагою 400-500 кг, що робить їх транспортування, складування та зберігання економічно доцільним.



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

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. 2.5.5. 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 ходу до 12 тюків розміром $0,9 \times 1,2$ 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 причепа. Розмір завантаження складає від 6 до 18 тюків. При перевезенні на великі відстані автомобіль часто буксирує два причепа, так що розмір одного завантаження досягає 24 тюків за одну ходу. В залежності від відстані між складом і енергетичним об'єктом доставка палива також може здійснюватися 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 невеликій відстані також можна використовувати трактор зі спеціальним причепом, що здійснює самозавантаження тюків соломи. Такі причепа дозволяють перевозити до 12 великих тюків соломи. Причіп призначений для підбору, транспортування та складування прямокутних тюків довжиною до 2,5 м. Варто зазначити, що перевезення соломи таким обладнанням можливо здійснювати на проміжний склад, який буде знаходитись на території агровиробника.

Солома, призначена для спалювання, повинна **зберігатися** в умовах, що забезпечують її захист від замокання, гниття, займання. Солому можна зберігати

ти 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/м². Важливо забезпечити вільний доступ до соломи для спрощення зберігання та процесів її навантаження і розвантаження. Для операцій з великими тюками потрібен трактор з фронтальним навантажувачем. Крім того, у приміщенні має бути достатньо вільного місця для маневрів розвантажувача/навантажувача. Необхідний контроль вологості та протипожежної безпеки.



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 короточасного зберігання. При зберіганні на відкритому повітрі існує ризик підвищення вологості соломи (особливо її верхнього шару) до рівня, що перевищує допустимий для спалювання в енерге-

тичних установках (17-20%). Також соломі можна зберігати під плівковим покриттям (рис. 2.5.12), але це не рекомендується за умов вітряного клімату. Як альтернатива, соломі можна загорнути у плівку, що розтягується і є вітростійкою (рис. 2.5.13).



Рис. 2.5.12. Зберігання тюкової соломи на відкритому повітрі під захисною плівкою.



Рис. 2.5.13. Зберігання тюкової 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 насінневі 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.

Сировинна база соняшникового лушпиння формується на олійноекстракційних заводах чи оліє-жирових комбінатах. Лушпиння соняшника в якості палива

вже зараз дуже активно застосовується в Україні – спалюється в котлах, розташованих на підприємствах масложирової галузі, крім того, з нього виробляються гранули/брикети. На сьогоднішній день об'єми використання лушпиння в Україні оцінюються приблизно у 500 000 т/рік (заміщуючи при цьому понад 200 млн. м³/рік природного газу).

На сьогоднішній день об'єми використання лушпиння в Україні оцінюються приблизно у 500 000 т/рік (заміщуючи при цьому 200 млн. м³/рік природного газу) замінити на «заміщення при цьому становить 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 прутіподібне);
- ❖ характеристики й, відповідно, отримуваний кінцевий продукт – олійні (ріпак/соняшник на біодизель), крохмале- та цукровмісні (цукровий буряк/кукурудза на біоетанол), лігноцелюлозні (верба/тополя для безпосеред-

нього виробництва теплової та електричної енергії, виробництва твердих біопалив або отримання рідких біопалив 2-го покоління);

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

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

Таблиця 2.6.1. Характеристики енергокультур по відношенню до умов вирощування.

Енергокультура	Температура, °С			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
Евкالیпт	-	5	35	висока	низька	висока
Багаторічні трав'янисті культури						
Двукісточник тростиноподібний	>7	7	30	висока	висока	низька
Просо прутіподібне	>15	10	35	середня	висока	середня/ висока
Міскантус	>8	10	40	середня/висока	середня	низька

Вирощування всіх енергетичних культур можна умовно розбити на 3 етапи: 1) підготовка ґрунту; 2) безпосередньо вирощування (посадка, догляд за плантацією); 3) збір врожаю (заключною операцією є ліквідація плантації після закінчення строку її існування). В залежності від виду енергетичної культури процес вирощування має свої характерні

особливості. Так, наприклад, міскантус висаджується кореневищами, тополя і верба – саджанцями, ріпак, соняшник, льон – насінням.

Розглянемо особливості вирощування на прикладі кількох енергетичних культур, найбільш придатних для умов України – верби, тополі та міскантусу¹.

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

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

Насадження верби залишаються продуктивними 20-30 років, а врожай протягом цього пе-

ріоду 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. 2.6.2. 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 рекультиватії) 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 закрийють 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 рекультиватію.

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

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

Існують різні види тополі, серед яких для умов України фахівці рекомендують тополь 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 м³/га на рік, а при високій зволоженості і трофності² ґрунту цей показник може вирости майже до 37 м³/га на рік.

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

Міскантус висаджують навесні в березні-квітні. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений – очищений від бур'янів і зораний для усунення ущільнень. В Європі використовується два методи розведення міскантуса – 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 міскантуса 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.

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

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 другий 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 вітчизняним 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 становитиме 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.

3. ПРАКТИКА РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ 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.

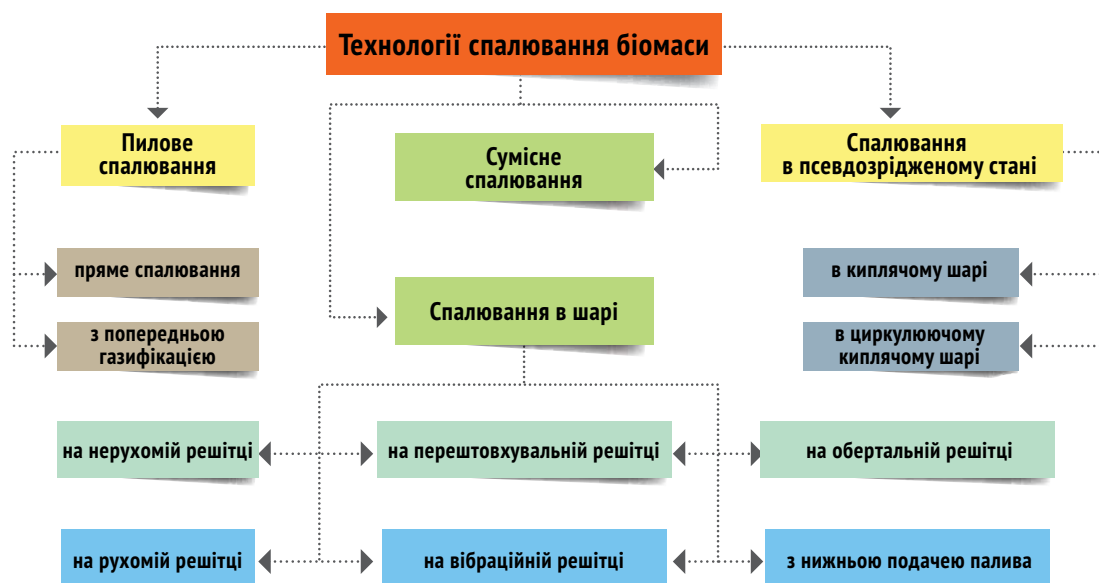


Рис. 3.1.1. Технології спалювання біомаси.

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 ор-

ганізації руху суміші та конструктивного виконання установки розділяють на спалювання в киплячому шарі та в циркулюючому киплячому шарі.

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

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 циркуляцією теплоносія (води), а також з природною або примусовою подачею повітря та відведенням димових газів. Для опалення непобутових приміщень

(склади, гаражі, промислові цехи, тощо), а також для забезпечення процесу сушки, можуть використовуватись повітряні нагрівачі на біомасі, в яких тепло від топки передається не воді, що циркулює в замкненому контурі, а повітрю, що подається вентилятором через поверхні теплообміну.

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

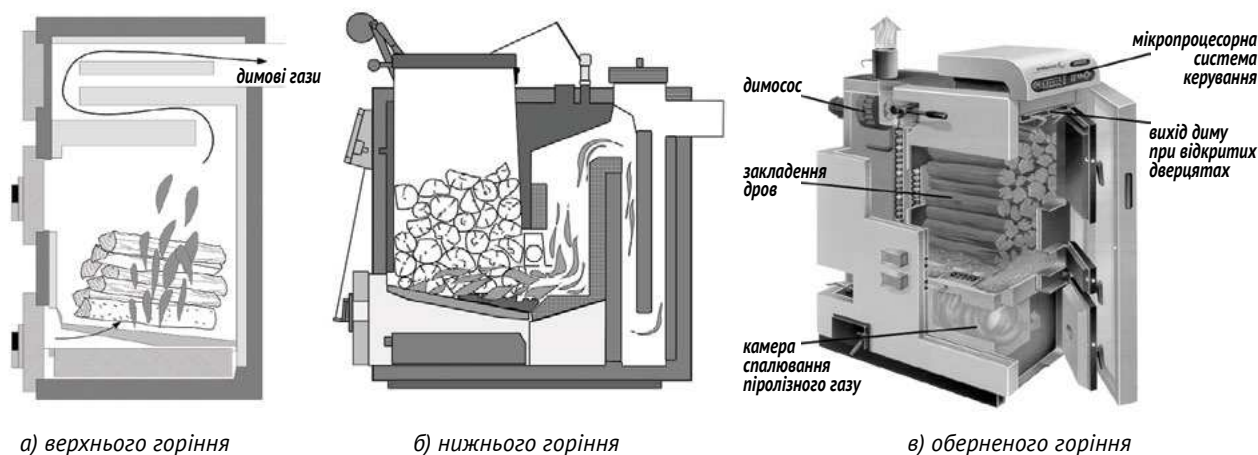


Рис. 3.1.2. Конструкції котлів на дровах.

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 проектується 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 потужності 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).

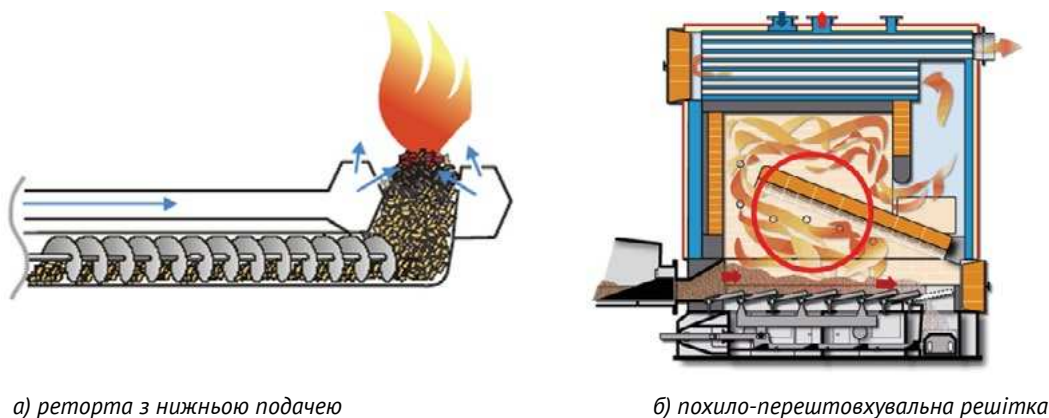


Рис. 3.1.3. Способи спалювання сипкого палива.

Солома як паливо використовується в котлах або теплогенераторах для періодичного спалювання ці-

лих 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.

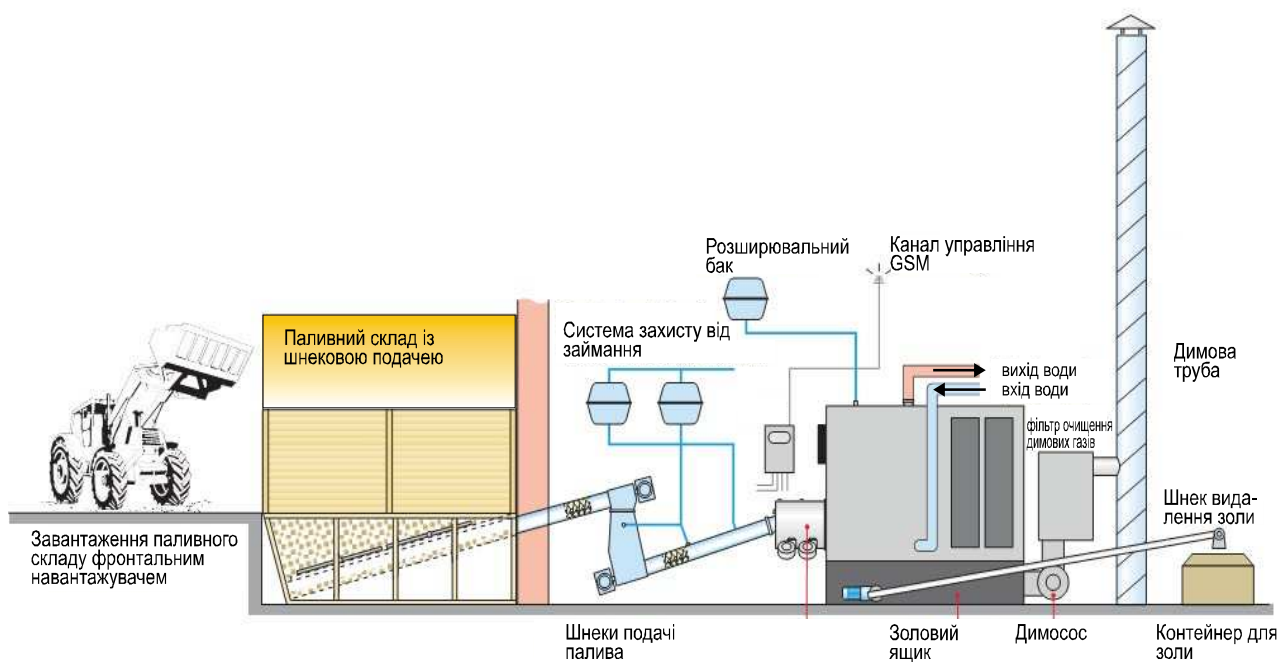


Рис. 3.1.5. Основні елементи котельні на біомасі (деревна тріска).

Котел на гранулах може бути встановлений як в існуючій котельні (Рис. 3.1.6., а), при наявності вільного місця для розміщення обладнання пали-

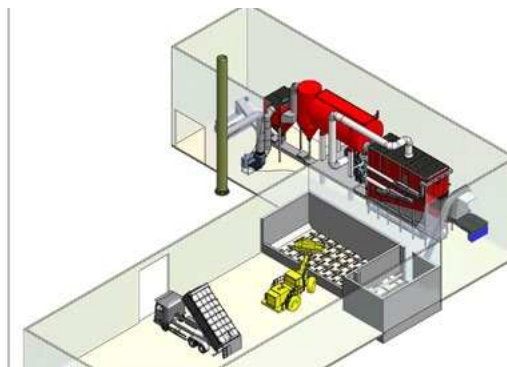
воподачі, так і у вигляді окремої модульної котельні (Рис. 3.1.6., б).

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 °C).

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

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

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



а) компонування котла та паливного складу



б) модульна котельня на гранулах

Рис. 3.1.6. Варіанти впровадження котлів на біомасі.

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 3.1.1. 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 топків, 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 працю-

вали на вугіллі успішно можуть спалювати дрова та деревну тріску при встановленні 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 передтопоків 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 передтопоків, 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 термомаєльні котли, через які циркулює теплоносії, 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.

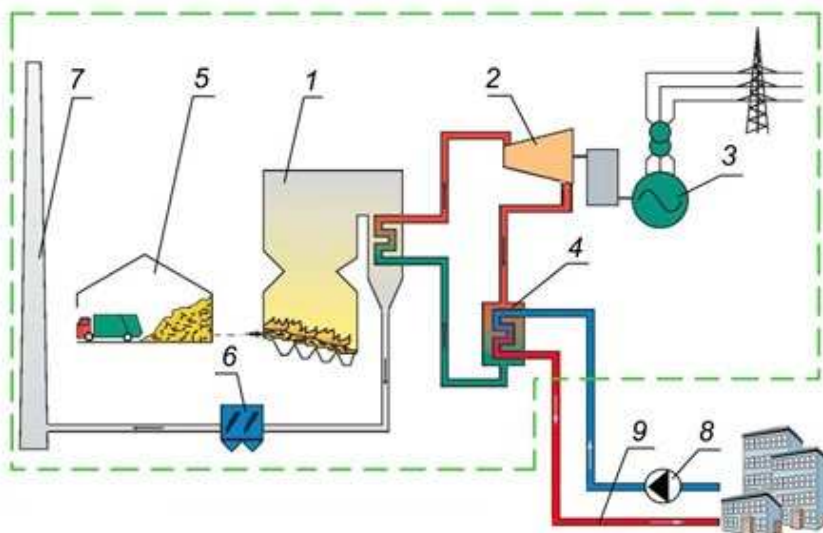


Рис. 3.1.7. Принципова схема ТЕЦ на твердій біомасі.

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 теплоносіє (теплота згорання передається органічному теплоносію, який має температуру кипіння нижчу від температури кипіння води, що подається на зовнішній випаровувач органічного теплоносія).

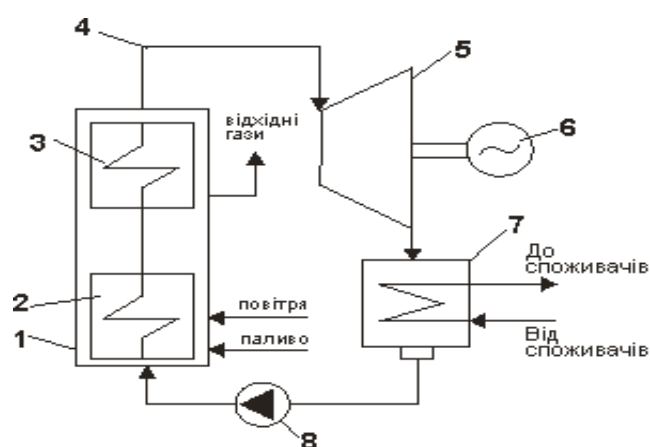
Промислові станції для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на базі прямого спалювання біомаси переважно використовують паротурбінні технології. Технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на базі традиційного циклу можуть бути реалізовані за допомогою парових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

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 3 МВт та для їх ефективної роботи необхідно низькотемпературне джерело охолодження та стабільне теплове навантаження. Таким чином найбільша ефективність при використанні ORC може бути досягнута на промислових об'єктах.

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

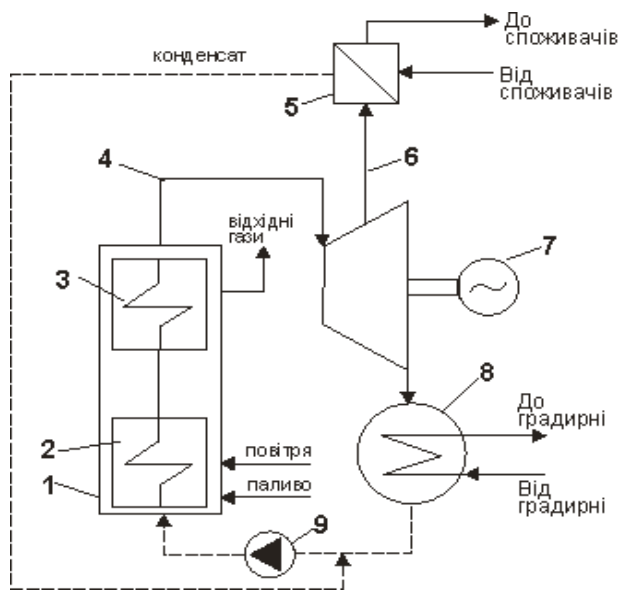
Таблиця 3.1.2. Основні характеристики базових енергоустановок

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...2000	10...12
Газосилові установки зовнішнього згорання		
Двигуни Стірлінга	0,5...100	14...20
Газотурбінні установки на гарячому повітрі	400...5000	25...30
Газосилові установки внутрішнього згорання		
Двигуни внутрішнього згорання	100...2000	27...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



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

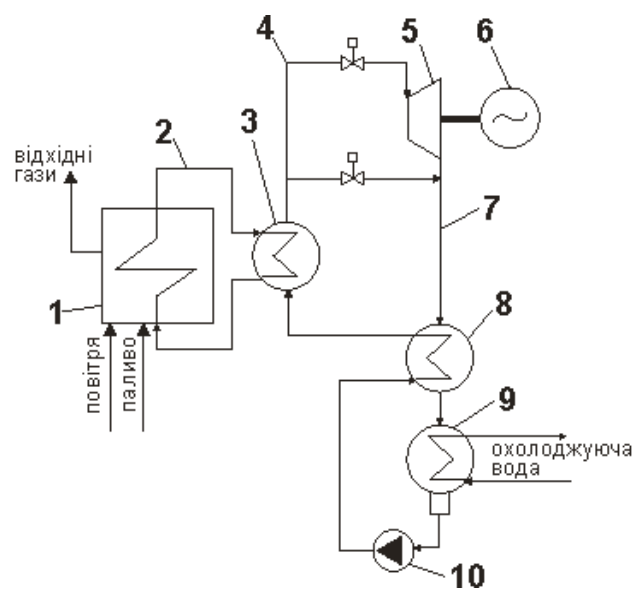
Рис. 3.1.8. Схема установки з протитисковою турбіною.



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

Рис. 3.1.9. Схема установки з конденсаційною турбіною.

Технологічні рішення та схеми забезпечення виробництва теплової та електричної енергії для роз-



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

Рис. 3.1.10. Схема установки ORC.

глянутих варіантів базуються на використанні паросилового циклу з протитисковими паровими турбінами.

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

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) є важливою частиною процесу прийняття рішення про впровадження проєкту 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).

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 проєктів, що передбачають залучення зовнішніх інвестицій. В процесі розробки ТЕО також необхідно обов'язково враховувати макроекономічні показники, такі як рівень відсоткової ставки по кредитах, облікова ставка національного фінансового регулятора, ставка дисконтування. Очевидно, чим вище ставка по кредитах (і відповідно нижче кредитний макроекономічний рейтинг), тим гірші фінансові показники проєкту. Те

ж саме справедливо і для ставки дисконтування. Для кожного конкретного проєкту існує деяке порогове значення макроекономічних показників, що взагалі унеможливує 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 проєкту 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 тепло-

постачання, утеплення будинків, встановлення ІТП, тощо), дійсні теплові навантаження можуть суттєво відрізнятися від тих, що були враховані при проектуванні існуючої котельні. Для визначення дійсного стану справ, можна скористатись аналізом помісяч-

ного відпуску тепла (або споживання ПЕР) за кілька останніх років. При можливості, слід визначити добоову нерівномірність споживання теплоти та методи її компенсації. Таке питання виникає в основному при визначенні навантаження ГВП.

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 прилеглий 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	

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 теплопо-

стачання 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 проєкту 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 проєкт, 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 пусконаладжувальних робіт, додаткового обладнання для очищення димових газів (при необхідності), а у випадку будівництва окремої котельні – вартість спорудження будівлі котельні, насосного обладнання, системи хімоводопідготовки, 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 проєктів (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, пусконаладжувальні роботи	10		
Розроблення проекту	5-7		

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

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

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 плату та соціальні виплати, амортизаційні відрахування, інвестиційні відрахування, плата за ліцензії та дозволи, оренда та сервісне обслуговування, фінансові зобов'язання та ін.

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 проєкту.

В результаті виконання ТЕО ініціатор проєкту 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 проєкту.

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 проєктів 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 проєкту, 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 проєкту на основі аналізу чутливості до зміни вихідних даних.

Результати ТЕО та бізнес-плану, крім допомоги в прийнятті рішення щодо подальшої реалізації проєкту, служать одним з джерел вихідних даних для технічного завдання на розробку проєктної 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,
<i>(згідно постанов КМУ № 293 від 9.07.2014 та № 453 від 10.09.2014, постанов НКРЕКП № 906 та № 907 від 19.12.2014)</i>	
Строк життя проєкту:	15 років
Ставка дисконтування:	20%
Умови фінансування проєкту:	
Банківський % за кредит	23%
Строк кредиту:	8 років
Відстрочення виплати тіла кредиту:	1 рік
Частка кредиту в капіталах:	80%
Капітальні витрати проєкту (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.

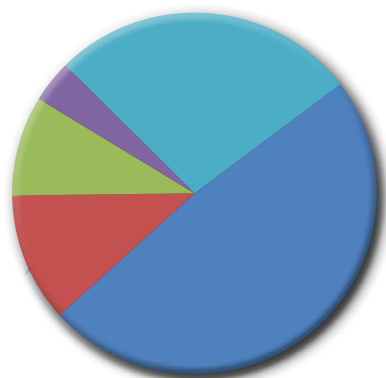
Таблиця 3.2.3. Фінансові показники проєктів впровадження котельних на БМ.

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

Продовження табл. 3.2.3

Вид палива, середня ціна	Тариф на теплову енергію, грн./Гкал без ПДВ:			
	населення, 90% середньозваженого тарифу	населення, 100% середньозваженого тарифу	бюджетні споживачі, 100% середньозва- женого тарифу	очікуваний рівень тарифу для бюджетних та інших споживачів в сезон опалення 2015/2016 р.р.
	982.91	1092,12	1097,24	1600
Обладнання виробництва країн ЄС				
Деревна тріска, 800 грн./т з ПДВ				
IRR, %	-3%	0%	1%	15%
Простий строк окупності, років	>15	14.6	14.4	6.9
Дисконтований строк окупності, років	>15	>15	>15	>15
Деревні гранули, 1800 грн./т з ПДВ				
IRR, %	8%	16%	16%	50%
Простий строк окупності, років	9.5	6.5	6.4	2.1
Дисконтований строк окупності, років	>15	>15	>15	3.0

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



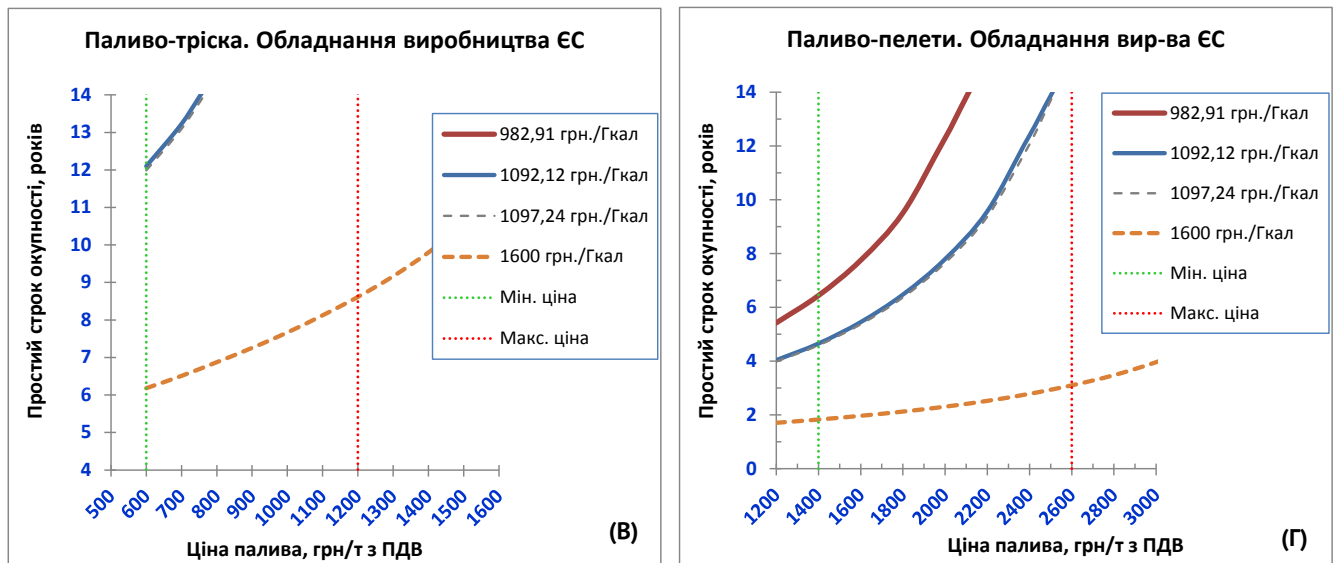


Рис. 3.2.2. (В-Г) Залежність окупності котельних від виду та ціни палива, виробників обладнання (українське чи виробництва ЄС), а також тарифу на теплову енергію.

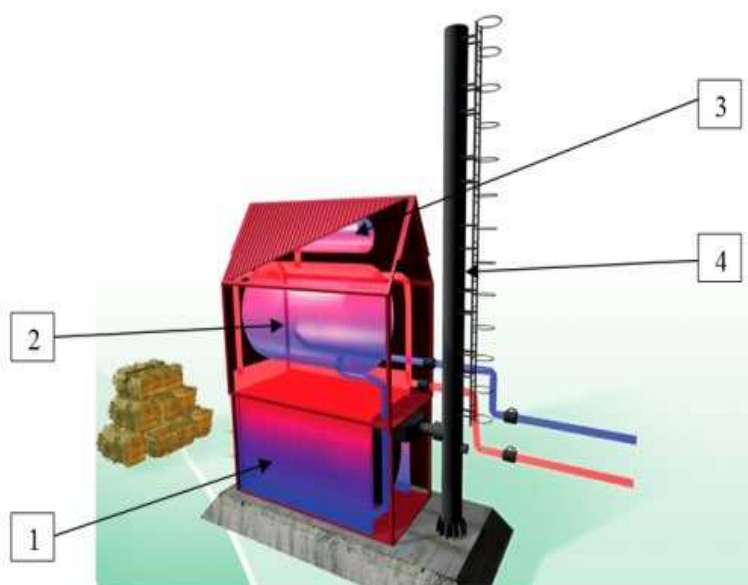
4. УСПІШНІ ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ

4.1. Виробництво теплової енергії з агробіомаси

❖ 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-аккумуляційний 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) складала $216 - 50,3 = 165,7$ 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:	Птахокомплекс «Дніпровський»
Встановлена потужність:	2x5 МВт
Виробник котла,	VESKO-S, компанії «TTS boilers» (Чехія)
Вид палива	Солома в гранулах
Рік будівництва:	2014
Вартість проекту	

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 птахо-комплексу, 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 – птахо-комплексів «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 склав 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 соломю, 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°C, 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°C, 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
Вартість проекту	

Наприкінці 2010 року у Миколаївській області було запущено один з найбільших в Україні олійно-екстракційних заводів – ТОВ «Бандурський олійно-екстракційний 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 МВтт)
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 тепло-електроцентрально 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 «Кіровоградолія» 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 «Кіровоградолія».

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.

4.2. Виробництво теплової енергії з деревної біомаси

❖ 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 м³ / 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°C. 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 тепlopостачання 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
Вартість проекту	-

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 проєкт в м. Черкаси.

Встановлено котел виробництва СООО «КОМКОНТ» (Республіка Білорусь) який виготовлено по ліцензії компанії COMPTRE-R (Франція). Котел призначений для автоматичного спалювання вологих відходів 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».

4.3. Виробництво теплової енергії з гранул та брикетів

❖ 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
Вартість проекту	-

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 котельні повністю автоматизована. Паливні котли, все обладнання та комплектуючі 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. м³ 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
Вартість проекту	-

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 ПОВПТГ «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 даного обладнання дозволило щорічно заміщати значні об'єми дорогого природного газу.



Рис. 4.12. Котельня на біомасі ПОВПТГ «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.

Котельня ТОВ «Укртепло Одеса» розташована у смт. Жеребкове, Ананівського 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 енергофактивні технології» – СЕТ, (м. Рівне). Вони розташовані у приміщенні 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.



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

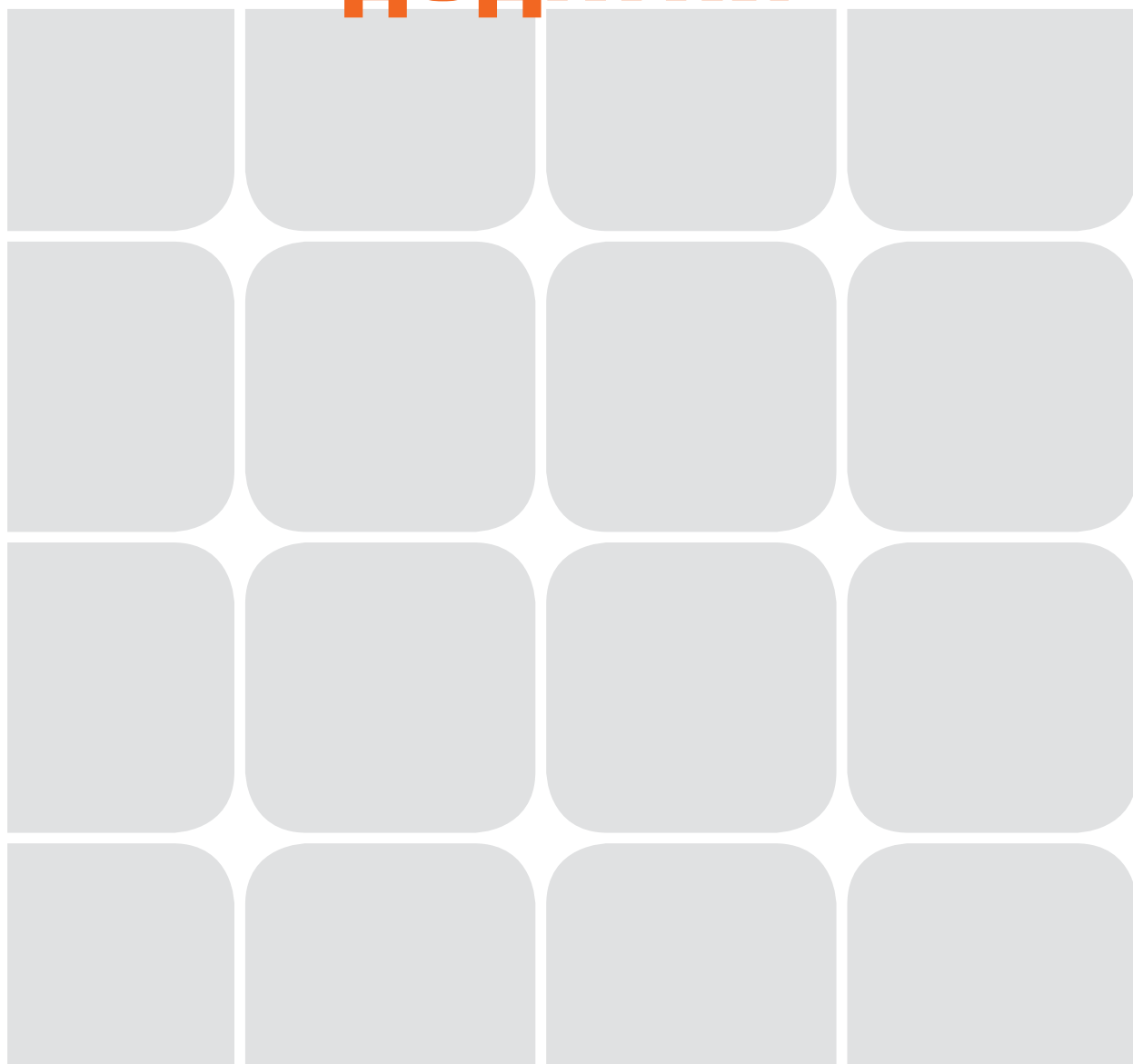
❖ Котельня загальноосвітньої школи у Київській області

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».

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.	Реш. нерух.	Реш. колосник	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
1	ТДВ «Бріг»	•		•	•		•	•	•				•				http://brig-zerno.com.ua
2	ТОВ«ЮТЕМ-ІНЖИНІРІНГ »				•		•	•	•				•				http://utem.com.ua
3	Heiztechnik	•		•	•		•	•					•	•			http://ht-heiztechnik.ua
4	ТОВ «Котлотурбо-пром»	•		•			•		•					•			http://ktp.must-ipra.com
5	ТОВ «Завод Металіст-Шабо»	•											•	•			http://metallist.odessa.ua
6	ЧАО «Агроресурс»	•	•	•			•	•		•			•	•	•		http://agroresurs.ua
7	ТДВ «БЗКУ»	•					•	•	•				•	•			http://ardenz.com.ua
8	СПКТБ «Енергомашпроект»		•			•				•				•		•	http://energomashproekt.com
9	Vaillant Group Україна, ДП			•			•		•				•				http://protherm.ua
10	ТОВ «Дозамех Україна»		•	•	•		•	•	•	•			•	•	•		http://dozamech.com.ua
11	Корпорація «Котельный завод «Колві»	•		•			•	•						•			http://kolvi.com
12	ТОВ «АТОН Group»	•	•	•			•		•					•			http://aton.ua
13	АТЗТ «МАЯК»	•		•			•		•				•				http://majak.ua
14	ЛМЗ ДП ВАТ «Мотор Січ»	•		•			•					•	•	•			http://lmz.com.ua
15	ПАО «Барський машинобудівний завод»	•		•			•		•				•				http://barmash.com.ua
16	ЗАТ «Волинь Кальвіс»	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•	•	http://kalvis.lt
17	ПП «Альтеп-центр»	•		•			•	•	•	•			•	•			http://altep.ua
18	ТОВ «Сучасні Ефективні Технології»	•		•			•	•	•	•				•			http://cet.ua
19	«ГРЕСА-ГРУП»	•		•			•	•	•	•			•	•			http://ggc.com.ua
20	ДП “Красилівський агрегатний завод”	•		•			•		•					•			http://kaz.km.ua
21	ФОП Бартошук А.Г.	•		•			•	•	•	•			•	•			http://krzaczek.com.ua
22	ТОВ «Котлозавод «Kriger»	•	•	•				•		•				•	•	•	http://kriger.com.ua
23	Banisa Energy Ukraine			•				•		•			•	•			http://banisaenergy.com
24	Компанія «БЕЗГАЗУ»	•		•			•	•	•	•			•				http://bezgaza.org
25	ТОВ «Коростенський завод теплотехнічного обладнання»	•		•		•	•	•	•		•			•	•		http://kzto.prom.ua
26	ТОВ «Триада ком»	•		•	•	•	•	•	•		•		•	•			http://kes.ucoz.ua/
27	Компанія «Ziebart»	•	•	•			•	•	•				•	•	•		http://ziebart.com.ua
28	ППФ «Ретра»	•		•	•		•	•	•		•		•	•	•		http://retra.com.ua
29	СП «Ройек-Львів»	•		•	•		•	•	•		•		•	•	•		http://rojek-lviv.com
30	ТзОВ «Металіст»	•	•				•	•	•		•			•	•		http://kotel-metalist.com.ua
31	ТОВ Денасмаш	•	•				•	•	•		•			•	•		http://denasmash.com
32	ПП Федякін, «Українські гранульні пальники»			•								•	•	•			http://pellet-burners.com.ua
33	ТОВ «НВО «ЕКОТЕХ»	•		•			•	•						•			http://nvo-ecotech.com.ua
34	ТОВ «ДЛМЗ»	•		•	•										•		http://dulmz.com

Продовження таблиці

№	Назва/Торговельна марка	Вид палива					Спосіб подачі		Технологія спалювання				Теплова одинична потужність, МВт				Контакт
		дрова	тріска	гранули	солома	лушпиння	ручне	мех.	нерух. Реш	колючник, реш	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
35	ТОВ «Енергія»			•	•			•	•		•		•	•			http://e-solar.com.ua
36	ТОВ «ПРО-ЕНЕРДЖІ»												•	•	•		http://pro-energy.com.ua
37	ЗАТ «Макагротех»	•					•					•	•				http://macagrotech.com/
38	Інститут проблем екології		•	•	•			•				•			•		http://ipee.org.ua
39	Об'єднання «Енерго-Спектр»	•	•	•		•	•	•	•					•	•		http://energy-spectrum.com.ua
40	ТОВ «Магнумс»		•	•			•		•				•	•			http://b2b-agro.com
41	ПП «Агро СМАП»	•	•				•	•	•				•				http://agro-smap.ua
42	ТОВ «Арм-Електро»	•	•				•							•	•		http://arm-elektro.com.ua
43	ТОВ «Гейзер»			•				•	•				•	•			http://geyser.ua
44	Корпорація «ІНКА»	•	•		•		•	•				•		•	•	•	http://kotel.inka.ua/
45	ТОВ «Сіона»	•	•				•					•	•				http://siona.com.ua/
46	ТОВ МПВФ «Енергетик»		•			•		•	•	•				•	•		http://energetik.com.ua/
47	Завод «КОТЕКО»	•		•			•	•	•		•	•	•	•			http://koteko.com.ua/
48	СП Стропува-Україна	•	•				•					•	•				http://stropuva.org/
49	ТОВ «Росс»	•	•				•		•			•	•				http://rosskiev.com
50	Dakon	•	•	•			•			•			•				http://dakon.in.ua/
51	Vortex	•	•		•		•		•	•			•				http://wortex.com.ua/
52	ТОВ «Альянс-Енергія»	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•		http://a-energy.net.ua/
53	Тирас	•	•	•			•	•	•		•		•				http://tiras-ab.com.ua/
54	ТОВ «СЕТ»	•		•			•	•	•		•		•				http://cet.ua
55	ТМ «ProTech»	•	•	•			•		•				•				http://protech.kh.ua
56	Данко	•		•			•		•				•				http://danko-kotel.com.ua/

Зарубіжні виробники

№	Назва/Торговельна марка	Вид палива					Спосіб подачі		Технологія спалювання				Теплова одинична потужність, МВт				Контакт
		дрова	тріска	гранули	солома	лушпиння	ручне	мех.	нерух. Реш	колючник, реш	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
1	CARBOROBOT Co. LTD		•	•			•	•		•			•	•			http://carborobot.hu
2	PROTECH Sp. z o.o.	•		•	•		•	•	•		•		•	•	•		http://protech-wkg.pl
3	ТОВ «Віссманн» (Український офіс)		•	•				•	•	•			•	•	•	•	http://viessmann.ua
4	VYNCKE S.R.O. (Чеський офіс)	•	•	•	•	•		•		•				•	•	•	http://vyncke.com/
5	Enerstena		•	•				•		•					•	•	http://enerstena.lt
6	VERNER SK s.r.o.		•	•				•		•				•	•		http://kotle-verner.cz
7	HERLT SonnenEnergie Systeme	•	•	•			•	•	•				•	•	•		http://herlt.eu
8	«EEG s.r.o.»				•		•	•		•				•			http://steptrutnov.cz
9	Polytechnik Luft- und Feuerungstech-nik GmbH		•	•			•	•		•				•	•	•	http://polytechnik.com
10	Danstoker		•		•			•		•			•	•	•	•	http://danstoker.dk/

Продовження таблиці

№	Назва/Торгівельна марка	Вид палива					Спосіб подачі		Технологія спалювання				Теплова одинична потужність, МВт				Контакт
		дрова	тріска	гранули	солома	лушпиння	ручне	мех.	нерух. Реш	колосник/реш	реторта	інше	<0,1	0,1-1	1-5	>5	
11	ЗАТ «Кальвіс»	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•		http://kalvis.lt
12	HURST Boiler@Welding Company Inc.		•	•	•	•		•		•					•	•	http://hurstboiler.com/
13	Grandeg	•		•			•	•				•	•	•			http://grandeg.lv
14	СП «КОМКОНТ», Республіка Беларусь	•	•	•			•	•	•			•	•	•	•	•	http://komkont.com/
15	TTS Boilers (Чеська Республіка)		•		•			•		•					•	•	http://atit-group.ru/ ; http://tts.cz/
16	MW Biopower Oy		•	•				•		•		•					http://mwpower.fi
17	Herz Energietechnik GmbH		•	•				•		•			•	•	•		http://herz-energie.at/
18	Granpal		•	•	•			•						•	•	•	http://granpal.pl
19	Defro	•	•	•			•	•					•	•			http://defro.org.ua
20	HOST		•	•	•			•		•					•	•	http://host-bioenergy.com
21	KARA energy system		•					•		•				•	•		http://kara-greenenergy.com
22	Buderus	•					•					•	•				http://buderus.kievgas.com.ua/
23	Ferrolі S.p.A.		•	•				•	•	•				•	•		http://ferrolі.ua/
24	Компанія «Теплодар»	•					•		•				•				http://teplodar.in.ua/
25	Eurotherm	•					•		•				•				http://tdarka.com.ua/
26	Biokaitra	•		•			•	•		•	•		•				http://biokaitra.lt
27	Multibio			•				•				•	•	•			http://horakypetrojet.cz ; http://multibio.eu
28	Heiztechnik	•	•	•			•	•	•			•	•	•	•	•	http://ht-heiztechnik.ua/
29	Sunsystem	•	•	•			•	•	•			•	•	•			http://sunsystem.bg/
30	Ermach	•					•					•	•	•			http://ankot.com.ua/ ; http://ermach.org.ua/
31	Ороп	•		•			•	•	•			•	•	•			http://opop-servis.com.ua/
32	СНТ	•		•			•		•			•	•	•			http://cht.net.ua/
33	SAS	•		•			•	•	•		•	•	•	•			http://sas-kotel.com.ua
34	Swag	•		•			•		•				•				http://swagkotli.com.ua/
35	ZGM «Zebiec» S.A	•	•	•				•	•			•	•				http://zebiec.pl/
36	ORLANSKI	•	•				•	•				•	•				http://orlanski.pl/
37	Kamen	•	•	•			•	•	•		•		•				http://kamen.com.pl/
38	Kolton	•	•	•			•	•	•		•	•	•				http://kolton.com.ua/
39	Nolting	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•		http://nolting-online.com/
40	Gilles	•	•	•			•	•	•	•		•	•	•			http://gilles.at
41	Heizomat	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•			http://heizomat.de/
42	Tatano	•	•	•			•	•	•		•		•	•	•	•	http://tatano.com/
43	BAT «Мозирьсельмаш»	•					•		•				•				http://mozelasmash.by/
44	Viadrus	•		•			•	•	•			•	•				http://viadrus.com.ua/
45	Protherm	•					•		•				•				http://protherm.ua/

Додаток Б. 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/м ³	Об'ємний енерговміст, Гкал/м ³	Зольність, %	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/м ³	Об'ємний енерговміст, Гкал/м ³	Зольність, %	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/м ³	20	-	-	-	-

*Примітка: тут і далі мається на увазі відносна вологість

3. Взаємозв'язок між абсолютною та відотною 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 відотною 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:

$$A_1 = 4,19 \cdot \frac{C_1 \cdot 100}{Q_H^p(1) \cdot \eta_1}; \quad A_2 = 4,19 \cdot \frac{C_2 \cdot 100}{Q_H^p(2) \cdot \eta_2}$$

де: $A_1; A_2$ – паливна складова вартості теплоти відповідно в базовому та новому варіантах, грн./Гкал;

$C_1; C_2$ – ціна палива відповідно в базовому та новому варіантах, грн./т (грн./тис.м³);

$Q_H^p(1); Q_H^p(2)$ – нижча теплотворна здатність палива відповідно в базовому та новому варіантах, МДж/кг (МДж/м³);

$\eta_1; \eta_2$ – 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:

$$A_1 = 4,19 \cdot \frac{C_1 \cdot 100}{Q_H^p(1) \cdot \eta_1} = 4,19 \cdot \frac{8500 \cdot 100}{33,5 \cdot 92} = 1148,7 \text{ грн./Гкал};$$

$$A_2 = 4,19 \cdot \frac{C_2 \cdot 100}{Q_H^p(2) \cdot \eta_2} = 4,19 \cdot \frac{2000 \cdot 100}{17,5 \cdot 85} = 563,4 \text{ грн./Гкал};$$

$$A_2 < A_1$$

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:

$$\text{для розрахунку в Гкал/год: } B = \frac{10^6 \cdot W_1}{Q_{n1}^p \cdot \eta} \quad \text{або для розрахунку в МВт: } B = \frac{3,6 \cdot W_2}{Q_{n2}^p \cdot \eta}$$

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

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

Q_{n1}^p – нижча теплотворна здатність палива, ккал/кг (ккал/м³),

Q_{n2}^p – 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:

$$\text{для розрахунку в Гкал/год: } \Sigma B = \frac{10^3 \cdot \Sigma Q_1}{Q_{n1}^p \cdot \eta} \quad \text{або для розрахунку в МВт: } \Sigma B = \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_2}{Q_{n2}^p \cdot \eta}$$

де: ΣB – 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.

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

Приклад 2: Визначити витрату палива для виробництва 18 тис. Гкал теплової енергії у випадку використання соломи з нижчою теплою 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.

$$\text{Витрата палива (солома) } \Sigma B = \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_2}{Q_{n2}^p \cdot \eta} = \frac{3,6 \cdot 20880}{13,5 \cdot 0,85} = 6\,550 \text{ т.},$$

$$\text{витрата палива (гранули) } \Sigma B = \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_2}{Q_{n2}^p \cdot \eta} = \frac{3,6 \cdot 20880}{17,2 \cdot 0,85} = 5\,141 \text{ т.}$$

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

Теплова потужність 15,40		лушпиння W15%		дрова W40%		тріска W45%		гранула W8%		вугілля A19,8%		солома W15%		торф W10% A11,34%	
		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 В. 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 м³ 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/м³. 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/м³. 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:

$$Q_n^p = Q_n^c \cdot \left(1 - \frac{W^p}{100}\right) - 2,442 \cdot \frac{W^p}{100},$$

де: Q_n^p – нижча теплотворна здатність, кДж/кг; Q_n^c – нижча теплотворна здатність абсолютно сухої деревини, кДж/кг W^p – 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 щільність, кг/м ³	Нижча теплотворна здатність Q_n^p , 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

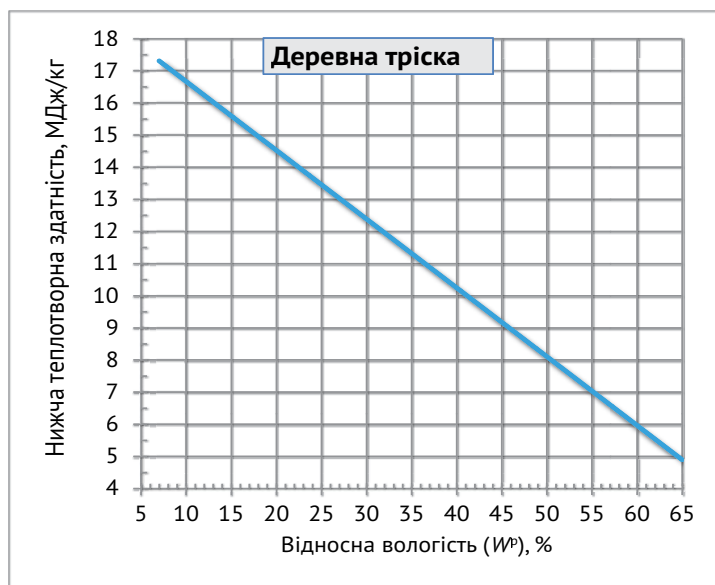
Основним чинником, що впливає на нижчу теплотворну здатність деревини, в тому числі паливної тріски, є її вологість, що може варіюватись в досить широких межах (відносна вологість від 15 до 60%).

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:

$$Q_n^p = 18900 - 214W^p - 189A^p,$$

де: Q_n^p – нижча теплотворна здатність, кДж/кг; W^p – робоча (відносна) вологість, %; A^p – 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	$3,15 \leq P \leq 16$ мм	< 1 мм	макс. 1% > 45 мм, але не більше 85 мм
P45	$3,15 \leq P \leq 45$ мм	< 1 мм	макс. 1% > 63 мм
P63	$3,15 \leq P \leq 63$ мм	< 1 мм	макс. 1% > 100 мм
P100	$3,15 \leq P \leq 100$ мм	< 1 мм	макс. 1% > 200 мм

Згідно того ж стандарту, прийнято п'ять 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, см ²	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, м ³	Дрова довжиною 1 м, складені	Колоті дрова, м ³		Деревна тріска, насипом, м ³	
			складені	насипом	класу G30	класу G50
1 м ³ суцільного масиву деревини	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 м ³ дров довжиною 1 м, складені	0,7	1	0,8	1,4	1,75	2,1
1 м ³ дров колотих, складених в штабель	0,85	1,2	1	1,7		
1 м ³ дров колотих, насипом	0,5	0,7	0,6	1		
1 м ³ тріски класу G30 (мілкої), насипом	0,4*	0,55*			1	1,2
1 м ³ 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/дм ³	> 1,0-1,4	> 1,12	> 1,12	н.о.
Вологість (відносна), %	< 12	< 10	< 10	< 10
Насипна вага, кг/м ³	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 деревообробної промисловості без хімічної обробки	➤ дерево цілком без кореневища; ➤ стовбурова деревина; ➤ відходи лісозаготівлі; ➤ відходи та субпродукти деревообробної промисловості без хімічної обробки	➤ лісова, плантаційна та інша деревина, що не була в користуванні; ➤ відходи та субпродукти деревообробної промисловості без хімічної обробки; ➤ хімічно необроблена деревина, що була у використанні (дерева 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/м³	≥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:

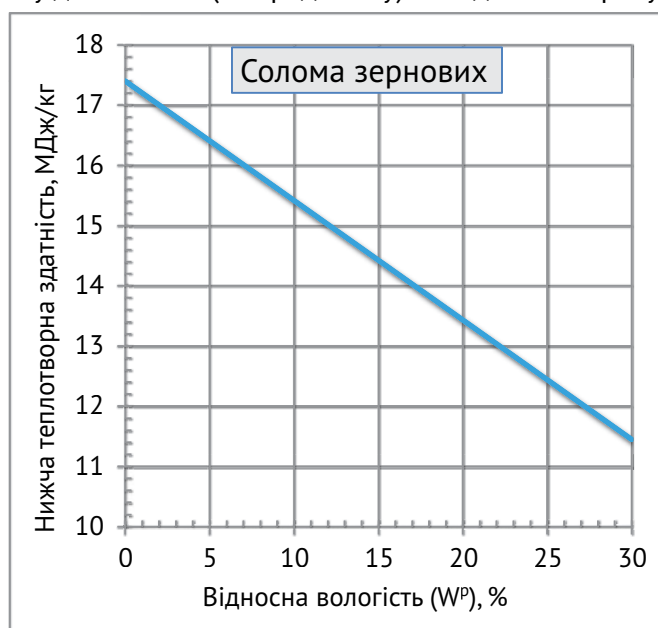
Параметри	DIN 51 731	O-Norm M 7135	DIN plus	SS 18 71 20
Щільність, кг/дм³	> 1,0-1,4	> 1,12	> 1,12	н.о.
Вологість, %	< 12	< 10	< 10	< 10
Насипна вага, кг/м³	650	650	650	> 500
Брикетний пил, %	н.о.	< 2,3 %	< 2,3 %	н.о.
Зольність, %	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5
Теплота згоряння (нижча робоча), МДж/кг	17,5-19,5	> 18	> 18	> 16,9

Солома зернових (в тюках)

Показники соломи зернових щодо теплотворної здатності наведено в таблиці.

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

Для перерахунку теплотворної здатності для інших значень вологості можна використовувати формулу, наведену для дров, підставляючи потрібне значення нижчої теплотворної здатності сухої маси для соломи. Результат розрахунку для соломи (в середньому) наведений на рисунку 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 відрізнятися 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							$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$		$Q_{\text{в}}^{\text{p}}$		Q_{daf}	
	W_{p}	S_{p}	H_{p}	O_{p}	A_{p}	N_{p}	C_{p}	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

$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – нижча теплота згорання палива, $Q_{\text{в}}^{\text{p}}$ – вища теплота згорання палива, Q_{daf} – теплота згорання сухого беззолного 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,
Желізна Тетяна, Гайдай Ольга, Крамар Володимир, Епик Олексій

Редакція:

Гелетуха Георгій

Підписано до друку 10.07.2015. Формат 60×84 1/8
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура PT Sans.
Умов. друк. арк. 8,37. Обл. вид. арк. 9,00.
Тираж 300 прим. Замовлення № 100715

ТОВ «Поліграф плюс»
03062, м. Київ, вул. Туполева, 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
№ 2148 (серія ДК) від 07.04.2005 р.

