

АНАЛІТИЧНА ЗАПИСКА

UABIO

№ 24 | 2020



Г.Г. Гелету́ха, Є.М. Олі́йник, В.О. Анто́ненко, В.О. Зу́бенко, С.В. Ра́дченко

**ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ
АГРОВІДХОДІВ.
ЩО ВАРТО ЗНАТИ ПРО
ОРГАНІЗАЦІЙНІ І ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ**

Аналітична записка № 24 Біоенергетичної асоціації України є черговою в запланованій серії публікацій з основних питань розвитку біоенергетики в Україні. У записці розглянуті питання, що стосуються особливостей організації використання рослинних відходів сільського господарства для виробництва теплової та електричної енергії. Проаналізовано світовий досвід реалізації енергетичних проєктів та наведені приклади успішних проєктів, зокрема в Україні. Розглянуті паливні характеристики агровідходів та особливості їх енергетичного використання. Основна увага приділена організаційним, технічним та екологічним питанням, а також рекомендаціям для ефективної реалізації проєктів в Україні.

Підготовлені практичні рекомендації можуть бути корисними як під час розробки політичних рішень, так і підготовки і реалізації реальних інвестиційних проєктів.

© Біоенергетична асоціація України, 2020

Жодна частина цієї публікації не має бути відтворена, розповсюджена або передана в будь-якій формі або будь-якими способами, заборонені фотокопіювання, запис чи інші електронні або механічні методи без прямого індексованого посилання на першоджерело чи письмової згоди. Письмову згоду можна отримати за контактами наведеними нижче.

Публікація доступна на: www.uabio.org/resources/analyticts

Для відгуків та коментарів: geletukha@uabio.org

Біоенергетична асоціація України

вул. Марії Капніст, 2-А, оф. 116,


м. Київ, Україна, 03057

+38 (044) 453-28-56

info@uabio.org

www.uabio.org

Терміни і визначення	4
1. Вступ і аналіз проблем	5
2. Світовий досвід використання сільськогосподарських відходів для енергетичних цілей	6
3. Енергетичний потенціал рослинних відходів сільського господарства	11
4. Характеристики сільськогосподарських відходів як палива	13
5. Технології та обладнання	15
6. Екологічні аспекти	22
7. Організація ефективного використання відходів сільського господарства для виробництва енергії	29
8. Кращі практики використання сільськогосподарських відходів для енергетичних потреб	37
Додатки	41
Додаток 1	
Класифікація твердого біопалива за походженням і джерел одержання біомаси (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014. Таблиця 1)	41
Додаток 2	
Технічні характеристики тюкованого палива з соломи, очеретяної канаркової трави і міскантусу (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014. Таблиця 10)	42
Додаток 3	
Типові значення показників, що характеризують властивості деяких видів лушпиння та мальви (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014)	43
Додаток 4	
Типові значення показників, що характеризують властивості соломи, яка не містить зерна, або містить його в незначних кількостях, свіжої очеретяної канаркової трави, міскантусу (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014)	44
Додаток 5	
Схемні рішення ТЕЦ з використанням соломи в Данії	46



**ЗМІСТ
АНАЛІТИЧНОЇ
ЗАПИСКИ**

**ТЕРМІНИ І
ВИЗНАЧЕННЯ**

Ключові терміни і визначення, що використовуються в цьому аналітичному дослідженні, наведені згідно з ДСТУ EN 14588:2013 «Біопаливо тверде. Терміни та визначення понять (EN 14588:2010, IDT)».

агропаливо (agrofuels): Біопаливо, яке отримане з сільськогосподарських культур і / або з сільськогосподарських відходів, що використовується як джерело енергії.

біопаливо (biofuel): Паливо, що отримане безпосередньо чи через проміжні ступені з біомаси.

тверде біопаливо (solid biofuel): Тверде паливо, яке вироблене прямо або побічно з біомаси.

біомаса (biomass): Матеріал біологічного походження, за винятком матеріалів, що залягають в геологічних утвореннях і перетворилися у викопні рештки.

плодова біомаса (fruit biomass): Біомаса, що отримана з частин рослин, у яких є насіння.

трав'яна біомаса (herbaceous biomass): Біомаса, що отримана з рослин, у яких не деревовидний стовбур, а стебло і які відмирають у кінці вегетаційного періоду.

трав'яне паливо (herbaceous fuels): Всі види біопалива, що отримані з трав'яної біомаси.

сільськогосподарські відходи (agricultural residues): Відходи біомаси від сільськогосподарського виробництва, лісозаготівлі і первинної обробки в сільських районах.

плодові відходи (horticultural residues): Відходи біомаси, що утворюються в процесі виробництва, збору та обробки плодів рослин у садівництві, зокрема в теплицях.

кіповане біопаливо, стос (baled biofuel, bale): Біопаливо, яке було спресовано і ущільнено для надання форми і компактності.

пачки біопалива, пачки (bundled biofuel, bundle): Зв'язка одиниць твердого біопалива з поздовжньою орієнтацією частинок матеріалу в ній.

зольність (ash content): Маса неорганічного залишку, що утворився після спалювання палива в стандартних умовах. Як правило, виражається у відсотках за масою в перерахунку на суху речовину.

плавкість золи (ash fusibility; ash melting behaviour): Властивість золи під час нагрівання в стандартних умовах поступово переходити з твердого стану в рідкий через стадії спікання, розм'якшення і плавлення.

нижча теплота згорання (net calorific value): Кількість тепла, що дорівнює вищій теплоті згорання за вирахуванням теплоти випаровування води, що виділилася під час згорання вугілля (при 0,1 МПа).

вихід летючих речовин (volatile matter): Втрата маси палива, з поправкою на вологу, при нагріванні його без доступу повітря за високої температури в стандартних умовах.

Наразі сільськогосподарські відходи та агробіопалива не набули широкого застосування в енергетиці, і їх частка в енергетичних балансах країн світу є незначною. В той же час потенціал для використання є досить великим, зокрема в аграрних країнах, таких як Україна.

Розвиток нових, ефективних технологій і доступність сучасного обладнання створює передумови для широкого використання сільськогосподарських відходів у майбутньому. Наявність обмеженої кількості власного викопного палива і національні плани з розвитку відновлюваної енергетики та скорочення викидів парникових газів вимагають залучення нових видів сировини і палива для виробництва енергії.

Обмежений потенціал для збільшення використання деревного біопалива і значно вищий потенціал сільськогосподарських відходів відкривають нові можливості розвитку як для сектору енергетики, так і для сільського господарства. Аналіз структури споживання біомаси свідчить про необхідність більш широкого використання аграрних відходів та спеціальних енергетичних культур як палива.

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ВІДХОДИ – ідеальне джерело енергії. Сировину не потрібно вирощувати окремо – це побічний продукт сільського господарства.

Окрім політичних і фінансово-економічних бар'єрів, широкому розвитку енергетичного використання сільськогосподарських відходів перешкоджає низка значних обмежень, що накладають організаційні і технологічні рішення, екологічні вимоги та відсутність широкого практичного досвіду. Наявність на ринку обмеженої кількості виробників технологічного обладнання та його висока вартість стримують перехід до використання аграрних відходів як у секторі енергетики, так і в секторі комунального теплопостачання.

Подоланню бар'єрів в організації ланцюжка «заготівля-поставка», розвитку ринку біопалива, виробництву біопалива з агровідходів та іншим питанням уже були присвячені попередні аналітичні записки БАУ¹. У цій аналітичній записці досліджено світовий досвід використання сільськогосподарських відходів і залишків, проаналізовано організаційні і технічні питання виробництва енергії. Підготовлені практичні рекомендації можуть бути корисними як під час розробки політичних рішень, так і підготовки і реалізації реальних інвестиційних проєктів.

Сповільнення економічного розвитку в світі та стрімке зниження ціни на традиційні енергоресурси безпосередньо впливають на розвиток біоенергетики і знижують інтерес до реалізації нових біоенергетичних проєктів. У той же час у короткостроковій і довгостроковій перспективі очікується як відновлення високих цін на традиційні енергоносії, так і зростання інвестицій в сектор відновлюваної енергетики, де біоенергетика продовжує займати передові позиції. Україна має власні відновлювані ресурси, національні цілі і мету, відповідно до якої енергетика має стати «зеленою».

¹<https://uabio.org/materials/uabio-analytics/>

2

**СВІТОВИЙ ДОСВІД
ВИКОРИСТАННЯ
СІЛЬСЬКО-
ГОСПОДАРСЬКИХ
ВІДХОДІВ ДЛЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ЦІЛЕЙ**

Світовий досвід енергетичного використання сільськогосподарських відходів та агробіопалива є не таким великим, у порівнянні з використанням деревного біопалива. В той же час, технології уже досягнули комерційного рівня, і певні країни успішно розвивають цей напрям багато років, але більшість країн перебувають лише на початку цього шляху, як і Україна. Цей огляд світового досвіду сприятиме більш широкому розумінню наявної практики використання агровідходів у світі та нових можливостей, що відкриваються для України.

ДАНІЯ. Данія є світовим лідером у галузі відновлюваної енергії. Історично Данія має низький рівень лісистості, що дало поштовх для швидкого розвитку використання аграрних відходів. Децентралізований підхід у вирішенні питань теплопостачання, високі податки на викопне паливо та імпортовані енергоресурси сприяли розвитку відновлюваної енергетики в Данії. Заборона відкритого спалювання соломи на полях була визначним фактором, що сприяв переорієнтації і швидкому розвитку енергетичного використання соломи.

Довгостроковим енергетичним плануванням у країні займався Данський технологічний інститут. На основі сценаріїв розвитку, прогнозів виробництва і споживання енергії і палива, ціни палива і податкової політики були визначені напрями подальшого розвитку, що базувалися на використанні місцевих відновлюваних ресурсів, зокрема агровідходів. Довгострокове планування та державна підтримка сприяли створенню інжинірингових компаній та заводів для виробництва нового спеціалізованого обладнання. Децентралізація в сфері теплопостачання сприяла створенню великої кількості енергетичних кооперативів, співвласники яких були і постачальниками палива, і споживачами теплової енергії. Кооперативи самостійно визначали рівень тарифів на теплову енергію, ціни на закупівлю палива, рівень інших витрат для здійснення операційної діяльності.

Данія є демонстраційним майданчиком, де зосереджені провідні виробники обладнання, що працює на агровідходах, а також велика кількість об'єктів з різноманітними технологічними рішеннями і параметрами, які будуть описані в наступних розділах аналітичної записки.

Близько 1,6 млн т (28%) соломи спалюються для виробництва енергії² і лише 41% залишається в полі як добриво. В Данії працює понад 10 тис. фермерських котлів на соломі (0,1-1,0 МВт) та близько 55 котелень у системі централізованого теплопостачання (0,5-12 МВт). Крім того, ТЕЦ разом із соломю використовують деревну тріску, ТПВ або викопні палива. Усі електростанції працюють у режимі когенерації з високою ефективністю, що дозволяє забезпечити низьку вартість теплової та електричної енергії.

ВЕЛИКОБРИТАНІЯ. Біоенергетика у Великобританії почала активно розвиватися в останні десятиліття, і зараз в експлуатації перебуває понад 80 електростанцій на біомасі загальною потужністю понад 4000

² Experience with straw firing in Danish combined heat and power plants

МВт. Ще близько 20 об'єктів (800 МВт) та невелика кількість фермерських котлів на соломі перебувають на різних стадіях підготовки до будівництва. Основна частка ТЕС/ТЕЦ перебуває у приватній власності, мають потужність до 50 МВт і працюють на деревній біомасі, підстилці птахофабрик, міскантусі та соломі. Завдяки підвищенню екологічних вимог до вугільних електростанцій деякі з них були переобладнані на сумісне спалювання біомаси з вугіллям, а деякі закриті і повністю переобладнані винятково для спалювання біомаси (Draخ, RWE, E.ON, DONG Energy та ін.).

Компанія Melton Renewable Energy UK Limited є одним із провідних незалежних виробників відновлюваної енергії у Сполученому Королівстві. Загальна встановлена потужність об'єктів становить 165 МВт, з яких 111 МВт – це п'ять електростанцій на біомасі. У 2000 році компанія була першою у Великобританії, яка збудувала ТЕЦ Ely Power Station³, що працює на соломі зернових і ріпаку, міскантусі. Встановлена електрична потужність станції становить 38 МВт, а річне споживання соломи – 200 тис. т.

У грудні 2011 року спеціалізований інвестиційний фонд Glenmont Partners ухвалив рішення про фінансування будівництва ТЕЦ Sleaford Renewable Energy Plant⁴ на соломі потужністю 38 МВт вартістю 168 млн фунтів. Загальне управління заводом здійснювалося Natural Power, спеціалісти Eсо2 керували постачанням палива, а BWSC були відповідальними за постачання обладнання, експлуатацію та обслуговування. Електростанція почала працювати у 2014 році. На станції працює 30 осіб і ще 50 осіб залучено в сфері постачання палива. Щорічно завод спалює 240 000 тонн соломи (приблизно 55 тюків на годину), що постачається з ферм в радіусі 50 кілометрів. Надлишок тепла на ТЕЦ, що відпускається безкоштовно, використовується для обігріву громадського басейну, боулінг-центру, футбольного центру, початкової школи та офісу районної ради.

Ще дві електростанції на соломі були збудовані за аналогічною технологією данської компанії BWSC. Перша ТЕЦ Brigg renewable energy plant⁵ потужністю 40 МВт розпочала свою роботу у січні 2016 року, а друга ТЕЦ Snetterton Renewable Energy Plant⁶ потужністю 44 МВт почала працювати у вересні 2017 року. Термін будівництва обох станцій становив близько 2,5 років. Розробником проєктів є BWSC East Anglia (BEAL), що об'єднали в собі партнерство ключових експертів із відновлюваної енергії для розробки, побудови та управління цим проєктом. Спільні інвестиції належать скандинавському підряднику Burmeister & Wain (A/S BWSC) та данському інфраструктурному фонду (K/S Copenhagen Infrastructure Partners). Укладений договір з BWSC на будівництво та експлуатацію. Основний постачальник палива Worldwide Farming Partnership зобов'язується постачати не менше 50 тис. т соломи, що становить близько 20% загальних потреб. Іншу частку палива закупають у місцевих фермерських господарств.

ІСПАНІЯ. Група компаній ACCIONA⁷, яка працює винятково у галузі відновлюваної енергетики, має представництва у понад 20 країнах на п'яти континентах. Підприємство має напрацювання за п'ятьма технологіями: вітровою, сонячною фотоелектричною, гідроелектричною, біомасовою та сонячною тепловою. Компанія має три функціонуючі електростанції на соломі загальною потужністю 61 МВт.

Електростанція Sangüesa (30 МВт) була першою в Іспанії, що введена в експлуатацію у 2002 році. Станція споживає 160 тис. т/рік соломи, що поставляється місцевими фермерами з території радіусом 75 км. Зола від спалювання соломи використовується для виробництва органічного добрива.

ТЕЦ Vivriesca (16 МВт) вартістю 40 млн євро збудована у 2010 році. ТЕЦ розташована в сільськогосподарському регіоні і має великий обсяг сільськогосподарських відходів. 17 спеціалізованих компаній постачають 102 тис. т соломи на рік (на основі довгострокових контрактів). Запуск

³<https://www.mreuk.com/ely-power-station>

⁴http://www.sleafordrep.co.uk/?page_id=817

⁵<https://www.briggbiomass.com/>

⁶<https://www.snettertonbiomass.com/>

⁷<https://www.acciona-energia.com/areas-of-activity/other-technologies/biomass/>

цієї електростанції призвів до створення 100 постійних нових робочих місць. Аналогічна станція MIAJADAS (15 МВт) збудована у 2010 році. Вона працює на рослинних відходах і дозволяє використовувати кукурудзиня та деревні відходи.

НІМЕЧЧИНА. У Німеччині утворюється близько 30 млн т соломи, з яких 8-13 млн т може використовуватися на енергетичні потреби. Незважаючи на те, що солома є одним із найважливіших сільськогосподарських відходів, вона не широко використовується в енергетичних цілях⁸. Станом на 2007 рік у країні нараховували близько 130 установок на соломі. Викиди при спалюванні значно стримують розвиток використання соломи в Німеччині, а тому як альтернатива розглядаються інші технології – зброджування соломи та виробництво рідкого біопалива. Найбільшими рушійними силами у розвитку біоенергетики є національні цілі з виробництва теплової і електричної енергії з відновлюваних джерел та пільгове оподаткування окремих видів палива, в т.ч. біомаси аграрного походження.

Компанія Bioenergiekraftwerk Emsland GmbH & Co. KG⁹ (м. Emlichheim) експлуатує електростанцію на соломі потужністю 11,5 МВт з 2013 року. Річне споживання соломи становить близько 75 тис. т, а це 15-20 вантажівок щоденно. Солома повинна бути без сторонніх домішок і мати до 22% вологи. Вартість закупівлі соломи у 2016 році в середньому становила 80 євро/т. Експлуатація електростанції на соломі дозволяє уникнути потрапляння в атмосферу до 100 тис. т CO_{2e} забруднюючих речовин. Комбіноване виробництво електроенергії і тепла дозволяє досягнути ефективності на рівні 90%. Тепло, що виробляється, подається в локальну теплову мережу довжиною близько 30 км. Споживачами теплової енергії у вигляді пари і гарячої води є фабрика картопляного крохмалю, громадські об'єкти, лікарня, індивідуальні та багатоквартирні будинки.

РЕСПУБЛІКА ЧЕХІЯ. Приватна компанія EC Kutná Hora s.r.o.¹⁰ експлуатує власну ТЕЦ на трав'яній біомасі та надає послуги з тепlopостачання. Електрична потужність ТЕЦ становить 23 МВт. Джерелом енергії є зернова і ріпакова солома та цілеспрямовано вирощені енергетичні культури. Річне споживання соломи сягає 55 тис. т. Як правило, поставку сировини здійснюють на відстані до 50 км від електростанції. Компанія має довгостроковий контракт на 10 років і надає послуги із заготівлі соломи для своїх партнерів. Для постачальників палива компанія пропонує можливість взяти сертифіковане добриво на основі золи після спалювання.

У вересні 2011 року була створена приватна компанія Mostek energo s.r.o.¹¹, до якої увійшла RSJ Investments (92%) та Dewarec (8%), що забезпечило проєкт необхідними фінансовими ресурсами. Реалізація проєкту тривала з 2011 по 2015 роки. Загальні інвестиційні витрати на реалізацію проєкту становили 525 млн чеських крон. За дуже невеликими винятками, повна технологія була виготовлена в Чехії та запроваджена чеськими партнерами. На електростанції встановлено паровий котел з киплячим шаром, що підходить для спалювання широкого спектру різних видів біомаси. В конденсаційному режимі електрична потужність ТЕЦ становить 4,9 МВт. Скидне тепло від конденсаційного охолодження частково використовується для кондиціонування сховища сировини.

Компанія TTS energo s.r.o.¹² в м. Třebíč є оператором трьох великих котелень на біомасі, що постачають теплову енергію до центральних теплових мереж. На котельні Třebíč – Sever в період 2001 -2004 року встановлено водогрійні і термомасляні котли на деревині, а також когенераційну установку з модулем ОРЦ. А в 2006 введено в експлуатацію водогрійний соломоспалювальний котел потужністю 5 МВт. На іншій котельні Třebíč – Jih встановлено два водогрійних котли потужністю

⁸Impact of promotion mechanisms for advanced and low-ILUC biofuels on markets: Straw for bioenergy.

⁹<http://www.bioenergie-emsland.de/>

¹⁰<https://www.eckh.cz/cze/index.html>

¹¹<https://www.mostekenergo.cz/>

¹²<https://www.ttsenergo.cz/>

3 МВт на деревній трісці та два водогрійних котли потужністю 5 МВт кожен, що працюють на соломі за власною технологією «сигарного» спалювання.

ПОЛЬЩА. Згідно з різними оцінками в Польщі обсяг утворення соломи становить від 12 до 30 млн т, з яких надлишок – 7-12 млн т із середньою «врожайністю» соломи 3,5 т/га. До 2012 року для виробництва енергії використовувалося близько 6 млн т соломи на установках великої потужності і 1,5 млн т – на малих установках.

В Польщі працюють близько 100 котлів малої потужності (~100 кВт) на соломі й понад 40 невеликих та середніх котелень у системі централізованого тепlopостачання (0,5-7 МВт). Крім того, компанією DP CleanTech разом з польською компанією Polish Energy Partners (PEP) здійснено будівництво соломоспалювальної електростанції потужністю 30 МВт (Winsko)¹³. Річна потреба в соломі становить 220-240 тис. т. Додатковим паливом на ТЕС є деревна тріска.

Компанія централізованого тепlopостачання PEC Lubań¹⁴ експлуатує комбіновану водогрійну котельню з котлами 1 МВт, 2x3,5 МВт, що використовують тюковану соломку. Компанія самостійно заготовлює соломку і зберігає запас в обсязі 1 тис. т на території котельні в закритому складі. Соломку в полі купують по 80 злотих за тонну. Проект реалізовано за підтримки EcoFound шляхом: субсидії – 43%, кредиту провінційного фонду охорони навколишнього природного середовища – 20% і власних коштів – 37%. Близько 32% теплової енергії виробляється з соломи і постачається до теплових мереж, що покривають потреби 60% споживачів міста з населенням 24 тис. чоловік. Використання соломи як палива дозволило зменшити використання традиційного вугілля і зменшити викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

Компанією HOST було реалізовано декілька проектів водогрійних котелень на соломі. У 2009 році було введено в дію соломоспалювальну котельню з водогрійним котлом потужністю 2,5 МВт в м. Radzikow. З 1600 тонн соломи щорічно виробляється близько 5 тис. МВт-годин теплової енергії для забезпечення централізованого опалення навколишніх офісів та приміщень. У м. Poddebice у 2008 році збудована котельня з котлами потужністю 1,5 МВт та 2x0,5 МВт на брикетах із соломи, що постачає теплову енергію до центральної теплової мережі міста.

Компанія GDF Suez є власником і оператором ТЕЦ Polaniec biomass power plant¹⁵, що була збудована в 2012 році на місці існуючої вугільної електростанції. Станція може використовувати як палива 80% деревної тріски і 20% сільськогосподарських відходів. Потужність енергоблоку на біомасі становить 205 МВт. У ньому є котел з циркулюючим киплячим шаром (CFB Foster Wheeler), який здатний працювати як винятково на біомасі, так і з додаванням вугілля. Будівництво електростанції було здійснено для доповнення мети Європейського Союзу – генерувати 15% енергії з відновлюваних джерел до 2020 року. На жаль, після відміни державної підтримки виробництва «зеленої» електроенергії у 2012 році обсяг споживання гранул соломи та динаміка впровадження нових проектів зупинилася. Ціни на соломку впали з 125 євро до 25 євро за тонну.

УГОРЩИНА. У 2007 році компанія Veolia Energy Hungary¹⁶ отримала контроль над усіма компаніями Rannopower, що здійснюють експлуатацію електростанцій в Угорщині. Внаслідок зміни палива з 2013 року на електростанціях використовують деревну тріску, соломку зернових культур, енергетичні культури та відходи кукурудзи.

Дочірня компанія Rannon-Hő Kft була заснована групою в 2005 році з метою впровадження та експлуатації електростанції Pécs Power Plant потужністю 35 МВт, яка використовує трав'янисту

¹³https://polenergia.pl/pol/sites/default/files/press/120316_prezentacja_winsko.pdf

¹⁴<http://www.pecluban.pl/>

¹⁵<http://www.pecluban.pl/>

¹⁶<http://biomassza.veolia.hu/dokumentumok/szalma>

сілськогосподарську продукцію (солону, міскантус). Власна дочірня компанія Rannon-Biomassza Energetikai була створена для здійснення комерційної та логістичної підтримки. Основним завданням компанії є постачання біомаси, придбання та зберігання необхідних для роботи матеріалів та деталей, а також продаж золи. Враховуючи близькість до кордону з Хорватією компанія, в т.ч. за межами країни, закуповує сілськогосподарські відходи, зокрема таких видів агробіомаси як солома злакових (пшениця, жито, ячмінь, овес, тритикале), соя, очерет та ін.

КИТАЙ. Технології виробництва енергії з соломи активно розвиваються також у Китаї. Компанія DP CleanTech¹⁷ в період 2006-2012 рр. запустила в країні 34 електростанції на соломі загальною потужністю 1200 МВт. Типовим прикладом є ТЕС потужністю 30 МВт (160 тис. т соломи на рік) у Liaoyuan, що постачає 200 ГВт·год/рік електроенергії до національної мережі.

У таких країнах як Індія, Пакистан, Малайзія, Словаччина, Франція, Болгарія, Україна та ін. існують окремі поодинокі приклади фермерських, промислових або енергетичних об'єктів, що використовують сілськогосподарські відходи як паливо, і цей енергетичний напрям лише починає розвиватися. На жаль, інформації про промислове енергетичне використання стебел соняшника, кукурудзи та інших сілськогосподарських культур, що притаманні Україні, не знайдено. Відсутність практичного досвіду може бути пов'язана з відсутністю достатнього енергетичного потенціалу в країнах ЄС або відсутністю практики/обладнання промислової заготівлі, що не дозволяють забезпечити необхідний рівень промислового споживання для повного забезпечення ТЕС/ТЕЦ.

Аналіз світового досвіду показує, що реалізовані проекти стали успішними завдяки застосуванню перевірених технологій і обладнання, використанню теплової енергії, високому рівню енергетичної ефективності. Зважена державна політика і тісна співпраця з сілськогосподарськими підприємствами, профільними асоціаціями та органами місцевого самоврядування були основою для взаємовигідного довгострокового розвитку. Саме приватні компанії є власниками електростанцій, що здійснюють експлуатацію ТЕЦ та є постачальниками теплової та електричної енергії. З метою підвищення надійності реалізації будівельних проектів та здійснення операційної діяльності компанії залучають ЕРС/ЕРСО-підрядників та створюють власні дочірні компанії, що є відповідальними за постачання палива.

Світовий досвід ще раз підтверджує можливість використання аграрних відходів для забезпечення енергетичних потреб.

¹⁷<https://www.dpcleantech.com/>

Аналіз світового досвіду енергетичного використання відходів сільського господарства і практика реалізації енергетичних проєктів безпосередньо пов'язані з наявним сировинним ресурсом і енергетичним потенціалом відходів. Посівні площі, врожайність, кліматичні умови, ринкові умови, державна політика – це основні чинники, що впливають на сільськогосподарську практику в конкретному регіоні і визначають обсяг ресурсів, які доступні для енергетичного використання (таблиця 1).

Таблиця 1 – Посівні площі в окремих країнах ЄС та Україні у 2018, тис. га¹⁸

Країни	Ячмінь	Кукурудза	Овес	Ріпак	Соняшник	Пшениця	Пшениця/ Соняшник	Пшениця/ Кукурудза
Болгарія	104	445	11	183	789	1 212	1,54	2,73
Великобританія	1 138	–	171	583	–	1 748		
Греція	129	113	80	9	80	404	5,07	3,57
Данія	795	6	83	143	–	426		67,27
Естонія	138	–	40	73	–	155		
Іспанія	2 569	322	557	78	691	2 064	2,99	6,4
Італія	262	591	107	14	104	1 822	17,54	3,08
Латвія	118	–	87	120	–	417		
Литва	226	13	103	205	–	773		57,7
Нідерланди	36	9	1	2	–	112		11,85
Німеччина	1 622	411	140	1 224	20	3 036	155,71	7,39
Польща	976	645	497	836	6	2 417	426,69	3,75
Румунія	422	2 443	161	633	1 006	2 112	2,1	0,86
Сербія	106	902	26	46	239	643	2,69	0,71
Словаччина	124	179	13	154	69	403	5,86	2,25
Угорщина	244	944	23	331	619	1 030	1,66	1,09
Україна	2 484	4 564	196	1 039	6 167	6 620	1,07	1,45
Франція	1 768	1 422	92	1 616	553	5 232	9,47	3,68
Хорватія	51	235	16	55	37	138	3,73	0,59
Чехія	325	82	43	412	20	820	40,57	10,01

Як видно з таблиці, в окремих країнах ЄС не вирощують кукурудзу і соняшник, а тому залишки у вигляді соломи злакових культур залишаються основними аграрними відходами. Значний потенціал відходів вирощування ріпаку зосереджено в Німеччині, Україні, Франції, Польщі. Великі посівні

¹⁸ <http://www.fao.org/faostat/ru/#data>

площі під кукурудзою в Румунії, Франції, Україні, а під соняшником – в Україні, Румунії, Болгарії. Важливим є співвідношення посівних площ під пшеницею до соняшника і кукурудзи в країнах ЄС та Україні, що лише підтверджує пріоритет у використанні саме соломи зернових над іншими сільськогосподарськими відходами в країнах ЄС.

Підраховано, що приблизно на 5,5 млн га сільськогосподарських угідь вирощують спеціальні енергетичні культури. Це становить 3,2% від загальної площі посівів в ЄС27. Основна частка земель використовується під вирощування олійних культур для виробництва біодизелю – 82%, виробництва етанолу – 11%, біогазу – 7%, і лише близько 1% використовується під вирощування багаторічних рослин для виробництва твердого біопалива¹⁹. Таким чином, державна політика ЄС була націлена на досягнення необхідного рівня виробництва моторного палива першого покоління і біогазу. Перехід до виробництва рідкого біопалив другого покоління з лігно-целюлозної сировини призведе до зростання споживання рослинних залишків.

Методологія оцінки потенціалу соломи та ін. агровідходів для біоенергетики розроблена JRC в 2006 році і базується на використанні обсягів агровідходів, що забезпечують стабільний рівень врожаю та підтримання постійного рівня вуглецю в ґрунті. Встановлено, що 40% потенціалу залишків злакових культур (пшениці, жита, вівса і ячменю) і 50% інших культур, можна використовувати для енергетичних потреб. Потенціал соломи зернових є добре поширеним практично у всіх країнах ЄС, але такі країни як Франція, Німеччина, Польща, Італія, Угорщина та Великобританія мають найбільший потенціал. Концентрація утворення соломи у Данії є найвищою, хоча потенціал залишається обмеженим порівняно з більшістю країн ЄС.

В Україні енергетичний потенціал доступної для виробництва енергії біомаси становить майже 23 млн т н.е./рік (таблиця 2), а наявний потенціал сировини і доступність на ринку є однією з важливих передумов успішного розвитку біоенергетики.

Таблиця 2 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні (2018 р.)

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн т	Потенціал, що доступний для енергетики	
		Частка теоретичного потенціалу, %	млн т н.е.
Солома зернових культур	32,8	30	3,36
Солома ріпаку	4,9	40	0,68
Побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	46,5	40	3,56
Побічні продукти виробництва соняшника (стебла, корзинки)	26,9	40	1,54
Вторинні відходи сільського господарства (лушпиння соняшника)	2,4	100	1,00
Деревна біомаса	17,6	–	3,08
Рідкі моторні біопалива	–	–	1,21
Біогази	3,2 млрд м ³ CH ₄	–	1,05
Енергетичні культури:			
- верба, тополя, міскантус*	11,5	100	4,88
- кукурудза (на біогаз)*	3,0 млрд м ³ CH ₄	100	2,57
Всього	–	–	22,93

* За умови вирощування на 1 млн га незадіяних сільськогосподарських земель.

¹⁹Atlas of EU biomass potentials Deliverable 3.3.

Основними складовими енергетичного потенціалу біомаси є відходи та побічні продукти сільськогосподарства або сільськогосподарські залишки (10,1 млн т н.е./рік або 44% загального потенціалу) та енергетичні культури (7,5 млн т н.е./рік, 32%). Найбільша частка потенціалу агровідходів припадає на побічну продукцію і відходи виробництва зернової кукурудзи, або кукурудзиння (35%), та соломі зернових колосових культур (33%).

Внесок деревної біомаси до енергетичного потенціалу біомаси в Україні є відносно невеликим і становить близько 3,1 млн т н.е./рік або 13% загального потенціалу. Решта складових енергетичного потенціалу біомаси в Україні, на які разом припадає близько 10%, – це рідкі біопалива (біодизель, біоетанол) та біогаз, що отриманий з різних видів сировини (відходів та побічної продукції АПК, промислових та комунальних стічних вод, твердих побутових відходів).

Обсяги аграрної біомаси в Україні щорічно збільшуються завдяки загальній тенденції росту виробництва і врожайності основних сільськогосподарських культур. За період з 2000 року енергетичний потенціал соломі зернових колосових культур, побічної продукції та відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника збільшився у три рази – з 2,76 млн т н.е. у 2000 р. до 8,46 млн т н.е. у 2018 р.

Ситуація з реальним споживанням біомаси для виробництва енергії та біопалив в Україні фактично є протилежною структурі потенціалу. В середньому, енергетичний потенціал біомаси України використовується на 11%. Найбільш активно використовується деревна біомаса, а застосування потенціалу відходів та побічних продуктів аграрного походження залишається на низькому рівні. Для потреб енергетики України серед агробіомаси достатньо активно використовується лише лушпиння соняшника – близько 70% його потенціалу. Виробництво енергії/біопалив із соломі перебуває на рівні 4% наявного потенціалу. Існують поодинокі приклади енергетичного використання кукурудзиння, зокрема для виробництва гранул і брикетів, тоді як приклади виробництва енергії зі стебел або кошиків соняшника наразі невідомі.

Агровідходи можуть бути хорошим паливом, але мають специфічні характеристики, що відрізняють їх від інших видів біомаси. Ці характеристики пов'язані не лише з їхнім походженням, але й з їхніми фізико-хімічними властивостями.

Згідно з класифікацією твердого біопалива (**Додаток 1**) сільськогосподарські відходи належать до групи другого рівня трав'яної біомаси. У цю групу входять зернові культури, олійно-бобові культури, трави, коренеплоди і квіти, а також трав'яна біомаса садів, парків, придорожніх насаджень, виноградників і фруктових садів, штучні суміші. Для чіткого і правильного розуміння в попередніх розділах наведені ключові терміни і визначення відповідно до стандартів.

Найбільш важливими фізичними характеристиками палива є такі: щільність, розмір, вологість, зольність, вміст домішок та ін. До важливих хімічних характеристик відносять такі: теплоту згорання, хімічний і елементний склад, склад і характеристики золи, тощо. Фізичні властивості палива визначають особливості заготівлі, складування, транспортування, зберігання палива, а також впливають на вибір обладнання для подрібнення, паливоподачі і технології спалювання. Хімічний склад палива визначає конструкцію обладнання і його параметри, що мають забезпечити надійну і тривалу експлуатацію. Вдалий підбір обладнання допоможе уникнути шлакування і корозії, мінімізувати викиди в атмосферу забруднюючих речовин, і головне – зменшити витрати на обслуговування.

4

**ХАРАКТЕРИСТИКИ
СІЛЬСЬКО-
ГОСПОДАРСЬКИХ
ВІДХОДІВ
ЯК ПАЛИВА**

Вологість окремих частин кукурудзи неоднорідна і стрімко зменшується після 120 дня від дати сівби. Стрижні качанів кукурудзи завжди вологіші (W 35-45%), ніж зерно (W 22-35%), але під час сушіння інтенсивніше випаровують вологу²⁰. Одразу після збирання вологість стебел варіюється в межах 45-60%. Соняшник збирають у вересні-листопаді. При збиранні культури в оптимальній фазі стиглості вологість кошиків становить 70-75%, стебел – 60-70%²¹. Також вологість дуже залежить від часу збирання та погодних умов, а тому сильні опади у період збирання врожаю можуть призвести до недоцільності заготівлі. Заготовляти відходи кукурудзи та соняшника необхідно у період, коли вологість становитиме менше 20%.

Для енергетичних потреб сільськогосподарські відходи, як правило, постачаються в зручній для транспортування і складування товарній формі (гранули, брикети або в'язанки і тюки, стандартні розміри яких вказані в **Додатку 2**. Стандартизовані значення показників, що характеризують властивості різних видів трав'яної біомаси і відходів сільського господарства, наведені в **Додатках 3, 4**. Дослідження властивостей окремих зразків палива^{22,23} підтверджують, що діапазон показників може бути дуже широким і у кожному конкретному випадку необхідно проводити лабораторні дослідження складу палива.

Щодо України, то цілком можна припустити, що вміст хлору й лужних металів у соломі і стеблах кукурудзи є меншим, ніж у соломі європейських країн. Це пов'язано зі значним скороченням внесення мінеральних добрив під посіви протягом останніх 20 років. У таблиці 3 наведені порівняльні дані лабораторних досліджень українських та європейських зразків, що підтверджують понижений вміст сірки, хлору і солей калію та підвищену температуру початку деформації золи у місцевих зразках палива.

Таблиця 3 – Порівняльні характеристики зразків палива²⁴

	Кукурудза українського походження		Середні значення згідно з базою даних			
	Стрижень	Стебла	Стебла кукурудзи	Солома пшениці	Тріска сосни	Стебла соняшника
Вологість, W_r , %	7,7	10,5	6,25	9,71	8,83	0
Зольність, A_d , %	2,1	5,6	6,37	6,08	0,7	8,55
Вуглець, C_{daf} , %	49,08	50,04	42,76	48,72	52,01	53,33
Водень, H_{daf} , %	6	6,07	5,36	5,97	6,25	6,06
Азот, N_{daf} , %	1,0	1,0	1,17	0,72	0,14	1,4
Кисень, O_{daf} , %	43,69	42,78	39,83	44,39	41,43	38,51
Сірка, S_{daf} , %	0,23	0,11	0,23	0,14	0,1	0,13
Теплота згорання						
Вища, Q^s_{daf} , МДж / кг	18,963	19,377	18,4	19,2	20,68	21,3
Нижча, Q_{gr} , МДж / кг	15,767	15,016	17,11	17,99	19,36	20,06
Температури плавкості золи						
Початок деформації, t_a , °C	1200	1160	989	924	1200	810
Напівсфера, t_b , °C	1250	1180	1 203	1161	1252	1293
Розтікання, t_c , °C	1330	1260	1 243	1224	1259	1328

²⁰Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні.

Аналітична записка UABIO № 16

²¹Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні Аналітична записка UABIO № 7

²²Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка UABIO № 20

²³<https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis>

²⁴Fuel Properties of Ukrainian Corn Stover. V.O. Antonenko, V.I. Zubenko, O.V. Epik

Рослинні відходи мають ряд негативних властивостей, що ускладнюють їх використання як палива у стандартному обладнанні. Солома та стебла можуть мати підвищений вміст сірки (0,02–0,7%), хлору (0,02–0,6%) і калію (800–26000 мг/кг), завдяки чому в процесі її спалювання утворюються хімічні сполуки, що викликають корозію обладнання і призводять до формування великої кількості аерозолей, що супроводжується високою емісією HCl та SO₂.

Основним негорючим компонентом золи є діоксид кремнію SiO₂ (пісок), що має високу температуру плавлення 1400–1500°C, але з додаванням калію чи натрію температура плавлення може знижуватися до 800°C. Зниження температури плавлення золи (850–950°C) призводить до шлакування та забруднення теплообмінних поверхонь, що може призводити до їх перегріву, зниження потужності та вимушених зупинок обладнання.

Стебла кукурудзи мають високу вологість у момент збору (50–60%), а також містять хлор й лужні метали, що є близьким до показника «сірої» соломи. Температура плавлення золи у стебел кукурудзи (1050–1200 °C) є вищою, ніж у соломи (800–1100°C), а вміст сірки є нижчим. Стебла соняшника мають підвищену вологість (60–70%) на момент збору врожаю, а також вищий рівень зольності (10–12%) та вмісту калію.

Різноманітні зовнішні фактори, такі як сезон збору відходів, технологія заготівлі сировини, кліматичні умови в регіоні і якість ґрунтів, сівозміни, а також кількість внесених мінеральних добрив впливають на показники якості відходів. Саме тому відходи сільського господарства, які планується використовувати як паливо, мають бути сертифікованими. Наявність сертифікатів якості та сертифікатів походження легалізує їх на ринку, а відповідність вимогам якості забезпечить можливість безпечного використання в енергетичному обладнанні.

Специфічні паливні характеристики сільськогосподарських відходів вимагають використання спеціалізованого обладнання і особливих технологічних рішень, що дозволяють покращити якість горіння і ефективність спалювання з дотриманням усіх екологічних вимог.

Детальний огляд технологій спалювання з оцінкою переваг та недоліків був наведений у посібнику з підготовки і впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою^{25, 26}. Пряме спалювання є добре відпрацьованою промисловою технологією і відрізняється своєю простотою та доступністю. Сучасне вдосконалення цих технологій передбачає вирішення проблем забруднення навколишнього середовища, пристосування до використання різних видів палива, підвищення ефективності і застосування в когенераційних циклах. Більш складною технологією є газифікація біомаси, що не досягла ще широкого комерційного рівня і має обмежену кількість виробників обладнання, проте може бути застосована за особливих умов, зокрема під час використання палив низької якості.

Найбільш поширеною технологією спалювання аграрних відходів є спалювання на перештовхувальних і вібраційних водоохолоджувальних решітках (таблиця 4), менш поширеними є технології факельного спалювання подрібненого біопалива та спалювання в киплячому шарі.

²⁵ «Підготовка і впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник / За ред. Гелетуку Г.Г., 2016

²⁶ Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies U. S. Environmental Protection Agency

5

ТЕХНОЛОГІЇ ТА
ОБЛАДНАННЯ

Зазначені технології спалювання втілені у різноманітних типах теплогенеруючого обладнання, теплова продуктивність якого охоплює широкий діапазон потужностей від побутових котлів до енергетичних установок (рисунки 1-3, **Додаток 5**).

У водогрійних котлах та теплогенераторах гарячого повітря потужністю до 1 МВт набула широкого застосування технологія періодичного спалювання. Паливо у вигляді тюків завантажується в топкову камеру великого об'єму, де відбувається горіння, що може тривати до 4-5 годин, після чого необхідно завантажити наступну порцію палива. Простота конструкції, низький рівень механізації та доступна ціна забезпечує базові вимоги фермерських господарств та дрібних переробних підприємств в отриманні теплової енергії. Теплова енергія може використовуватися як для обігріву житлових та сільськогосподарських приміщень, так і для роботи сушильних камер, елеваторів, а також для подачі теплової енергії в малі теплові мережі. Основним недоліком періодичного спалювання біомаси є недостатній рівень регулювання горіння, що негативно впливає на викиди в атмосферу під час розпалювання котла. Необхідність використання техніки для завантаження середніх та великих тюків значно впливає на можливість застосування такого обладнання в муніципальних чи комунальних підприємствах.

Таблиця 4 – Технології спалювання та особливості застосування

Технологія спалювання	Особливості застосування
Спалювання на решітках:	
нерухомі решітки	водогрійні котли і теплогенератори періодичного спалювання, потужність до 1 МВт, ручна і механізована подача палива, однорідний склад і низька вологість палива
ланцюгові решітки	сумісне спалювання з вугіллям та різною біомасою, допускається неоднорідний склад палива та фракція, застосовується при реконструкції існуючих котлів потужністю до 50 МВт, у т.ч. на ТЕЦ
вібраційні і перештовхувальні водоохолоджувальні решітки	однорідний склад палива та фракція, застосовується як при реконструкції існуючих котлів так у нових котлах потужністю до 120 МВт, у т.ч. на ТЕЦ, є основною технологією спалювання сільськогосподарських відходів
Пилове (факельне) спалювання	сумісне спалювання в існуючих вугільних котлах, однорідне паливо з дрібною фракцією, потужність понад 100 МВт, у т.ч. на ТЕЦ
Спалювання в киплячому шарі (BFB, CFB)	сумісне спалювання, допускається неоднорідний склад палива та фракція, допускається високий вміст вологи та шкідливих домішок, потужність понад 30 МВт, у т.ч. на ТЕЦ



Рисунок 1 – Загальний вигляд котлів періодичного спалювання

Технологія безперервного спалювання на рухомих решітках дозволяє ефективно організувати процес спалювання за рахунок ретельного перемішування та регульованої тривалості горіння, зони подачі повітря і контрольованої температури в шарі палива. Значною перевагою цієї технології є можливість спалювання гранул та тюкованої соломи, що не потребує додаткової обробки чи підготовки. Технологічні рішення зі спалювання на решітках дозволяють уникнути плавлення золи, забезпечують максимальне вигорання палива і низькі емісії забруднюючих речовин в атмосферу.

Однією з різновидів є технологія «сигарного» спалювання (рисунок 2) з допалюванням залишків на решітці, що ефективно реалізується в котлах потужністю до 10 МВт. Перевагою «сигарного» спалювання є низький рівень споживання електричної енергії та відсутність у технологічному циклі обладнання для механічного подрібнення тюків соломи в січку. Великі тюки соломи можуть розрізатися на кілька частин і уже частинами подаватися в топку котла. Це дозволяє зменшити як інвестиційні витрати, так і операційні витрати при виробництві теплової енергії.

Технологія спалювання в киплячому шарі, як і технологія пилового спалювання біомаси, як правило, застосовується для сумісного спалювання біомаси з вугіллям та/або сумісного спалювання²⁷ різних видів біомаси на діючих вугільних енергоблоках потужністю понад 100 МВт_е. У порівнянні з іншими, таке технологічне рішення відрізняється низькими інвестиційними витратами на реконструкцію (50-1500 \$/кВт_е), що дозволяє домішувати до 20% біомаси до основного палива без зниження потужності. Технологія спалювання в киплячому шарі дозволяє регулювати в широкому діапазоні потужність котла та частки біомаси в суміші від 0 до 100%. Основні обмеження стосуються можливості забезпечення відповідного обсягу біомаси у великих об'ємах. Згадані технології застосовуються переважно на енергоблоках електростанцій, які працюють у надкритичних параметрах пари – тиск понад 200 бар, температура перегріву пари – 520-540 °С, що забезпечує високу ефективність виробництва електричної енергії (таблиця 5).

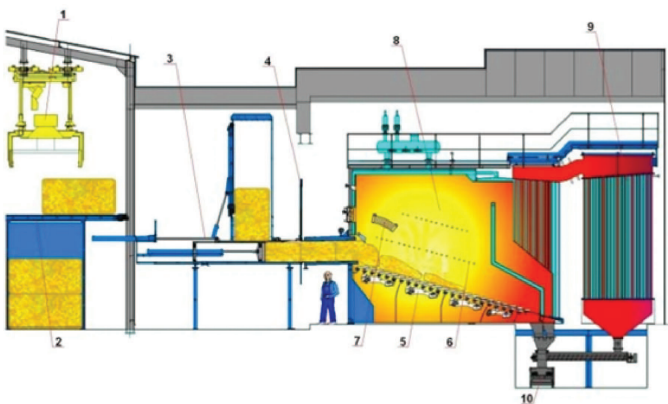


Рисунок 2 – Схематична будова котла з технологією «сигарного» спалювання

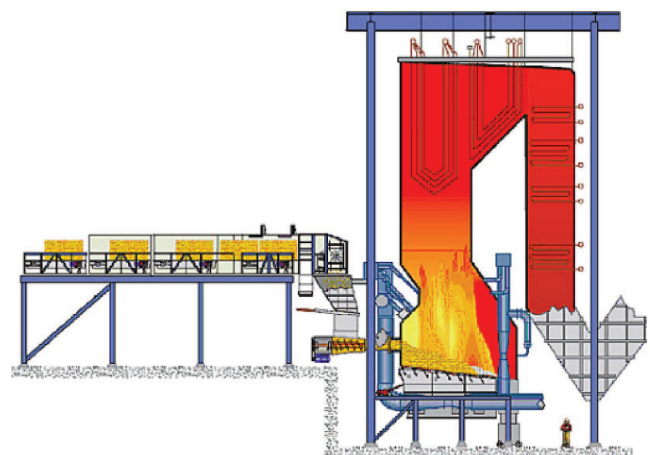


Рисунок 3 – Схематична будова енергетичного котла з технологією спалювання на вібраційній решітці

Приклади технологічних схем ТЕЦ, що працюють на солі в Данії, наведені в **Додатку 5**. Варто зазначити, що в Україні немає досвіду сумісного спалювання біомаси з традиційними видами палива, а також відсутні доступні вітчизняні технології і обладнання на ринку. Найбільшим бар'єром для розвитку сумісного спалювання є відсутність «зеленого» тарифу на електроенергію з біомаси при сумісному спалюванні.

²⁷The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing

Таблиця 5 – Характеристики електростанцій в Данії, що використовують солому в як паливо²⁸

Найменування	Haslev	Rudkobing	Slagelse	Fynsvaerket	Mabjergvaerket	Masnedo	Enstedvaerket	Maribo	Avedore 2	Amagervaerket	Studstrupvaerket	Grenaa
Електрична потужність, МВт	5	2,55	11,4	35	28	9		10,6	275	80	2x350	19,6
Корисний відпуск тепла, МВт	13	7,5	28	75	0	0		22,5	–	250	2x455	40
Введення в експлуатацію	1989	1990	1990	2009	1993	1996	1998	2000	2001	2009	2005	1992
Постачальник обладнання	Volund	B&W	Aalborg	Bioneer	Volund	B&W	B&W	FLS Miljo A/S	FLS Miljo, B&W, Volund	B&W	Babcock	Aalborg
Паливо	солома	солома	солома	солома	солома, тріска, гранули	солома, тріска	солома, тріска	солома	солома, +	гранули соломи + вугілля	Солома + вугілля	Солома + вугілля
Споживання палива, тис. т	26	14	30	150	30	40	120	45	150	150	130	40
Теплова потужність котла, МВт	20	11,2	31	118	39	36,4	80	37	100	350	Н.д.	88
Технологія спалювання	сигарне, решітка	вібр. решітка	перешт. решітка	вібр. решітка	вібр. решітка, сигарне	вібр. решітка	вібр. решітка	вібр. решітка	вібр. решітка	пилове, решітка	пилове, решітка	киплячий шар
Робочий тиск парт, бар	67	60	67	110	67	92	210	102	310	185	250	92
Паропродуктивність, т/год	26,532	12,96	57,6	165,6	50,4	46,44	122,4	49,68	144	500,4	1033,2	104,04
Температура пари, С	455	450	450	540	520	520	510	540	310	562	540	505
Електрична ефективність ТЕЦ	19%	22%	25%	33%	–	25%	41%	29%	49%	23%	42%	22%
ККД котла	88%	89%	89%	93%	90%	88%	92%	88%	94%	95%	–	–
Газоочищення	рук. фільтр	рук. фільтр	ел. фільтр	рук. фільтр	рук. фільтр	рук. фільтр	ел. фільтр	рук. фільтр	ел. фільтр	ел. фільтр	ел. фільтр	ел. фільтр

²⁸ Bioenergy for electricity and heat – experiences from biomass-fired CHP plants in Denmark

Переважає більшість компаній постачають готові технологічні рішення від паливного складу до димової труби «під ключ». Такий підхід мінімізує ризики неузгодженості в умовах використання обладнання різних виробників, скорочує терміни реалізації проєктів та встановлює єдиного відповідального за працездатність усього комплексу. Не варто забувати, що загальна надійність об'єкту визначається надійністю найбільш слабкої ланки на усьому технологічному ланцюгу виробництва. Таким чином, під час реалізації проєктів важливу увагу варто приділяти не лише основному технологічному обладнанню (котли, турбіни), але й допоміжному обладнанню – паливним складам, системам паливopодачі, системам золовидалення і газоочищення, системам накопичення і відпуску теплової і електричної енергії. В умовах України, європейські стандартні технологічні рішення з високим рівнем автоматизації і механізації можуть виявитися економічно не доцільними. Для їх впровадження в Україні необхідна адаптація, виходячи з реальних економічних умов.

Вищенаведена порівняльна інформація на прикладі використання соломи на ТЕЦ у Данії дозволяє зробити висновок, що для установок потужністю до 50 МВт використовується технологія шарового спалювання на рухомих решітках. Для більш потужних об'єктів застосовуються технології сумісного спалювання з вугіллям у киплячому шарі. Високі робочі параметри пари (тиск 67-200 бар, температура перегріву до 455-540 °С) дозволяють досягнути ефективності роботи котла на рівні 89 – 93%, а електрична ефективність ТЕЦ в режимі когенерації становить у середньому 22-33%. Як системи очистки димових газів переважно використовують рукавні фільтри, які можуть забезпечити викиди твердих часток на рівні не вище 20 мг/м³, що відповідає актуальним нормативним вимогам.

Корисний відпуск теплової енергії в мережі централізованого тепlopостачання є вкрай важливим фактором економічної ефективності роботи ТЕЦ, технологічна схема яких орієнтована на першочергове виробництво теплової енергії. Робота ТЕЦ у режимі когенерації дозволяє підвищити енергетичну ефективність використання палива на ТЕЦ до 85%, що суттєво впливає на собівартість виробленої продукції.

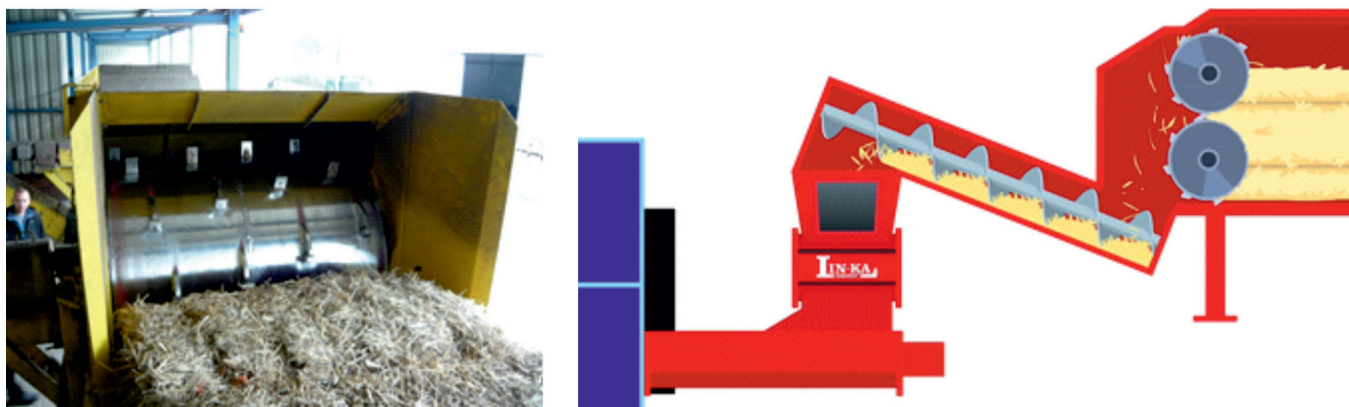


Рисунок 4– Подрібнювач тюків соломи і схема подачі палива в котел

У таблиці 6, що сформована на основі аналізу практичних реалізованих проєктів у світі, наведена інформація про основних виробників котельного обладнання для спалювання агропалива. Саме данські компанії є лідерами у світі з виробництва обладнання для спалювання агровідходів. Аналіз 54 опалювальних котельень на соломі в Данії загальною потужністю близько 250 МВт дозволяє зробити висновок, що лідерами є такі виробники як Weiss, Linka, Danstoker.

Таблиця 6 – Виробники обладнання для спалювання агробіопалива

№	Назва/Торгівельна марка	Теплова одинична потужність, МВт				Web-адреса
		<0,1	0,1-1	1-5	>5	
1	Agro Forst					http://www.agro-ft.at
2	B&W Volund				x	http://www.volund.dk/
3	BWSC				x	https://www.bwsc.com/
4	D'alessandro	x	x	x		http://www.caldaiedalessandro.it/
5	Danstoker	x	x	x	x	http://danstoker.dk/
6	DP CleanTech				x	https://www.dpcleantech.com
7	Enerstena			x	x	http://enerstena.lt
8	EuroTHERM		x	x	x	http://www.eurotherm.dk/
9	FAUST	x	x	x		https://www.faust.dk/
10	Gizex		x			https://www.gizex.com.pl/
11	Granpal		x	x		http://granpal.pl
12	Heizomat	x	x			http://heizomat.de/
13	HERLT	x	x	x		http://herlt.eu
14	HOST			x	x	http://host-bioenergy.com
15	Justsen			x	x	https://justsen.dk/
16	KARA			x	x	http://kara-greenenergy.com
17	Komkont			x	x	http://komkont.com/
18	Kovosta				x	http://www.kovosta.cz/
19	LINKA	x	x	x		https://www.linka.dk/da/
20	MetalERG	x	x			http://kotlynaslome.pl/en/main/
21	Passat Energi A/S	x	x			https://passatenergy.com/
22	Polytechnik GmbH		x	x	x	http://polytechnik.com
23	PROTECH Sp. z o.o.	x	x	x		http://protech-wkg.pl
24	REKA	x				https://www.reka.com/
25	Skeltek	x				http://www.skeltek.dk/
26	STEP		x	x		http://steptrutnov.cz
27	Teisen	x				https://www.farm2000.co.uk/
28	Tenza		x	x		http://www.tenza.cz/
29	TTS Boilers			x	x	http://tts.cz/
30	Uniconfort		x	x		https://www.uniconfort.com/
31	Verdo		x	x	x	https://www.verdo.com/
32	Verner A/S		x	x		http://www.kotle-verner.cz/ru
33	VYNCKE			x	x	http://vyncke.com/
34	Weiss			x	x	https://www.weiss2energy.eu

Типовою є потужність котелень 2-8 МВт, що використовують середні розміри тюків. У 75% випадків тюки соломи подрібнюються за допомогою стаціонарних соломорізок (шредерів) у січку і лише в окремих випадках розрізаються на частини для подальшого спалювання. Подача палива в топку котла здійснюється за допомогою гідравлічних і шнекових систем подачі палива (рисунок 4). Перевагою гідравлічних систем є низький рівень шуму та механічного зносу елементів паливоподачі. У 90% випадків склади палива оснащені кранами для розвантаження та переміщення тюків, що дозволяє ефективно організувати роботу складу, в т.ч. в автоматичному режимі. За допомогою кранів одночасно можуть переміщувати від 1 до 12 тюків, що значно скорочує час на розвантаження автотранспорту. На паливних складах ТЕС/ТЕЦ можуть бути облаштовані кілька паливних складів чи окремих прогонів оснащених кількома кранами, що дозволяє одночасно розвантажувати кілька автомобілів із причепом. Використання фронтальних навантажувачів є менш ефективним, потребує вільної площі на складі для маневрів, проте є менш витратним заходом на етапі інвестицій (рисунок 5).



Рисунок 5 – Механізація складів соломи

З метою забезпечення контролю за якістю спалювання та дотриманням екологічних вимог котли оснащуються стаціонарними автоматичними системами контролю за викидами. Регулювання подачі повітря для горіння здійснюється автоматично в залежності від вмісту кисню в продуктах згорання на основі сигналів датчиків кисню.

Очевидно, що розвинена технологія спалювання в шарі на різних видах решіток буде залишатися основною технологією енергетичного перетворення енергії біомаси, а нові потужні об'єкти, що планують використовувати аграрні відходи як паливо, будуть орієнтовані на використання імпортного обладнання і технології.

В Україні високого рівня досяг розвиток використання лушпиння та гранул із соняшника як для виробництва теплової, так і електричної енергії. На діючих котельнях і ТЕЦ широко використовується вітчизняне енергетичне обладнання та інженерні рішення. Наявний досвід, технічний потенціал і технологічні можливості дозволяють освоїти сучасні ефективні технології та налагодити виробництво в Україні спеціалізованого енергетичного обладнання для спалювання агробіопалива. Цей процес може бути прискорений завдяки тісній співпраці і кооперації з провідними європейськими компаніями та обміну досвідом. Вагомим аргументом у залученні вітчизняних виробників до реалізації інвестиційних біоенергетичних проєктів є наявність додаткових економічних стимулів, через надбавку до «зеленого» тарифу на електричну енергію. Непрямі додаткові вигоди у такій співпраці полягають в отриманні вітчизняними компаніями додаткових знань та практичного досвіду, забезпеченні робочими місцями населення, створенні додаткової вартості продукції і отриманні додаткових доходів підприємствами, розвитку суміжних ринків, а також наповненні місцевих і державного бюджетів податками і зборами.

Реалізація енергетичних проєктів, що використовують органічне паливо, зокрема на об'єктах відновлюваної енергетики, та їх планова діяльність пов'язані з різностороннім впливом на навколишнє середовище. Актуальне екологічне законодавство спрямоване на запобігання шкоді довкіллю, забезпечення екологічної безпеки, охорону довкілля, раціональне використання і відтворення природних ресурсів. Метою проведення екологічної оцінки проєктної діяльності є визначення рівня впливу, можливих наслідків та умов дотримання та забезпечення вимог законодавства.

ТЕС і ТЕЦ тепловою потужністю 50 МВт і більше з використанням органічного палива можуть мати значний вплив на довкілля і підлягають оцінці впливу на довкілля (ОВД), а для інших об'єктів існує необхідність розробки розділу з оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) у складі проєкту згідно з ДБН А.2.2-3–2014. Оцінка екологічного впливу здійснюється для усього об'єкту в цілому і є обов'язковою і необхідною умовою для отримання подальших дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

Екологічну оцінку виконують з врахуванням усіх джерел викидів, що розділяють на стаціонарні і пересувні (транспорт), а також організовані і неорганізовані. Джерелами викидів є склади палива і хімічних реагентів, ділянки подрібнення чи пересипання палива, димові труби, системи вентиляції, автостоянки та ін. Як правило, найвищий рівень екологічного впливу від діяльності об'єктів, що спалюють паливо, пов'язаний з викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Очікувані забруднюючі речовини – азоту діоксид, аміак, водень хлористий, сірки діоксид, вуглецю оксид, речовини у вигляді твердих суспендованих частинок, неметанові леткі органічні сполуки, парникові гази тощо.

Допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу жорстко регламентуються державними нормативними актами у сфері охорони навколишнього середовища і залежать від періоду введення в експлуатацію, потужності, виду палива, технології спалювання та систем очищення димових газів.

Принципово існує два різних підходи для вирішення задачі технічного забезпечення екологічних вимог: первинні і вторинні заходи.

Первинні методи – режимні та організаційно-підготовчі заходи, що дозволяють істотно знизити обсяг утворення шкідливих речовин, які виникають у процесі горіння, шляхом безпосереднього впливу на підготовку палива та процес спалювання палива в топковій камері, на конструктивні рішення енергетичних установок.

Вторинні методи – заходи, направлені на зменшення концентрації вже утворених викидів шляхом застосування спеціалізованого газоочисного обладнання.

Найбільш розповсюдженим є комплексне застосування різних методів, що поєднують комплекс заходів із забезпечення якісних вимог до якості палива, вибір спеціального обладнання, призначеного для використання обраного палива, встановлення додаткового газоочисного обладнання і дотримання режимно-налагоджувальних параметрів.

Елементний склад паливної сировини має визначальний вплив на обсяг утворення забруднюючих речовин у продуктах згорання. Враховуючи, що агропалива можуть мати підвищений рівень вмісту азоту, сірки, хлору в порівнянні з деревними біопаливами, то для їх безпечного використання мають бути застосовані відповідні технології і газоочисне обладнання.

Вміст азоту в паливі призводить до утворення окисів азоту NO_x , для зменшення яких використовують традиційні режимні методи – стадійна подача повітря, рециркуляція димових газів, впорскування вологи, зниження коефіцієнта надлишку повітря. Первинні методи мають низьку ефективність, а тому при спалюванні сільськогосподарських відходів додатково можуть застосовувати вторинні методи на основі хімічного очищення димових газів – окислювальні, відновлювальні і сорбційні.

Найбільш перспективним є відновлювальний метод – за допомогою аміаку (NH_3). На сьогодні під час спалювання біомаси широко використовуються два види аміачного відновлення оксиду азоту – метод селективного некаталітичного відновлення ($900\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$) і каталітичного ($300\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$) відновлення з використанням каталізатора з оксидів різних металів (титан, хром, ванадій). Ефективність систем очистки такими методами становить 30-70% з можливістю підвищення до 90%. У зв'язку з небезпекою використання аміаку (висока токсичність) за кордоном використовують замість аміаку карбамід, по-іншому: сечовину $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Безкаталітичне відновлення має економічні переваги в порівнянні з каталітичним, що застосовується у великих енергетичних та промислових котлах і у котлах-утилізаторах твердих побутових відходів.

Наявність у димових газах окису вуглецю (CO) вказує на неповне згорання палива. Скорочення викидів CO досягають первинними методами. Зазвичай це оптимальна конструкція камери згорання (забезпечення достатнього часу, температури і перемішування для повного вигорання), підготовка палива (сушка та/або подрібнення), ефективний розподіл повітря в топковій камері. Високий рівень викидів CO спостерігається в котлах малої потужності та котлах з періодичним спалюванням, де немає належного регулювання подачі повітря та дотримання температурних режимів експлуатації. Досвід Данії показує, що перехід до використання соломоспалювальних котлів з автоматичною подачею дозволив знизити викиди CO з 1,2% до 0,4%.

Сполуки сірки (SO_x) не лише забруднюють атмосферне повітря, але й викликають корозію металу енергетичного обладнання. Основним джерелом забруднення сполуками сірки є спалювання вугілля і нафтопродуктів, зокрема під час сумісного спалювання біомаси з вугіллям, що практикується в країнах ЄС. У світі поширені два методи очищення димових газів від оксидів сірки: подвійна лужна десульфуризація та напівсуха десульфуризація.

Напівсуха десульфуризація – це проста, відносно дешева, високоефективна система, яка охоплює невелику площу та є зручною в експлуатації. Технологія напівсухого методу сіркоочистки з ефективністю до 95% заснована на подачі сорбенту у звищеному стані в спеціальні реактори, що встановлюються перед рукавними або електрофільтрами. В газовий потік вводиться гашене вапно у вигляді порошку або суспензії, в залежності від температури газового потоку. У процесі сушіння десульфуризатор реагує з діоксидом сірки в димових газах, утворюючи сухі порошкові продукти, які не мають вторинного забруднення і можуть бути повторно використані. Цей вид десульфуризації використовується переважно для очищення димових газів котлів на ТЕС та ТЕЦ. Потужність очищення димових газів однієї башти може застосовуватися на парових котлах потужністю від 50 МВт.

В результаті спалювання твердої біомаси утворюється зола, частина якої потрапляє у систему очистки димових газів, де відбувається їх очищення від твердих часток. Як системи очистки димових газів зазвичай застосовуються такі технологічні рішення, що дозволяють забезпечити дотримання екологічних норм, зокрема: циклони, мультициклони, мокрі інерційні золоуловлювачі, електрофільтри, рукавні фільтри.

Циклони та мультициклони – це механічні сепаратори, принцип дії яких засновано на використанні відцентрових сил. Мультициклон представляє собою серію циклонів, які працюють паралельно

но, що зменшує розмір агрегату. Загальна ефективність системи очистки становить від 65% (для циклонів) до 95% (для мультициклонів). Циклони також використовуються як попереднє очищення перед електрофільтром або рукавним фільтром.

Електрофільтри широко використовують для осаджування частинок при спалюванні різних видів біомаси. Електрофільтр – це пиловловлювач, у якому тверда фаза відділяється від газу в електричному полі коронного розряду. Такий варіант газоочищення є надзвичайно ефективним (98 - 99,5%), причому рівень ефективності майже не знижується для частинок розміром від 1 мкм чи менше. Ступінь уловлювання електрофільтру відповідає кращим рукавним фільтрам. Електрофільтри мають дуже низький аеродинамічний опір. Мокрі системи дещо більш ефективні в умовах захоплення дуже дрібних часток, які можуть містити токсичні метали. Суттєвим недоліком системи газоочищення з електрофільтром є значні капітальні витрати та складність в експлуатації. Установка системи очистки димових газів на основі електрофільтру є економічно доцільною для котлів на біомасі потужністю більше 10 МВт.

Суха газоочистка з використанням рукавних фільтрів зі спеціальної фільтрувальної тканини дозволяє досягнути надзвичайно високого рівня ефективності очистки від твердих часток – 99,99% і навіть для дуже дрібних частинок (менше 1 мкм). Як правило, рукавні фільтри дозволяють зменшити концентрацію твердих часток до 20-50 мг/нм³, а в окремих випадках навіть до 10 мг/нм³, що є достатнім для забезпечення екологічних вимог. Досвід з експлуатації рукавних фільтрів показує, що існує ризик прогорання тканини через незгорілі частинки, що потрапляють у фільтр. Рукавні фільтри не рекомендовано використовувати в невеликих котлах на біомасі з міркувань безпеки. Недоліком системи є також значні капітальні витрати, високий аеродинамічний опір та загроза виходу з експлуатації через зношення або забивання фільтрувальних матеріалів та конденсації водяних парів.

Наявні технології спалювання агробіопалива дозволяють забезпечити допустимий рівень викидів забруднюючих речовин в атмосферу за рахунок встановлення лише газоочисного обладнання для видалення твердих часток. Переважно використовуються рукавні фільтри. На потужних установках, зокрема при сумісному спалюванні біомаси з вугіллям, застосовують установки сіро- і газоочистки.

Перші енергетичні установки в Данії, що працювали на соломі 30-40 років тому, мали високі показники емісій, а викиди оксиду вуглецю та твердих часток перевищували допустимі значення. Згодом Данське агентство з охорони навколишнього природного середовища запропонувало такі граничні значення щодо соломоспалювальних котлів потужністю понад 1 МВт: тверді частки – 40 мг/нм³; оксид вуглецю – максимум 0,05%, O₂ – 10%.

Для установок потужністю менше 1 МВт немає чітко визначених вимог, але органи, які видають сертифікати про затвердження проекту, зазвичай використовують більш жорсткі критерії, ніж для централізованих теплових установок до 1 МВт²⁹. Викиди децентралізованих ТЕЦ в Данії (таблиця 5), що спалюють соломю як паливо становили: CO – 0,05-0,2 від 12% CO₂, тверді частки – 40-50 мг/нм³, SO_x – 280-300 мг/нм³, NO_x – 160-400 мг/нм³. Протягом кількох років Данський технологічний інститут контролював викиди шкідливих речовин від різних котелень централізованого теплопостачання потужністю 20-33 МВт за період 2002-2007 рр. (таблиця 7).

²⁹ Videnblade. Informationsblade om halm og traee til energiformal

Таблиця 7 – Соломоспалювальні котельні централізованого теплопостачання

	Тверді частки, мг/м ³	CO, ppm	NO ₂ , ppm	SO ₂ , мг/м ³
32 МВт 2001-2006	<0,1-1,1	37-153	271-331	85-161
33 МВт 2002-2004	16-37	153-682	22-266	143-215
20 МВт 2004	0,4-1,4	164-285	706-912	151-157

Масштабне використання соломи для енергетичних потреб у Данії потребувало глибокої оцінки і визначення реальних фактичних показників емісії на енергетичних установках. У 2007 році Данським дослідним інститутом екології разом з великою кількістю експертів, спеціалістів компаній та університетів були проведені глибокі вимірювання емісій забруднюючих речовин на різних об'єктах, що в т.ч. використовували соломку³⁰. Розроблена програма досліджень містила дослідження як стандартних газоподібних органічних сполук, так і важких металів, фуранів і альдегідів, поліциклічних вуглеводнів, органічних і ультрадисперсних забруднювачів та ін. (таблиця 8). Зокрема, дослідження проводилися на 6 ТЕЦ, що працюють на соломі, а вимірювання – на 3 ТЕЦ. Значних відмінностей у розмірах викидів у порівнянні з 2000 роком не відбулося, як і відмінностей, пов'язаних з відхиленнями у властивостях соломи. Важливим фактом є те, що вміст ртуті, кадмію та цинку був нижчим в порівнянні з 2000 роком і перебував на нижній межі вимірювання. Результати порівнянь підтверджують, що емісії від спалювання соломи є вищими в порівнянні зі спалюванням газу та деревного палива, проте усі показники перебували нижче рівня дозволених значень.

В Україні постійно відбувається підвищення екологічних вимог та гармонізація вітчизняного нормативного регулювання з європейським. У результаті актуальні європейські екологічні вимоги планується впровадити і в Україні³¹. Директивою 2010/75/ЄС встановлено граничні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря при спалюванні чистої біомаси у великих енергетичних установках сукупною ефективною тепловою потужністю за паливом P > 50 МВт. Вимоги Директиви 2010/75/ЄС набувають чинності в Енергетичному Співтоваристві для всіх великих спалювальних установок після 31 грудня 2027 року. Директивою 2015/2193/ЄС «Про обмеження викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від середніх спалювальних установок» введено гранично допустимі викиди забруднюючих речовин від наявних та нових енергоустановок потужністю P = 1 ... 50 МВт. У 2008 р. в Україні введено технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин від великих енергоустановок номінальною потужністю понад 50 МВт, у яких зазначені перспективні технологічні нормативи викидів³² (таблиця 9).

³⁰ Emissions from decentralised CHP plants 2007

³¹ Особливості застосування нормативних документів щодо обмеження емісії забруднюючих речовин при спалюванні біомаси М.М. Жовмір, М.О. Будько

³² Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт. Наказ № 541 від 22 жовтня 2008 Міністерство охорони навколишнього природного середовища України

Таблиця 8 – Коефіцієнти викидів забруднюючих речовин ТЕС та ТЕЦ на соломі³⁰

Забруднювач	Коефіцієнт викиду	Коефіцієнт викиду у перерахунку на об'єм	Min	Max	Кількість вимірювань	Вид та клас небезпеки сполуки згідно з Наказом України №309	ГДК згідно з Наказом України №309
SO ₂	49 г/ГДж	107,8 мг/м ³	24	78	15	Пароподібні та газоподібні неорганічні сполуки, II клас	500 мг/м ³
NO _x	125 г/ГДж	250 мг/м ³	98	178	14	Пароподібні та газоподібні неорганічні сполуки, IV клас	500 мг/м ³
УНС ©	< 0.94 г/ГДж	< 2,068 мг/м ³	0.8	1.0	7	Незгорілі вуглеводні (клас не визначено)	
CO	67 г/ГДж	147,4 мг/м ³	28	145	16	Пароподібні та газоподібні неорганічні сполуки, IV клас	250 мг/м ³
N ₂ O	1.1 г/ГДж	2,42 мг/м ³	0.8	1.9	6	Клас не визначено	
TSP	2.3 г/ГДж	5,06 мг/м ³	0.1	7	13	Загальний вміст зважених часток	50 мг/м ³
Cd	0.32 мг/ГДж	0,0007 мг/м ³	0.002	0.69	7	Суспендовані тверді частинки (мікрочастинки та волокна), I клас	0,2 мг/м ³
Hg	0.31 мг/ГДж	0,00068 мг/м ³	0.10	0.57	7	Суспендовані тверді частинки (мікрочастинки та волокна), I клас	0,2 мг/м ³
Zn	0.41 мг/ГДж	0,0009 мг/м ³	0.40	0.43	2	Канцерогенні речовини, II клас	1 мг/м ³
PCDD/-F	19 нг/ГДж	0,000042 мг/м ³	1.0	97	9	Поліброміновані дібензові диоксини та фурани, Речовини, віднесені до органічних сполук, клас II	100 мг/м ³
PAH (BaP)	125 мкг/ГДж	0,00000028 мг/м ³	6	440	6	Поліциклічні ароматичні вуглеводні, клас не визначено	
ΣPAH	5946 мкг/ГДж	0,000013 мг/м ³	173	180	2	Поліциклічні ароматичні вуглеводні, клас не визначено	
Naphthalene	12088 мкг/ГДж	0,000027 мг/м ³	1238	40468	6	Речовини, віднесені до органічних сполук, клас I	20 мг/м ³
HCL	56 г/ГДж	0,00000012 мг/м ³	24	75	8	Клас не визначено	
HCB	0.11 мкг/ГДж		0.10	0.15	2	Гексахлоробензен, Клас не визначено	

Таблиця 9 – Перспективні технологічні нормативи допустимих викидів для біомаси

Забруднююча речовина	Номінальна теплова потужність установки (P), МВт	Технологічний норматив, мг/нм ³	
		нових установок	для модернізованих установок
Діоксид сірки SO _x	50 ≤ P ≤ 100	200	200
	100 < P ≤ 300	200	200
	300 < P	150	200
Оксиди азоту NO _x	50 ≤ P ≤ 100	250	300
	100 < P ≤ 300	200	250
	300 < P	150	200
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	50 ≤ P ≤ 100	20	30
	100 < P ≤ 300	20	20
	300 < P	10	20

У 2009 р. в Україні введено технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин від котелень, що працюють на лушпинні соняшнику, оснащених теплосиловими установками номінальною тепловою потужністю менше 50 МВт³³. Міністерством охорони навколишнього природного середовища України ухвалено нормативи щодо гранично допустимих викидів із стаціонарних джерел (таблиця 10).

Таблиця 10 – Граничнодопустимі викиди зі стаціонарних джерел³⁴

Забруднююча речовина	Клас небезпеки	Масовий викид, г/год	ГДК, мг/нм ³
Діоксид сірки SO _x (діоксид та триоксид) у перерахунку на діоксид сірки Оксиди азоту NO _x (оксид та діоксид азоту) в перерахунку на діоксид азоту	IV	> 5000	500
		< 5000	не встановлюється
Оксид вуглецю CO	IV	> 5000	250
		< 5000	не встановлюється
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	–	> 500	50
		< 500	150
Хлор Cl	II	> 50	5
Фтор і його сполуки в перерахунку на HF	II	> 50	5
Сполуки хлору, що не належать до I класу, у перерахунку на HCl	III	> 300	30
Кадмій та його сполуки в перерахунку на кадмій Cd Ртуть та її сполуки в перерахунку на ртуть Hg	I	> 1	0,2

³³ Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря із котелень, що працюють на лушпинні соняшнику. Наказ 13.10.2009 №540. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України

³⁴ Нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел. Наказ 27.06.2006 №309. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України

Для діючих установок здійснюють прямі вимірювання і порівнюють їх із гранично допустимими викидами. Для нових установок, що не введені в експлуатацію, під час розробки проектів з екологічної оцінки допускається використання результатів екологічних випробувань обладнання заводів-виробників на відповідному паливі. У той же час найбільш поширеним є розрахунковий метод оцінки викидів на основі нормативних документів³⁵. На основі розрахованих валових викидів забруднюючих речовин з урахуванням розміщення джерел викидів і кліматологічних умов здійснюється оцінка розсіювання забруднюючих речовин в атмосферу. Результатом такої оцінки є побудова карти розсіювання з концентраціями забруднюючих речовин у приземному шарі. Відповідно до отриманих результатів розсіювання проводиться перевірка допустимих концентрацій на межі санітарно-захисної зони та визначається/перевіряється її розмір.

Одним із способів реалізації принципів сталого розвитку є використання палив із низькими викидами. Вважається, що біомаса є відновлюваною сировиною і уся енергія, що в ній міститься, утворена за допомогою фотосинтезу шляхом перетворення вуглекислого газу з повітря на вуглець у клітинах рослин. Звичайно, при спалюванні біомаси виділяється вуглекислий газ та інші забруднювачі, але цей газ був поглинутий при первинному зростанні спаленої біомаси. Зазвичай для екологічної оцінки виконують розрахунок скорочення викидів парникових газів. До парникових газів відносять: вуглекислий газ (CO₂), метан (CH₄), закис азоту (N₂O), гексафторид сірки (SF₆), галогенізовані фторвуглеводи (HFCs) і фторові вуглеводи (PFCs). Сума обсягів викидів парникових газів з відповідними коефіцієнтами перераховується в умовний еквівалент вуглекислого газу CO₂e, що відображає загальний обсяг викидів від планової діяльності. Вміст вуглецю або вуглецевмісних сполук у паливі визначає теоретичний обсяг утворення вуглекислого газу при повному окислюванні. На практиці обсяг викидів визначають розрахунковим методом на основі усереднених коефіцієнтів емісій (г/ГДж, кг/ТДж)^{36,37}, або на основі елементного складу палива (таблиця 11).

Таблиця 11 – Коефіцієнти емісій різних видів агровідходів

Паливо	C, %	Нижча теплота згорання, МДж/кг	K _{CO2} , г/ГДж (кг/ТДж)	K _{CO2} , T _{CO2} /т
Солома суха	42,7	15,7	99 724	1,57
Солома ріпаку	48	17,6	100 000	1,76
Міскантус	52	19	100 351	1,91
Лушпиння соняшника	42,5	15,43	100 994	1,56
Лушпиння рисове	35,4	18,67	69 523	1,30
Стебло бавовнику	40	14,53	100 941	1,47
Стебло кукурудзи	50	15	122 222	1,83
Стебла соняшника (сух.)	53,3	20	97 717	1,95

Як правило, провідні компанії у сфері енергетики прагнуть досягти найвищих стандартів управління навколишнім середовищем і впроваджують стандарти екологічного менеджменту на своїх підприємствах згідно з ISO 14001: 2015. Цей стандарт вимагає впровадження систем моніторингу та обліку, відповідність яким підтверджується незалежними міжнародним сертифікованим органом.

³⁵ ГКД 34.02.305—2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок..

³⁶ https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf

³⁷ Збірник показників емісій забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Том.1 Донецьк 2004.

Успішність реалізації проєкту з виробництва теплової і електричної енергії з агровідходів значною мірою залежить від ефективності і результативності проведеної роботи на початковій стадії. Тісна співпраця з органами місцевої влади, фермерськими господарствами, підприємствами тепло- та електропостачання, а також з фінансовими установами і населенням є визначальними під час ухвалення рішення про початок реалізації проєкту. Організаційні та фінансово-економічні ризики мають значно вищий вплив на проєкт в порівнянні з технологічними ризиками, а тому потребують глибокої, об'єктивної оцінки та зважених рішень. Як правило, необхідна оцінка виконується в межах підготовки бізнес-планів чи ТЕО проєктів, де детально розглядається майбутня проєктна діяльність, організаційно-технічні рішення, вивчаються та аналізуються можливі ризики.

У цьому розділі основна увага буде присвячена рекомендаціям, що допоможуть у підготовці і реалізації проєктів енергетичного використання агровідходів та будуть сприяти підвищенню їх технічної і економічної ефективності.

БУТИ ЧИ НЕ БУТИ СПІВПРАЦІ З ОМС?

Вже на цьому етапі співпраця з органами місцевого самоврядування та їх готовність підтримувати виробництва в регіоні можуть стати стимулом чи перешкодою для реалізації енергетичного проєкту. Соціально-економічні та екологічні наслідки від нової діяльності цікавлять як представників влади, так і населення. Очікуваний обсяг інвестицій, види діяльності і небезпека чи екологічний вплив, види продукції і обсяг виробництва, очікувана кількість створених робочих місць, рівень податків і зборів, співпраця на суміжних ринках у регіоні, переваги та очікувані результати планової діяльності, соціальна корпоративна відповідальність – це основні питання для публічної презентації ідеї проєкту. Варто наголошувати на прикладах про взаємну вигоду від співпраці. Необхідно донести важливість очікуваної підтримки ОМС у вирішенні питань, що належать до їх компетенції – земельні і архітектурно-будівельні питання, приєднання до інженерних мереж, встановлення тарифів, місцевих податків і зборів, рекомендацій щодо співпраці з сільськогосподарськими підприємствами та ін. Варто пам'ятати, що співпраця з ОМС та місцевим населенням продовжується увесь час протягом існування об'єкту виробництва.

ЧИ СТАНУТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ВІДХОДИ ПАЛИВОМ?

Власниками сільськогосподарських залишків і відходів є сільськогосподарські підприємства від дрібних фермерських господарств до великих агрохолдингів. Незважаючи на світовий досвід та наукові обґрунтування, серед багатьох людей існує упереджене ставлення до використання таких відходів для енергетичних потреб, що базуються на традиційному підході виняткового використання відходів і залишків як органічного добрива. В той же час науковці в сфері ґрунтознавства ви-

знають, що видалення рослинних залишків з полів не призводить до критично різкого зниження якості ґрунтів. А збільшення обсягів внесення органічних і мінеральних добрив дозволяє збільшити обсяг вилучення поживних залишків до 70% без погіршення якості ґрунтів³⁸. Як свідчать дані про виробництво і використання соломи в наукових установах і науково-дослідних господарствах Української академії аграрних наук, для енергетичних потреб можна використати значний її обсяг. Якщо врахувати ще й стебла кукурудзи, соняшнику, ріпаку, то резерв для отримання теплової енергії є.³⁹

Сільськогосподарські підприємства оцінюють переваги від можливості отримання додаткового доходу від реалізації залишків та зважують власні ризики. Якщо враховувати середню врожайність пшениці 3-5,7 т/га та можливий обсяг заготівлі соломи 2-4 т/га, то за таких умов додатковий дохід на 1 га може становити 5-10% до вартості зерна пшениці.

Відповідно до рейтингів регіонів за врожайністю пшениці лідерами є Хмельницька, Черкаська та Вінницька області – понад 5 т/га, де існують передумови для використання соломи як палива. Найвища врожайність кукурудзи (7-7,5 т/га) та утворення залишків, спостерігається в північних регіонах – Волинська, Хмельницька, Тернопільська, Чернігівська області. Хоча найбільші посівні площі соняшника зосереджені в південних та східних регіонах, найвища врожайність (2,4-2,9 т/га) спостерігається у Вінницькій, Тернопільській та Рівненській областях. Як правило, у кожному регіоні працюють декілька потужних агрокомпаній, і розпочинати роботу варто саме з них. Саме потужні компанії мають забезпечувати основний обсяг відходів (понад 30%) та здатні мінімізувати можливі ризики в постачанні.

Потенціал утворення агровідходів, без врахування розораності земель та сівозміни в радіусі 5 км є достатнім для роботи опалювальної котельні потужністю 2-5 МВт, а в радіусі 30 км потенціал відходів є достатнім для роботи ТЕЦ з електричною потужністю 10-15 МВт (таблиця 12). Збільшення плеча доставки є вимушеним заходом, що пов'язано зі сівозмінами та ринковими умовами і призводить до збільшення витрат на транспортування. Таким чином, наближення споживача до місця утворення агровідходів є одним з ключових завдань під час вибору майданчика для реалізації проєкту.

Таблиця 12 – Середній потенціал утворення відходів, тис. т

Сировина	Утворення відходів, т/га	Радіус доставки, км			
		5	10	30	50
Солома зернових	2	3,9	15,7	141,3	392,5
	4	7,9	31,4	282,6	785,0
Стебла кукурудзи	5	9,8	39,3	353,3	981,3
Стебла соняшника	3	5,9	23,6	212,0	588,8

Промислова заготівля вимагає високого матеріально-технічного забезпечення та значних фінансових витрат. Дрібні фермерські господарства, як правило, не мають змоги придбати власну техніку чи забезпечити заготівлю, що позбавляє їх можливості повноцінної участі на ринку постачальників. Поширеною практикою є зацікавленість фермерських господарств продати відходи в полі, без будь-яких зобов'язань по заготівлі, складуванню та доставці на об'єкти енергетики. Трапляється, що організація заготівлі відходів вимагає зміни існуючої практики землеробства, зміни технології зби-

³⁸ Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України.

³⁹ Науково-практичні підходи до використання соломи та рослинних решток М.Д. Безуглий, академік УААН В.М. Булгаков, член кореспондент УААН І.В. Гриник, член кореспондент УААН.

рання врожаю та використання інших видів техніки. Неготовність до змін, часто стає перешкодою для співпраці, а тому потребує значних зусиль та часу для компромісів і пошуку взаємовигідних рішень. Кооперація і створення спеціалізованих заготівельних компаній, оренда і лізинг техніки – це європейський досвід, який варто розвивати і в Україні. Сільськогосподарські підприємства чи дрібні фермерські господарства можуть стати не лише союзниками чи постачальниками паливної сировини, але й партнерами у реалізації енергетичного проєкту і розділити не лише інвестиції, але й ризики.

Обираючи регіон для реалізації проєкту, варто враховувати такі аспекти:

- які агровідходи будуть основною паливною сировиною;
- які відходи можна додатково використовувати як паливну сировину;
- доступний обсяг відходів у радіусі 50 км і їх концентрація (щільність розміщення) агровідходів;
- потенційна кількість постачальників у радіусі 50 км, хто вони і які у них технічні і фінансові можливості;
- яка наявна практика в регіоні, досвід заготівлі та зацікавленість у співпраці;
- який наявний рівень ціни на сировину та відходи та послуги із заготівлі.

З метою пошуку компромісу та задля пом'якшення негативного впливу вилучення поживних решток на користь енергетики, науковці пропонують такі заходи, що можуть бути рекомендовані сільськогосподарським підприємствам, які мають намір здійснювати заготівлю агровідходів для енергетичних потреб⁴⁰:

- застосування «no-till» технології обробітку землі, без переорювання;
- збір соломи здійснювати лише раз на 2-3 роки;
- висаджувати сидеральні культури на зелене добриво після збору урожаю;
- залишати стебла та листя в ґрунті;
- 2/3 поживних решток залишати + 1/3 компенсувати за рахунок внесення органічних добрив;
- забезпечити повернення золи від спалювання соломи в поле;
- встановити вимоги щодо збалансованого удобрення ґрунтів;
- використовувати інші органічні добрива: зброджена маса з біогазових станцій, гній тощо
- надавати перевагу використанню стебел кукурудзи, а не соломи пшениці.

Готовність сільськогосподарських підприємств змінюватися та співпрацювати на довгострокових умовах визначає, чи стануть колись сільськогосподарські відходи і залишки паливом.

ЩО З ЛОГІСТИКОЮ ПАЛИВНОЇ СИРОВИНИ?

Економічна успішність енергетичного використання сільськогосподарських відходів меншою мірою залежить від обсягу капітальних інвестицій у порівнянні з операційними витратами, основна частка яких пов'язана з витратами на закупівлю паливної сировини. Мінімізація ціни палива може досягатися завдяки високому рівню організації та ефективності на усіх етапах ланцюга постачання: заготівля, складування і транспортування. Організаційні і технічні аспекти заготівлі побічних продуктів вирощування пшениці, кукурудзи та соняшника були досліджені в попередніх аналітичних записках БАУ та інших джерелах, що були використані у процесі підготовки цього дослідження⁴¹.

В Україні немає ринку біомаси, що значно обмежує і стримує розвиток і впровадження нових енергетичних об'єктів, що орієнтовані на закупівлю паливної сировини на ринку. Слабкий рівень

⁴⁰ Вплив на ґрунти вилучення поживних решток та можливі заходи для зменшення такого впливу. Про вплив на вуглець ґрунту різних способів поводження з поживними рештками. Автори: Ян Петер Лешен, Вагенінгенський університет та дослідний центр, Нідерланди Уолтер Елберсен, Вагенінгенський університет та дослідний центр, Нідерланди.

⁴¹ Звіт про аналіз технічних рішень для виробництва енергії з твердого біопалива. Завдання 3. ІМП Проєкт USAID "Місцеві альтернативні джерела енергії" м. Миргород.

мотивації та низька фінансова спроможність більшості сільськогосподарських підприємств змушує потенційні зацікавлені сторони самостійно займатися вирішенням питань логістики. Практичний досвід заготівлі соломи для енергетичних потреб у промислових масштабах можна спостерігати на прикладах підприємств, що займаються виробництвом гранул і брикетів – Вінпелета, Авертех, Bioenergy Вінниця⁴². В таких компаніях були створені окремі підрозділи, що займаються логістикою сировини та мають власну техніку для заготівлі, складування і транспортування. Відпрацьована технологія заготівлі і досвід, дозволять ефективно організувати процеси на кожному етапі ланцюгів постачання і можуть бути корисними для подальшого застосування в Україні. Окрім цього, згадані компанії готові на комерційній основі надавати послуги із заготівлі, використовуючи власну техніку та досвід.

Організація логістики вимагає закупки/оренди та використання великої кількості і широкого асортименту спеціалізованої техніки, що залежить від обсягів заготівлі, уже наявної техніки і фінансових можливостей підприємств. Варто пам'ятати, що спеціальне обладнання, таке як штабелери тюків чи підбирачі тюків, не набули широкого застосування в Україні, і кількість пропозицій на ринку є обмеженою. В той же час існує можливість закупівлі б/у техніки з ЄС після сервісного обслуговування, що є привабливим альтернативним рішенням.

Розглянемо принцип організації заготівлі на прикладі соломи зернових. Виходячи з продуктивності зернозбиральних комбайнів (5-6 га/год), обсяг укладання соломи у валок може становити 10-25 т/год. Як правило, продуктивність прес-підбирачів для формування великих тюків соломи є достатньою, аби забезпечити тюкування утвореного обсягу соломи і становить близько 20-30 т/год. Використання штабелера тюків та підбирачів тюків дозволяє пришвидшити збирання тюків у полі, де на один зернозбиральний комбайн необхідно не менше двох підбирачів тюків. За умови використання фронтальних навантажувачів їх кількість має бути у 3-5 разів більша за кількість зернозбиральних комбайнів або треба збільшити час їх корисного використання. В умовах перевезення тюків соломи для складування на відстань до 5 км достатньо двох автомобілів, що кожних 1,5 години будуть перевозити не менше 10 т тюків соломи кожен. За збільшення відстані до складів тривалого зберігання до 50 км необхідна кількість автотранспорту може зрости до 6-8 од. Варто врахувати, що за таких умов можуть настати обмеження пропускної здатності складів і простої транспорту в очікуванні розвантаження. Саме з цих причин доцільно організувати складування заготовленої сировини безпосередньо на полях з подальшим відвантаженням після завершення сезону збору врожаю. Недоліком зберігання соломи в полі є необхідність виділення частини поля для організації складів з дотриманням вимог пожежної безпеки та належних під'їзних шляхів для використання їх в осінньо-зимовий і весняний період. Також виникають додаткові витрати на перевантаження і необхідність організації накриття для захисту сировини від опадів. Організація логістики передбачає додаткові витрати та час на перевезення чи самостійне переміщення техніки, що має здійснюватися з врахуванням організації оптимальних маршрутів та використанням спецтехніки. Аналогічні рекомендації стосуються використання інших рослинних залишків, зокрема стебел кукурудзи та соняшника, проте варто врахувати, що їх вологість є вищою і вага тюків буде більшою.

Для організації ефективної логістики рослинних залишків на прикладі соломи варто врахувати такі рекомендації:

– **заготівля:**

- короткий термін збору врожаю та обмежені терміни вивезення агровідходів з поля;
- можливість заготівлі різних агровідходів, збір яких проводиться в різний період часу (ріпак, пшениця, овес, жито, кукурудза, ін.);
- необхідність використання сучасної, надійної і високопродуктивної техніки в необхідній кількості;

⁴² Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси. Посібник. 2016. За підтримки ПРООН в Україні



Рисунок 6 – Штабелер тюків та вивантаження тюків з платформи автоматичного підбирача тюків

- можливість використання б/у техніки;
 - повна або часткова наявність власної техніки;
 - оренда або лізинг техніки, залучення спеціалізованих організацій із власною технікою;
 - здійснення заготівлі за умови, що вологість сировини не перевищує 15%;
 - кут нахилу полів має бути мінімальним, а розмір полів та їх концентрація має бути максимальною;
 - мінімізація тиску на ґрунт від використання техніки;
 - оптимальною для заготівлі є кількість соломи не менше 3 т/га;
 - за щільності валка менше 1,5 кг/м, рекомендується додаткове використання грабелів для здвоєння валків перед пресуванням;
 - рекомендована щільність пресування соломи в тюки має становити 120-140 кг/м. куб;
 - висота тюків: 0,7 і 1,3 м;
 - довжина тюків: 2,4-2,5 м.
- **транспортування:**
- використання підбирача тюків, платформ для тюків та причепів довжиною 12-16 м для перевезення в межах поля та на відстань до 5 км;
 - допустима висота перевезення вантажу – 4,5 м (3х1,3м або 5х0,7м), висота завантаження причепу – до 1 м;
 - вантажопідйомність – 10-15 т;
 - перевага використання автомобілів з причепом довжиною 7,5-8 м кожен;
 - завчасне облаштування зручних виїздів / з'їздів з полів;
 - надійне кріплення і використання стропів;
 - використання тентового накриття під час перевезення дорогами загального користування;
- **складування:**
- висота складування до 8 м (6х1,3 м) з можливістю автоматичного розвантаження платформи підбирача тюків;
 - тимчасове зберігання на території об'єктів енергетики в закритих складах;
 - використання накриття (солома, плівка) за тривалого зберігання на полі, зберігання під навісами;
 - облаштування протипожежних заходів (розриви, блискавкозахист, оборювання);
 - використання фронтальних або телескопічних навантажувачів 1,5 т з вильотом стріли 10-12 м;

– **загальні:**

- мінімальна кількість перевантажень та проходів техніки;
- наявність в Україні сервісного обслуговування, бажано 24/7;
- наявність складів запасних частин;
- використання сучасних систем навігації та контролю витрат палива.



Рисунок 7 – Завантаження та перевезення тюків соломи

СИРОВИНА ЧИ ПОКРАЩЕНЕ БІОПАЛИВО?

Як паливо для енергетичних об'єктів може використовуватися як сировина (агровідходи, залишки і побічні продукти) у натуральному вигляді, так і спеціально вироблене паливо з агросировини. З метою покращення фізичних, хімічних і енергетичних показників сировини, а також для покращення умов зберігання, транспортування чи спалювання здійснюють виробництво покращеного палива – гранул і брикетів, підсушеного чи подрібненого біопалива, виробництво сумішевого палива з гарантованими показниками. Широкого застосування набула практика використання і виробництва гранул і брикетів з лушпиння соняшника, розвивається напрям виробництва гранул із соломи, стебел соняшника і кукурудзи^{22, 43}.

Як правило, виробництво покращеного палива є вимушеною мірою, що призводить у т.ч. до збільшення ціни біопалива, а відповідно і до зростання собівартості виробництва теплової та електричної енергії. За використання агровідходів така необхідність виникає, в першу чергу, внаслідок низької насипної щільності сировини, що вимагає великих об'ємів складів для зберігання та призводить до високих витрат на транспортування одиниці маси/енергії. Гранулювання сировини дозволяє підвищити насипну щільність у 5 разів, що є особливо актуальним для лушпиння соняшника чи соломи. Використання агровідходів з високим вмістом вологи, понад 25% в період збору врожаю, не дозволяє забезпечити тривале зберігання запасу сировини, що може викликати гниття і втрату паливних характеристик. У такому випадку додаткова сушка сировини або сушка з виробництвом гранул може стати прийнятним рішенням, зокрема за використання стебел соняшника і кукурудзи. Висока вологість палива і його низька насипна щільність можуть створювати перешкоди під час використання в енергетичному обладнанні. Паливо може зависати в бункерах, забивати системи паливоподачі або вилітати разом із димовими газами, не згорівши. Для прикладу, в котлах з киплячим шаром можливе використання лише гранульованого палива, а використання палива з високою «парусністю» не допускається. Енергетична, екологічна та економічна оцінка доцільності гранулю-

⁴³ Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно.
Аналітична записка UABIO № 23

вання лушпиння соняшника⁴⁴ підтверджує, що при транспортуванні палива до 280 км немає необхідності грануляції з усіх точок зору, і може бути лише вимушеною мірою.

За наявності відповідних організаційних і технічних рішень, економічної доцільності перевагу варто віддавати використанню паливної сировини в натуральному вигляді за мінімальною ціною.

ЯКОЮ МАЄ БУТИ ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ З АГРОВІДХОДІВ?

Специфічні особливості агровідходів як палива вимагають не лише спеціального енергетичного обладнання, але й особливих організаційних підходів і технологічних рішень, що першочергово визначаються видом паливної сировини. З іншого боку, процес виробництва і відпуску теплової чи електричної енергії є ідентичним використанню інших видів палива, зокрема деревної біомаси. Основні відмінності стосуються організації складів, паливopодачі, організації спалювання, газоочистки та утилізації золи. Як правило, інвестиційні витрати на виробництво енергії за використання сільськогосподарських відходів і залишків як палива є вищими в порівнянні з деревними біопаливами. А тому з економічної точки зору доцільним є будівництво відповідних об'єктів потужністю понад 3-5 МВт з цілорічним тепловим навантаженням. Реалізація комбінованого виробництва теплової та електричної енергії може забезпечити не лише високу енергетичну ефективність виробництва, але й диверсифікувати види продукції в залежності від ринкових умов.

Для організації ефективного виробництва енергії на котельнях і ТЕЦ варто врахувати такі рекомендації відповідно до потужності:

- **майданчик для будівництва:**
 - наявність зручних під'їзних шляхів із врахуванням трафіку;
 - достатня площа для будівництва і розміщення складів палива;
 - можливість розміщення гаражів для зберігання власної техніки для заготівлі сировини;
 - забезпечення пожежних розривів, захисних і охоронних зон;
 - забезпечення санітарно-захисної зони, не менше 50 м до житлової забудови;
 - пожежні резервуари чи водойми із запасом води;
 - огороження території та обмежений доступ;
- **оперативні (витратні) склади і тривале зберігання:**
 - організація вагового контролю доставки палива;
 - організація закритих оперативних складів із твердим покриттям і запасом палива до 2-х тижнів;
 - організація альтернативних відкритих складів тривалого зберігання палива відповідно до наявної площі;
 - використання автоматизованого кранового обладнання в оперативних складах палива відповідно до розмірів тюків та схеми розвантаження;
 - висота паливного складу до 8 м;
 - ширина прольотів складу має бути кратною довжині тюків (2,5 м) з врахуванням проїздів та довжини причепів (7,5-14 м);
 - можливість використання мобільних фронтальних, телескопічних навантажувачів для внутрішніх складських перевантажень;
 - організація системи пожежної сигналізації та пожежогасіння, блискавкозахисту;
 - організація природньої вентиляції і природнього освітлення;
 - періодична очистка усіх поверхонь від пилу – пожежна безпека;

⁴⁴Енергетична, екологічна та економічна оцінка ефективності організації використання твердого біопалива. Олійник Є.М.

- **паливоподача і паливоприготування;**
 - використання автоматизованих ліній подачі палива /конвеєрів;
 - перевага у використанні закритих систем паливоподачі з метою зменшення шуму та пило-виділення;
 - перевага розрізанню тюків, а не подрібненню в січку;
 - використання низькообертового обладнання для подрібнення;
 - перевага у використанні гідравлічних систем подачі над шнековими системами;
 - облаштування протипожежних заслінок;
- **технологія спалювання:**
 - спалювання в шарі на решітках;
 - використання водоохолоджувальних перештовхувальних і вібраційних решіток;
 - зонна подача повітря і рециркуляція димових газів;
 - контроль кисню у димових газах через λ -зонд;
 - використання мультициклонів і рукавних фільтрів;
 - автоматична очистка поверхонь нагріву;
 - золовидалення в герметичні контейнери в закритих складах;
 - розміщення мокрих систем золовидалення в закритих і опалювальних приміщеннях;
 - стаціонарний автоматичний контроль емісії CO та інших сполук в димових газах;
- **загальні:**
 - чіткі вимоги і умови поставки палива (розміри, допустимі показники, принципи формування ціни в залежності від якості);
 - графік доставки і умови оплати;
 - вхідний контроль якості палива – експрес-аналіз, відбір контрольних зразків, періодичні лабораторні дослідження;
 - автоматизований облік доставки палива.

8

**КРАЩІ ПРАКТИКИ
ВИКОРИСТАННЯ
СІЛЬСЬКО-
ГОСПОДАРСЬКИХ
ВІДХОДІВ ДЛЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ПОТРЕБ**

ПТАХОКОМПЛЕКС «ДНІПРОВСЬКИЙ»

Проект реалізовано в с. Першотравневе Дніпропетровської області у 2012 році. В результаті, опалення пташників «Першотравневий» і «Нетельне» птахокомплексу «Дніпровський» переведено з природного газу на біопаливо. В котельнях встановлені котли, які працюють на власній тюкованій соломі, що дозволяє підприємству економити до 3,5 млн м³ газу щорічно.

Оператор	Агропромислова група компаній «Дніпровська»
Місцезнаходження	с. Першотравневе Дніпропетровської області
Теплова потужність	2x5 МВт
Котел	TTS Group (Чехія)
Вид палива	Солома тюкована
Рік будівництва	2012

Дві котельні потужністю 5 МВт кожна були укомплектовані твердопаливними котлами VESKO-S виробництва TTS Group (Чехія). Основне паливо — прямокутні тюки соломи шириною 1,2 м, висотою 0,7-1,2 м та довжиною 2,2-2,5 м. Вага одного такого тюка становить від 200 до 420 кг. Годинна витрата соломи становить 5 тюків. Солома заготовлюється на власних полях із застосуванням техніки і персоналу підприємства.

Тюк соломи подається без застосування великої кількості електроенергії, практично безшумно і без пилу, розділяється на менші частини і за необхідності, подається на колосникову решітку камери спалювання. Загальна споживана електрична потужність кожної котельні становить до 215 кВт. Димові гази фільтруються у рукавному фільтрі, що забезпечує необхідні екологічні показники роботи котла.

На котельні працюють дві особи, що стежать за роботою котла та вчасно подають паливо зі складу. Загальна тривалість будівництва з урахуванням проектування склала 7 місяців.



Рисунок 8. Котельня на соломі птахокомплексу «Дніпровський»

НИВА ПЕРЕЯСЛАВЩИНИ

У 2017 році компанія «Нива Переяславщини» збудувала парову котельню на тюкованій соломі⁴⁵. Кошти надані в межах програми ЄБРР – FINTECC. Котельня працює на соломі та виробляє технологічний пар для виробничого майданчика в с. Переяславське. Солома заготовлюється на власних полях підприємства.

В котельні встановлено паровий котел Danstoker паропродуктивністю 2,5 т/год та системою паливopодачі компанії Linka (Данія). Конструктивні особливості та автоматика котла забезпечують регулювання процесу згорання палива і високий показник ККД, завдяки чому в ньому згорають практично всі рештки. Для очистки димових газів встановлено фільтр циклонного типу. З 2009 року компанія встановила котли на соломі на всіх дев'яти свинокомплексах підприємства.

Оператор	Група компаній «Нива Переяславщини»
Місцезнаходження	с. Переяславське, Київська область
Теплова потужність	2,5 т/год, 2 МВт
Котел	Danstoker, Linka-H
Вид палива	Солома тюкована
Рік будівництва	2017



Рисунок 9. Парова котельня компанії «Нива Переяславщини»

СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ У МІСТІ ТРЕБІШОВ (СЛОВАЧЧИНА)⁴⁶

Нова котельня в системі централізованого теплопостачання забезпечує теплом усе місто, використовуючи тюки соломи та деревну тріску. Основними частинами котельні є два промислові котли від компанії TTS Group, кожен потужністю 4 МВт. Котли обладнані електрофільтром та рукавним фільтром для зменшення викидів твердих частинок.

Оператор	Národná energetická
Місцезнаходження	м. Требішов, Словаччина (25 000 жителів)
Теплова потужність	8 МВт
Виробник котла	TTS Group (Чехія)
Вид палива	Солома тюкована (4 МВт), деревна тріска (4МВт)
Рік будівництва	2016

⁴⁵ <http://visnik-press.com.ua/?p=83637>

⁴⁶ <http://www.trebisovskaenergeticka.sk/aky-mame-system-vykurovania>

Інвестором та оператором нової котельні є приватна компанія Trebišovská energyická sro. Система опалення пройшла повну реконструкцію (11 км нових труб). Початкова система була розділена на кілька окремих схем, які залежали від використання природного газу на семи малих котельнях. Ці окремі контури були з'єднані в один контур, а виробництво тепла було перенесено на околиці міста, де було збудовано нове центральне джерело тепла. Природний газ значною мірою був замінений біомасою – особливо соломою та деревною стружкою. Природний газ використовується лише як додаткове джерело тепла в момент максимального споживання (тобто лише за надзвичайно низької температури протягом зимових місяців).



Рисунок 10. Система централізованого теплопостачання у місті Trebišov, Словаччина

ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ МІАЙАДАС (MIAJADAS)

Електростанція Miajadas⁴⁷ побудована у 2010 році в Іспанії. Це перша в Європі електростанція, що здатна використовувати два типи біомаси – трав'янисту та деревну. Проект був розроблений як науково-дослідний разом із компаніями та технологічними центрами в Іспанії, Фінляндії та Данії.

Нові методи забезпечення стійкості виробництва енергії з біомаси передбачають використання GPS та геоінформаційних систем (ГІС) для управління поставками, а також спеціальних протоколів та систем управління, що забезпечують ефективне спалювання без попереднього висушування палива. Станція забезпечує близько 100 робочих місць (25 з яких безпосередньо на станції). Acciona підписала загалом 120 контрактів на поставку біомаси, 20 з яких із компаніями сільськогосподарського та лісового господарства та 100 – з фермерами.

Оператор	ACCIONA
Місцезнаходження	Miajadas, Касерес, Іспанія
Електрична потужність	15 МВт
Технологія	Решітка
Вид палива	Трав'яниста та деревна біомаса
Рік будівництва	2010

Ключові показники:

- Середньорічне виробництво електроенергії: 128 ГВт-год.
- Споживається 110 000 тонн біомаси на рік.
- Скорочення викидів парникових газів становить 123 000 т CO₂e на рік.

⁴⁷ <https://www.acciona-energia.com/areas-of-activity/other-technologies/biomass/major-projects/miajadas-biomass-plant>



Рисунок 11. Електростанція Míajadás, Іспанія

ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ НА БІОМАСІ MOSTEK⁴⁸

Електростанція використовує гранули з сільськогосподарської біомаси, що виробляються безпосередньо на території електростанції. Паровий котел з киплячим шаром номінальною тепловою потужністю 17,2 МВт забезпечує роботу конденсаційної турбіни з проміжним відбором пари потужністю 4,9 МВт. Конструкція котла дозволяє спалювати окрім сільськогосподарської біомаси, також деревну стружку, шлам стічних вод тощо. Диверсифікація джерел дозволяє оптимізувати постачання електроенергії.

Оператор	RSJ Investments, Dewarec
Місцезнаходження	Північна Богемія, Чеська Республіка
Електрична потужність	4,9 МВт
Технологія	котел із псевдозрідженим шаром, 17,2 МВт
Вид палива	Трав'яниста біомаса (гранули з соломи та сіна)
Рік будівництва	2014

Ключові показники:

- виробництво електроенергії – 38 600 МВт*год./рік
- споживання палива (гранули з соломи та сіна) – 40 000 т/рік
- власний блок гранулювання



Рисунок 12. Електростанція Mostek, Чехія

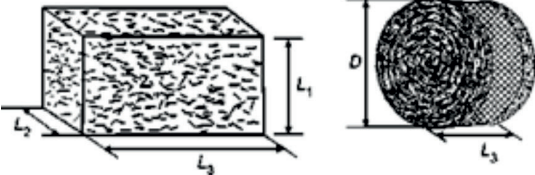
⁴⁸ <https://www.mostekenergo.cz/index.php/o-projektu.html>

Додаток 1 – Класифікація твердого біопалива за походженням і джерел одержання біомаси (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014. Таблиця 1)

Основна група	Група другого рівня	Підгрупа третього рівня	Підгрупа четвертого рівня	
1. Деревна біомаса	*	*	*	
2. Трав'яна біомаса	2.1 Сільськогосподарська і садівнича трав'яна біомаса	2.1.1 Зернові культури	2.1.1.1 Цілі рослини 2.1.1.2 Солома 2.1.1.3 Зерна і насіння 2.1.1.4 Лушпиння і шкаралупа 2.1.1.5 Штучні і мимовільні суміші	
		2.1.2 Трави	2.1.2.1 Цілі рослини 2.1.2.2 Солома 2.1.2.3 Насіння 2.1.2.4 Лушпиння 2.1.2.5 Штучні і мимовільні суміші	
		2.1.3 Олійні культури	2.1.3.1 Цілі рослини 2.1.3.2 Стебла і листя 2.1.3.3 Насіння 2.1.3.4 Лушпиння і шкаралупа 2.1.3.5 Штучні і мимовільні суміші	
		2.1.4 Коренеплоди	2.1.4.1 Цілі рослини 2.1.4.2 Стебла і листя 2.1.4.3 Коріння 2.1.4.4 Штучні і мимовільні суміші	
		2.1.5 Бобові культури	2.1.5.1 Цілі рослини 2.1.5.2 Стебла і листя 2.1.5.3 Плоди 2.1.5.4 Лушпиння 2.1.5.5 Штучні і мимовільні суміші	
		2.1.6 Квіти	2.1.6.1 Цілі рослини 2.1.6.2 Стебла і листя 2.1.6.3 Насіння 2.1.6.4 Штучні і мимовільні суміші	
		2.1.7 Трав'яна біомаса садів, парків, придорожніх насаджень, виноградників і фруктових садів		
		2.1.8 Штучні і мимовільні суміші		
	2.2 Побічні продукти і відходи харчової промисловості і промислової переробки трав	2.2.1 Хімічно не оброблені трав'яні відходи	2.2.1.1 Зернові культури та трави 2.2.1.2 Олійні культури 2.2.1.3 Коренеплоди 2.2.1.4 Бобові культури 2.2.1.5 Квіти 2.2.1.6 Штучні і мимовільні суміші	
		2.2.2 Хімічно оброблені трав'яні відходи	2.2.2.1 Зернові культури та трави 2.2.2.2 Олійні культури 2.2.2.3 Коренеплоди 2.2.2.4 Бобові культури 2.2.2.5 Квіти 2.2.2.6 Штучні і мимовільні суміші	
2.2.3 Штучні і мимовільні суміші				
2.3 Штучні і мимовільні суміші				
3. Плодова біомаса		*		
4. Біомаса водних рослин		*		
5. Штучні і мимовільні суміші біомаси		*		

* – детальні дані наведено в ДСТУ EN ISO 17225-1 2014

Додаток 2 – Технічні характеристики тюкovanого палива з соломи, очеретяної канаркової трави і міскантусу (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014. Таблиця 10)

Нормовані Характеристики	Походження: Згідно з 6.1 і таблиці 1 цього стандарту		2.1.1.2 Солома зернових культур; 2.1.2.1 Цілі рослини (очеретяна канаркова трава і міскантус); 2.1.2.2 Солома трав; 2.1.3.2 Стебла і листя олійних культур.		
	Торговельна форма		Круглі і прямокутні стоси		
	Розміри		 <p align="center">L₁ - висота; L₂ - ширина; L₃ - довжина; D – діаметр Рисунок 1- Приклади кип</p>		
	Кругла кіпа		Діаметр (D)	Довжина (L₃)	
	D1		1,2 – 1,5 м	1,2 м	
	D2		1,6 – 1,8 м	1,5 м	
	Прямокутна кіпа		Висота (L₁)	Ширина (L₂)	Довжина (L₃)
	P1		≤ 0,35 м	≤ 0,4 м	≤ 0,5 м
	P2		≤ 0,9 м	≤ 1,2 м	1,5 – 2,8 м
	P3		≤ 1,3 м	≤ 1,2 м	1,0 – 3,0 м
P3+		> 3 м (вказують максимальне значення)			
Щільність кіпи, BD (кг/м³ на робочий стан)					
BD100		> 100 кг/м ³			
BD120		120 кг/м ³			
BD160		160 кг/м ³			
BD180		180 кг/м ³			
BD220		220 кг/м ³			
BD240+		>240 кг/м ³ (вказують максимальне значення)			
Вологість, M (% на робочий стан)					
M10		<10%			
M15		<15%			
M20		< 20%			
M25		< 25%			
M30		< 30%			
M30+		> 30% (вказують максимальне значення)			
Зольність, A (% на сухий стан)					
A4.0		<4%			
A5.0		<5 %			
A6.0		<6 %			
A7.0		<7 %			
A8.0		<8 %			
A10.0		< 10 %			
A10.0+		> 10 % (вказують максимальне значення)			
Вміст хлору, Cl (% на сухий стан)					
Cl 0.01		< 0,01 %			
Cl 0.02		< 0,02 %			
Cl 0.03		< 0,03 %			
Cl 0.07		< 0,07 %			
Cl 0.10		<0,10 %			
Cl 0.10+		>0,10 % (вказують максимальне значення)			

Нормовані Характеристики	Вид біомаси	Слід вказувати [Наприклад: пагони очеретяної канаркової трави (<i>Phalaris arundinacea</i> L.) або Міскантус (<i>Miscanthus Giganteus</i>)]
	Нижча теплота згорання, Q (МДж/кг або кВт-год/кг на робочий стан) або питома енергоємність, E (МДж/м ³ або кВт-год м ³ неутрабованого)	Вказують мінімальне значення.
Довідкові характеристики	Спосіб виробництва	Рекомендується вказувати спосіб виробництва, від якого залежить довжина соломи в стосі. Так, злак може бути обмолочено в ротаційних або вібраційних машинах, або шляхом застосування ударної сили. Для очеретяної канаркової трави або міскантусу вказують: заготівля цілих рослин.
	Матеріал обв'язки кип	Рекомендується вказувати матеріал, використаний для обв'язування кип (сітчасте полотно, пластиковий шнур)
	Плавкість золи ^a (° C) по CEN/TS 15370-1	Слід вказати

^a Рекомендується вказувати всі характерні температури (початкову температуру усадки SST, температуру деформації DT, температуру півсфери НТ і температуру розтікання FT), що визначаються в окислюючій атмосфері.

Додаток 3 – Типові значення показників, що характеризують властивості деяких видів лушпиння та мальви (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014)

Назва показника	Одиниця вимірювання	Рисове лушпиння	Лушпиння соняшника	Мальва пенсильванська
Зольність	%	13 — 23	1,9-7,6	2,8
Вища теплота згорання	МДж/кг	14,7 — 6,6	18 — 23	19,0
Нижча теплота згорання	МДж/кг	14,5 — 16,2	17 — 22	17,7
Вуглець	%	38 — 43	51,5 — 52,9	—
Водень	%	4,3-5,1	5,0 — 6,6	5,9
Кисень	%	35 — 47	36 — 43	—
Азот	%	0,1 — 0,8	0,6-1,4	—
Сірка	%	0,02 — 0,10	0	0,05
Хлор	%	0,03 — 0,3	0 — 0,1	0,02
Калій	мг/кг	2800 — 4300	—	—
Натрій	мг/кг	33 — 38	—	—

Додаток 4 – Типові значення показників, що характеризують властивості соломи, яка не містить зерна, або містить його в незначних кількостях, свіжої очеретяної канаркової трави, міскантусу (ДСТУ EN ISO 17225-1 2014)

Назва показника	Од. вимір.	Солома пшениці, жита, ячменю (2.1.1.2)		Солома олійного ріпаку (2.1.3.2)		Канаркова трава				Міскантус (Китайський очерет) (2.1.2.1)	
		Типове значення	Типовий діапазон значень	Типове значення	Типовий діапазон значень	(Липень-жовтень) (2.1.2.1)		(березень-травень) (2.1.2.1)		Типове значення	Типовий діапазон значень
						Типове значення	Типовий діапазон значень	Типове значення	Типовий діапазон значень		
Зольність	%	5	2 – 10	5	2 – 10	6,5	2,5 – 10	6,9	1,0 – 8,0	4	1–6
Вища теплота згорання	МДж/кг	18,8	16,6 – 20,1	18,8	16,6 – 20,1	17,7	—	17,8	17,7 – 18,0	19	17 – 20
Нижча теплота згорання	МДж/кг	17,6	15,8 – 19,1	17,6	15,8 – 19,1	16,6	—	16,5	16,5 – 17,0	17,7	16 – 19
Вуглець	%	47	41 – 50	48	42 – 52	46	—	46	45 – 50	47	46 – 52
Водень	%	6	5,4 – 6,5	6	5,4 – 6,5	5,7	—	5,8	5,7 – 6,2	6,1	5,0 – 6,5
Кисень	%	41	36 – 45	41	36 – 45	40	—	42	40 – 43	42	40–45
Азот	%	0,5	0,2-1,5	0,8	0,3-1,6	1,3	—	0,9	0,4 – 2,0	0,7	0,1 – 1,5
Сірка	%	0,1	<0,05 – 0,20	0,3	< 0,05 – 0,70	0,1	0,1 – 0,2	0,13	0,04 – 0,17	0,2	0,02 – 0,60
Хлор	%	0,4	<0,1 – 1,2	0,5	<0,1 – 1,1	0,5	0,2 – 0,6	0,025	0,01 – 0,09	0,2	0,02 – 0,60
Фтор	%	0,0005	—	—	—	—	—	—	—	0,002	0,001 – 0,003
Алюміній	мг/кг	50	<700	50	<700	—	—	—	20	100	50 – 200
Кальцій	мг/кг	4000	2000 – 7000	15000	8000 – 20000	3500	1300 – 5700	2000	800 – 3200	2000	900 – 3000
Залізо	мг/кг	100	<500	100	<500	—	—	140	60 – 220	100	40 – 400
Калій	мг/кг	10000	2000 – 26000	10000	2000 – 26000	12000	3100 – 22000	2700	< 800 – 6000	7000	1000 – 11000

Назва показника	Од. вимір.	Солома пшениці, жита, ячменю (2.1.1.2)		Солома олійного ріпаку (2.1.3.2)		Канаркова трава				Міскантус (Китайський очерет) (2.1.2.1)	
		Типове значення	Типовий діапазон значень	Типове значення	Типовий діапазон значень	(Липень-жовтень) (2.1.2.1)		(березень-травень) (2.1.2.1)		Типове значення	Типовий діапазон значень
						Типове значення	Типовий діапазон значень	Типове значення	Типовий діапазон значень		
Магній	мг/кг	700	400 — 1300	700	300 — 2200	1300	300 — 2300	500	100 — 900	600	300 — 900
Марганець	мг/кг	40	20 — 100	—	—	—	—	160	< 200	20	10 — 100
Натрій	мг/кг	500	<3000	500	<3000	200	< 100 — 400	200	< 20 — 400	70	20 — 100
Фосфор	мг/кг	1000	300 — 2900	1000	300 — 2700	1700	500 — 3000	1100	300 — 2000	500	200 — 800
Кремній	мг/кг	10000	1000 — 20000	1000	100 — 3000	12000	< 1000 — 25000	18000	2300 — 30000	8000	2000 — 10000
Титан	мг/кг	70	5 — 200	—	—	—	—	—	—	5	3 — 10
Миш'як	мг/кг	< 0,1	<0,1 — 2,0	< 0,1	<0,1 — 0,5	0,1	< 0,1 — 0,2	0,2	< 0,1 — 0,5	0,2	< 0,1 — 0,2
Кадмій	мг/кг	0,1	<0,05 — 0,30	0,1	<0,05 — 0,30	0,04	<0,04 — 0,10	0,06	< 0,04 — 0,20	0,1	0,05 — 0,20
Хром	мг/кг	10	1 — 60	10	1 — 60	—	—	—	—	1	0,4 — 6
Мідь	мг/кг	2	1 — 10	2	1 — 10	—	—	—	—	2	1 — 6
Ртуть	мг/кг	0,02	<0,02 — 0,05	0,02	<0,02 — 0,05	0,03	<0,02 — 0,05	0,03	< 0,02 — 0,05	0,03	<0,02 — 0,10
Нікель	мг/кг	1	0	1	0,2 — 0,4	—	—	—	—	2	0,5 — 5,0
Свинець	мг/кг	0,5	0,1-3,0	2	1,0 — 13,0	1	<0,5 — 4,0	2	< 0,5 — 5,0	2	<0,5 — 5,0
Ванадій	мг/кг	3	1 — 6	—	—	—	—	—	—	< 1	—
Цинк	мг/кг	10	3 — 60	10	5 — 20	—	—	—	—	10	3 — 30

Дані отримані в результаті досліджень, проведених в Швеції, Фінляндії, Данії, Голландії та Німеччині.

Додаток 5 – Схемні рішення ТЕЦ з використанням соломи в Данії

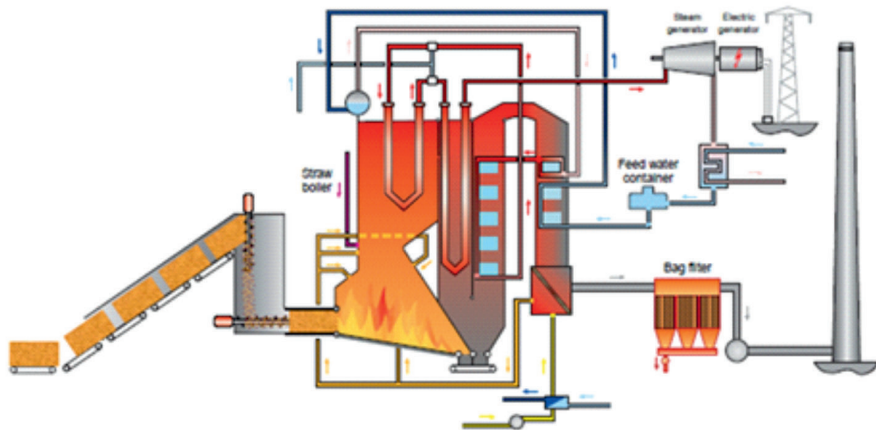


Схема котла для спалювання подрібненої соломи на решітці

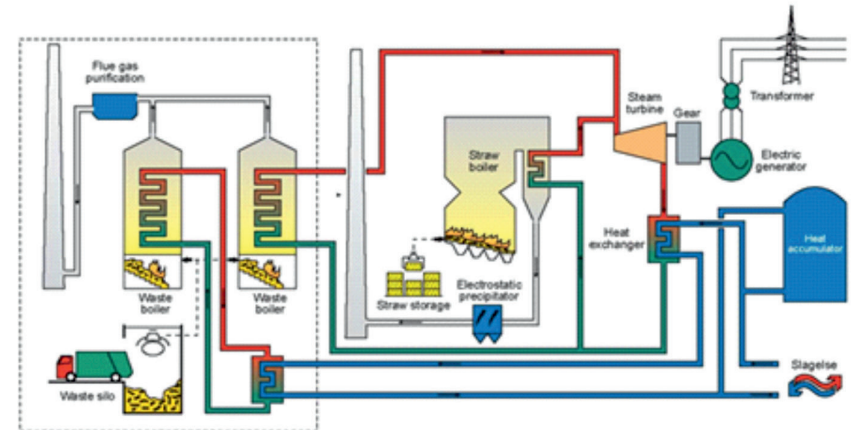


Схема ТЕЦ Slagelse з сумісним паралельним спалюванням подрібненої соломи та ТПВ в окремих котлах

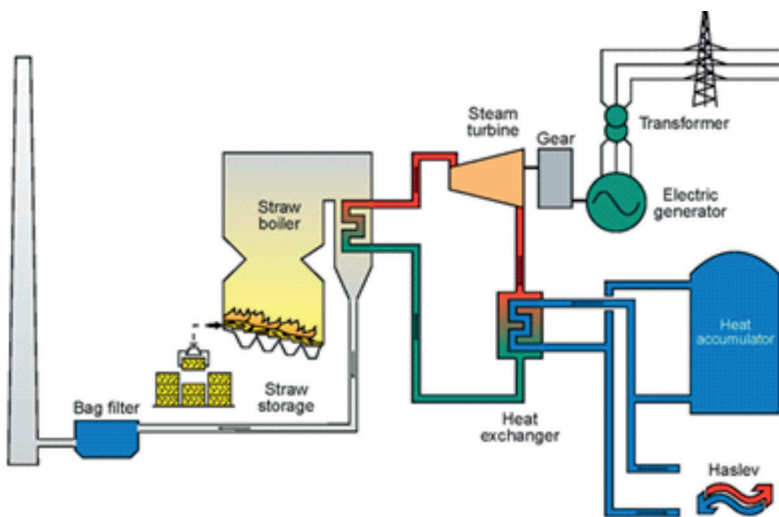


Схема блочної ТЕЦ Haslev зі спалюванням подрібненої соломи

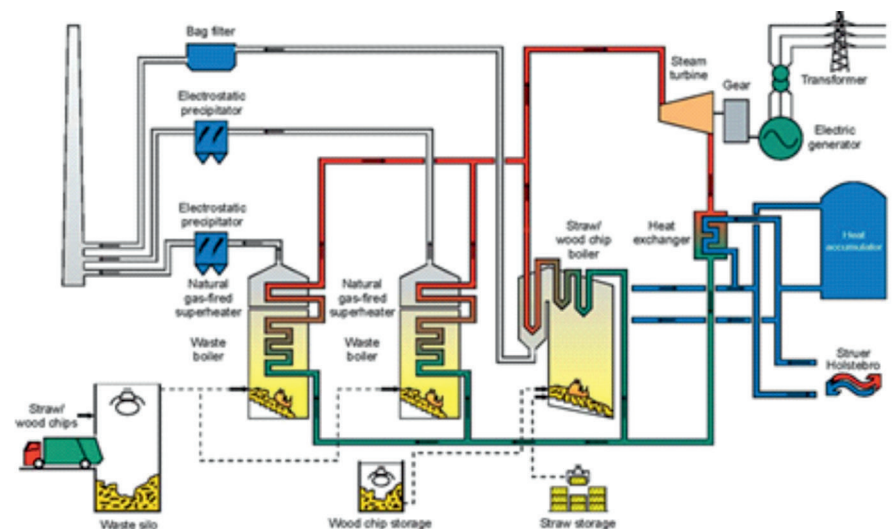


Схема ТЕЦ Hølsebo з сумісним спалюванням подрібненої соломи і деревних відходів, та окремо ТПВ

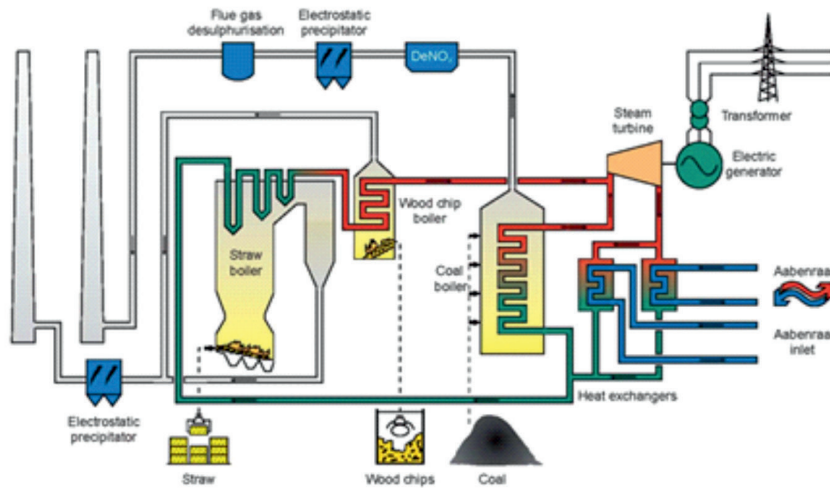


Схема ТЕЦ Аабенраа з сумісним паралельним спалюванням подрібненої соломи і деревних відходів для регулювання перегріву пари

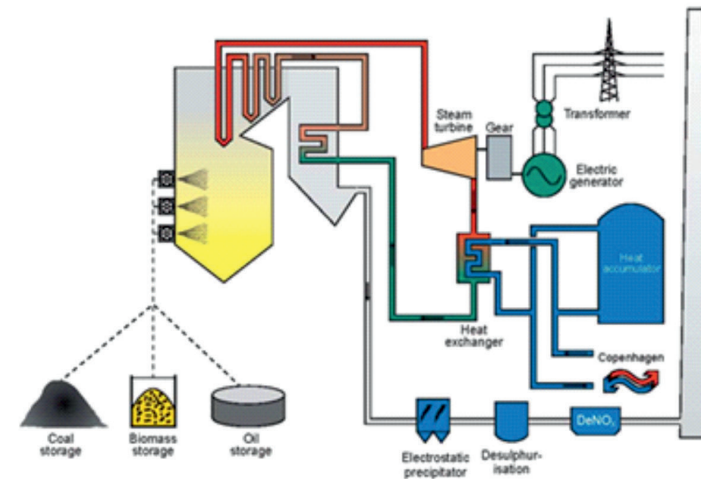


Схема ТЕЦ Соренгаген з сумісним пиловим спалюванням подрібненої соломи з вугіллям в одному пальнику

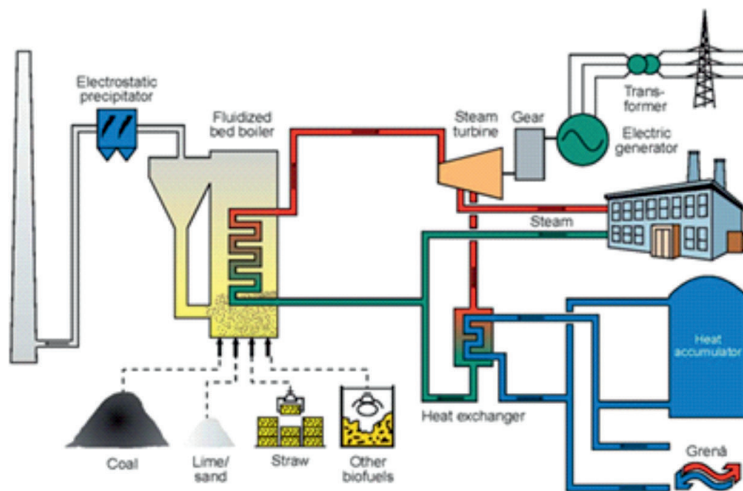


Схема ТЕЦ Грена з сумісним спалюванням соломи з вугіллям в котлі киплячого шару

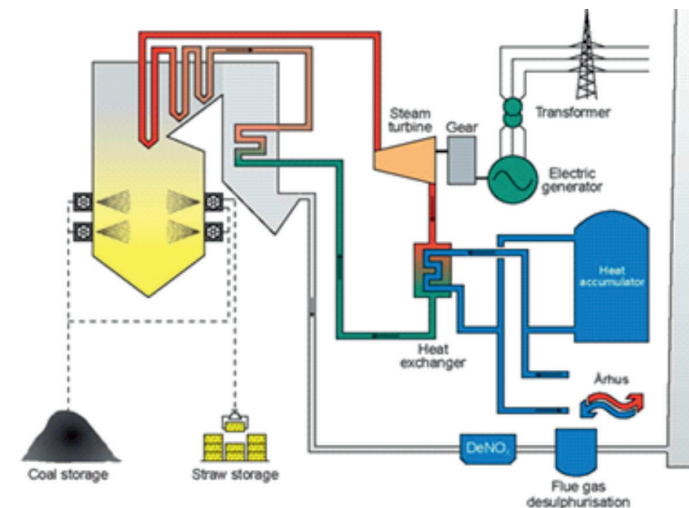


Схема ТЕЦ Архус з сумісним пиловим спалюванням подрібненої соломи з вугіллям в окремих пальниках

Біоенергетична асоціація України **UABIO** – це неприбуткова громадська спілка, яка об’єднує бізнес та експертів для розвитку біоенергетики України

7

років

30

провідних компаній

15

фізичних осіб

20+

експертів з біоенергетики в Україні

Ми беремо участь у розробці законодавства, державних та галузевих програмних документів, які сприяють розвитку біоенергетики; надаємо експертну, консультаційну, інформаційну допомогу партнерам; моніторимо національне та міжнародне законодавство у сфері біоенергетики, відновлюваної енергетики, енергоефективності та щодо питань зміни клімату; співпрацюємо з міжнародними профільними асоціаціями, організаціями, бізнесом, експертами, представниками влади; організуємо публічні заходи: конференції, тренінги, семінари; підвищуємо рівень обізнаності громадян України щодо переваг біоенергетики через сайт, соціальні мережі, дайджест.

www.uabio.org

Члени **UABIO**:



МИ ГОТОВІ ДО СПІВПРАЦІ!
Цікаво стати спонсором публікації?



Сконтакуйте з нами.

UABIO

Біоенергетична асоціація України

вул. Марії Капніст, 2-А, оф. 116
м. Київ, Україна, 03057
+38 (044) 453-28-56
info@uabio.org
www.uabio.org