

## CLASSIFICATION OF FUEL TYPES FROM AGRICULTURAL CROP BIOMASS

S. Yaheliuk\*, M. Fomych

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



## ABSTRACT

After harvesting the main crop (grains, seeds), unused plant biomass remains on the fields in Ukraine. Domestic technologies for processing such biomass are not sufficiently developed. One of the reasons for the slow development of post-harvest processing technologies and their limited use as a raw material for fuel is the lack of classification of fuel types. As a result of the research it was established that it is possible to classify types of fuel from biomass of agricultural crops according to many characteristics. The main ones are physical condition and type of raw materials. It was also established that the most important and suitable for processing are the stalks of crops: cereals, maize, sunflower, bast and oil crops. Based on these data, a generalized classification of the main types of fuels that can be produced from the biomass of the stalks of these crops was created. It also includes a new type of fuel – small fuel rolls. The practical significance of the proposed classification lies in the optimization of the processes of collection, storage and processing of biomass of agricultural crops for fuel production. The developed classification allows farmers and agricultural companies to plan the use of biomass from agricultural crops for energy production, reduce fuel costs and increase the profitability of the farm. It will also facilitate the development of regional energy programs that take into account local crop biomass resources. The fuel produced from the biomass of the stalks of agricultural crops can be used in individual and centralized power and heat supply, transport. The main advantages of fuel from biomass of agricultural crops are environmental friendliness and renewability. Restoration, reconstruction, construction of new thermal power plants, boiler houses, power generation and production of cheap fuel for them is a relevant task today.

**Key words:**

fuel classification,  
biomass,  
stems,  
processing stems,  
fuel

**Article history:**

Received 21.05.2024

Accepted 16.06.2024

**\*Corresponding author:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi50.1382

**To cite this article:**

Yaheliuk, S., & Fomych, M. (2024). Classification of fuel types from agricultural crop biomass. *Agricultural Machines*, 50, 72-80. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1382>

УДК 620.9:662.6/8

**КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ ПАЛИВА З БІОМАСИ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР****С.В. Ягелюк\*, М.І. Фомич***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна***АНОТАЦІЯ**

Після збирання основного урожаю на полях України залишається невикористана біомаса сільськогосподарських культур. Вітчизняні технології перероблення такої біомаси розвинені недостатньо. Однією з причин повільного розвитку технологій післязбирального перероблення рослинної біомаси та обмеженого її використання як сировини для палива є відсутність класифікації видів палива. У результаті проведених досліджень було встановлено, що класифікувати види палива з біомаси сільськогосподарських культур можна за багатьма ознаками. Основними з них є фізичний стан та початкова сировина. Також встановлено, що найбільш поширеними та придатними для перероблення є стебла таких культур: зернові (колосові), кукурудза, соняшник, луб'яні та олійні культури. Відповідно до цих даних було створено узагальнену класифікацію основних видів палива, які можна виготовити з біомаси стебел цих культур. Вона містить також новий вид палива – малогабаритні паливні рулони. Практичне значення запропонованої класифікації полягає в оптимізації процесів збирання, зберігання та перероблення біомаси сільськогосподарських культур для виробництва палива. Розроблена класифікація дозволяє фермерам та аграрним компаніям планувати використання біомаси сільськогосподарських культур для виробництва енергії, зменшуючи витрати на паливо та збільшуючи рентабельність господарств. Це також буде сприяти розробленню регіональних енергетичних програм, що враховують місцеві ресурси біомаси сільськогосподарських культур. Паливо з біомаси стебел сільськогосподарських культур може бути використане в індивідуальному та централізованому електро- та теплопостачанні, а також для транспорту. Основними перевагами палива з біомаси є екологічність і відновлюваність. Відновлення, відбудова та будівництво нових ТЕС, котелень, виробництво енергії й дешевого палива для них – актуальна задача сьогодення.

**Ключові слова:**

класифікація палива,  
біомаса,  
стебла,  
перероблення стебел,  
паливо

**Історія публікації:**

Отримано 21.05.2024

Затверджено 16.06.2024

**\*Автор для листування:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi50.1382

**Цитувати цю статтю:**

Ягелюк, С. В., & Фомич, М. І. (2024). Класифікація видів палива з біомаси сільськогосподарських культур. *Сільськогосподарські машини*, 50, 72-80. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1382>

## СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Стрімке збільшення викидів CO<sub>2</sub> та забруднення навколишнього середовища, згідно з даними (Ferroukhi et al., 2020), поставило перед сучасним виробництвом теплової та електричної енергії задачу пошуку альтернативних видів палива. Протягом останнього десятиліття у країнах ЄС, відповідно до European Environment Agency (European Environment Agency, 2024), спостерігається зростання частки виробництва енергії з відновлюваних джерел, зокрема з використанням рослинної біомаси з відходів сільськогосподарського виробництва. У 2022 році 23% всієї виробленої енергії припало на відновлювальні джерела (Eurostat, 2024). Електроенергія, вироблена з палива, що з твердої біомаси різних сільськогосподарських культур, забезпечила 6,9% від загальних потреб у ній (Eurostat, 2024). На сьогодні з сільськогосподарських культур виробляють рідке (біодизель, біоетанол, біобутанол, біомазут), тверде (пелети, брикети) та газове паливо (біогаз, біометан, біоводень).

Встановлено, що для виготовлення паливних матеріалів з рослинної біомаси можна використовувати механічні засоби та технології, за допомогою яких отримують гранули або ж брикети (Gregory, 2016). Виробництво брикетів з кукурудзяних качанів досліджували у науковій праці (Jaguaribe et al., 2024). Теплотворна здатність цих брикетів перевищила 16900 кДж/кг, що відповідає окремим породам деревини. Одним з напрямів використання стебел сільськогосподарських культур є виготовлення малогабаритних паливних рулонів для сучасних опалювальних котлів (Yaheliuk et al., 2020b). Відповідно до досліджень (Yaheliuk et al., 2020a), ефективним використанням біомаси можна вважати комплексний підхід – тобто використання всіх частин рослини: зерна (насіння), лушпиння, стебла, макухи, костриці тощо. Використання палива з біомаси відходів різних культур для виробництва теплової та електричної енергії може зменшити загрози екологічної та економічної безпеки (Barbieri et al., 2013).

Відновлення, відбудова та будівництво нових ТЕС, котелень, виробництво енергії та виробництво дешевого палива для них – це актуальна задача сьогодення в Україні. Однак, біомасу залишків різних сільськогосподарських

культур використовують обмежено. Вітчизняні технології перероблення рослинної біомаси сільськогосподарських культур розвинені недостатньо. Однією з причин повільного розвитку нових технологій післязбирального перероблення біомаси сільськогосподарських культур та її обмеженого використання для виготовлення різного палива є відсутність класифікації видів палива з біомаси стебел сільськогосподарських культур. Тому стаття присвячена вирішенню цього питання.

**Мета дослідження** – розробити класифікацію видів палива на основі аналізу сировини та існуючих й пропонованих видів палива з біомаси різних сільськогосподарських культур.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Методологія дослідження заснована на комплексному підході, який використовує для розроблення класифікації видів палива з біомаси сільськогосподарських культур різні аналітичні методи: аналіз, узагальнення, синтез та графічний метод. Результати дослідження базуються на матеріалах, що отримані під час аналізу статичних даних (FAOSTAT, n.d.; Железна, 2019). Дані щодо обладнання та технології виготовлення паливних матеріалів узагальнені на основі інформації (Гелетуха & Железна, 2014; Фомич, 2023; RUF, n.d.). Класифікація відходів біомаси різних сільськогосподарських культур базується на дослідженнях (Железна, 2019; Ягелюк та ін., 2021).

Біомаса сільськогосподарських рослин – це важливе джерело відновлюваної енергії, її можна використовувати як сировину для виробництва різного палива для невеликих теплоелектростанцій. Найбільше залишків та відходів утворюється під час виробництва зернових (колосових), олійних та луб'яних культур (Ягелюк та ін., 2021; Vobu, n.d.). Як початкові дані для розроблення класифікації палива використані класифікаційні ознаки біомаси відходів різних сільськогосподарських культур. Їх можна поділити за типом культури: зернові, олійні, баштанні, бобові, коренеплоди, бульбоплоди, прядильні, наркотичні або ж лікарські культури. Ще одна категорія – за фізичними властивостями: тверді (солома, стебла), напівтверді (відходи від перероблення овочів, фруктів), рідкі (стоки ферм).

Сільськогосподарську рослинну біомасу, з якої можна виготовляти паливо, поділяють на дві основні групи: залишки стебел різних сільськогосподарських культур та енергетичні рослини (Желєзна, 2019).

Енергетичні рослини поділяють на традиційні харчові та спеціально вирощені нехарчові. Традиційні харчові рослини – це харчові (олійні, зернові) культури, які вирощують з метою одержання з них рідких паливних матеріалів: спирту (метанол, етанол, бутанол), ефірів. Наприклад, біодизель, який виготовляють з рослинних олій або жирових кислот, може використовуватися у дизельних двигунах. Спеціально вирощені нехарчові рослини – це однорічні або ж багаторічні швидкозростаючі лісові (верба, тополя), або ж сільськогосподарські (міскантус, просо, сорго тощо) рослини. Перевагою вирощування енергетичних рослин є висока продуктивність за біомасою з одиниці площі. У країнах ЄС енергетичні культури вирощують на площі 117,4 тис га. У Німеччині енергетичні культури вирощують на площі 15,8 тис га (Желєзна та ін. 2019; SAF, 2023).

Класифікація залишків та відходів зернових культур дещо відмінна від інших. Їх поділяють на три групи за вмістом зерна (GES, n.d). Перша група – це відходи 1-ої категорії з вмістом зерна 30–50%. Відходи 2-ої категорії містять: зерно у кількості 2–10%, стрижні кукурудзи, лузгу, полови та пил оббивний сірого кольору. Зернові відходи 3-ої категорії містять: відходи з вмістом зерна не більше 2%, соломі, лузгу, оббивний пил чорного кольору, волоть, листки. Усі відходи, які не підлягають повторному обробленню для їх відокремлення (очищення) й повернення в товарну групу попадають під списання («мертві відходи»). З них виготовлять гранульований корм чи паливні пелети. Остання група відходів – це гній. Це маса, що утворюється внаслідок розкладання органічних решток. Її використовують як добриво та у виробництві біогазу. З урахуванням даних щодо видів та властивостей біомаси сільськогосподарських культур запропонована класифікація видів палива.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Паливо з біомаси сільськогосподарських культур можна класифікувати за різними

ознаками, зокрема за його фізичним станом: тверде, рідке та газоподібне (UABIO, n.d.). Сировиною для твердого палива є стебла соняшника, зернових культур та льону, а також інші рослинні залишки. Тверде паливо може бути використане для опалення або виробництва електроенергії. Рідке біопаливо можуть виробляти з жому, макухи, лушпиння, шкаралупи та інших побічних продуктів перероблення сільськогосподарських культур. Це паливо може використовуватися для транспорту або ж для виробництва тепла. Газове біопаливо отримують з біомаси сільськогосподарських культур внаслідок процесу біогазування. Біогаз можуть використовувати для опалення, виробництва електроенергії або ж для транспорту.

Твердим паливом є брикети, гранули (пелети), рулони, тюки, малогабаритні паливні рулони (МПП). Брикети – це спресовані блоки палива, що виготовлені з біомаси стебел сільськогосподарських культур. Вони бувають прямокутної, циліндричної або іншої форми. Типовий діаметр брикету 60–75 мм, а довжина, зазвичай, не перевищує п'яти величин діаметру. Стандартних розмірів у цього продукту немає. Брикети поділяють на такі типи (назви походять від назв фірм-виробників обладнання для виробництва брикетів): RUF, NESTRO (NIELSEN), Pini&Kay (рис. 1, а). Гранули (пелети) (рис. 1, б) – це маленькі циліндричної форми частинки палива, які виготовляють шляхом пресування сировини, зокрема, деревини, соломи, лушпиння соняшника тощо. Гранули використовують для пелетних котлів та систем опалення. Рулони (рис. 1, в) – це спресована маса соломи чи сіна циліндричної форми. Рулони – це різновид тюків (рис. 1, г). МПП (рис. 1, г) – це новий вид палива. Це рулони діаметром, що не перевищує 60 см, які виготовляють із залишків стебел льону в суміші зі стеблами зернових культур або без них. У результаті проведених експериментальних досліджень встановили ефективність та високу екологічну безпечність спалювання МПП. Нове паливо може бути рекомендоване, якщо воно задовольняє умову ефективного та екологічного горіння.

Рідкими видами палива є біоетанол та біодизель. Біоетанол виробляють шляхом ферментування цукрів з кукурудзи, цукрового буряка тощо. Це паливо використовують як домішку до бензину або як самостійне паливо



**Рис. 1** – Види твердого палива (Гелетуха & Желєзна, 2014; CLAAS, n.d.; RUF, n.d.; UABIO, n.d.):  
а – брикети; б – гранули; в – рулони; г – тюки; г – малогабаритні паливні рулони

для двигунів внутрішнього згорання. Біодизель виробляють з олійних культур, зокрема, ріпаку, сої, соняшника, льону олійного. Використовують як домішку до дизельного палива або як самостійне паливо. Біогаз – це газоподібне біопаливо, яке утворюється за анаеробного розкладання органічних матеріалів, зокрема, залишків рослин та гною. Основними компонентами біогазу є метан ( $\text{CH}_4$ ) та вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ). Його використовують для виробництва електроенергії, опалення або як паливо для транспорту. Також паливо з біомаси залишків різних сільськогосподарських культур можна класифікувати за типом сировини. Кожен тип сировини має свої особливості та способи перероблення:

- відходи зернових культур (солома, кукурудзяні качани) використовують для виробництва твердого палива, а також для виробництва біогазу за допомогою процесу ферментації;

- відходи олійних культур (лушпиння соняшника, ріпаку, сої, насіннєві коробочки та костриця льону) можуть бути використані для виробництва твердого біопалива (пелет та брикетів різної форми) або для виробництва біогазу;

- відходи цукрових культур можуть бути перероблені на біогаз або використовуватися як сировина для виробництва біоетанолу;

- відходи фруктових та овочевих культур можуть бути перероблені на біогаз за допомогою анаеробного розкладання;

- деревні відходи (гілки, листя, обрізки виноградної лози, а також деревні залишки) переробляють на тверде біопаливо (дрова, пелети, брикети) або використовують для виробництва біогазу;

- трав'янисті енергетичні культури (сорго, міскантус, люцерна) вирощують спеціально для виробництва біомаси, яка може бути перетворена на тверде біопаливо, біогаз або рідке біопаливо за допомогою ферментування чи газифікування.

На основі розглянутих даних складено класифікаційну схему палива із залишків сільськогосподарських рослин за ознаками фізичного стану та сировини (рис. 2). Первинна біомаса – це побічні продукти рослинництва, зокрема, солома, стебла соняшника та кукурудзи. Вторинна біомаса – це певні матеріали, які отримані внаслідок перероблення основних сільськогосподарських продуктів (наприклад, лушпиння, шкаралупи, жому, макухи, костриці тощо).

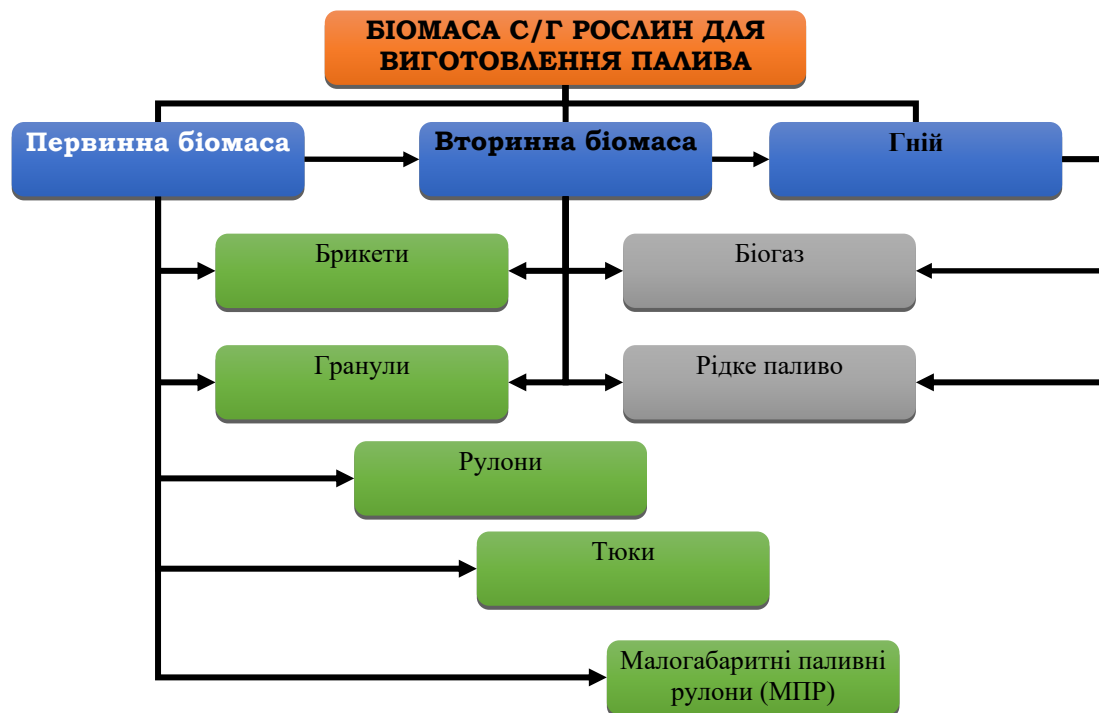


Рис. 2 – Класифікація палива з біомаси залишків сільськогосподарських культур за категоріями сировини та фізичним станом

Особливу увагу в контексті комплексного перероблення привертає льон (олійний та довгунець). Льон є багатофункціональною рослиною, яку можна ефективно переробити на паливо. Для виробництва твердого палива стебла льону можуть бути подрібнені, висушені та спресовані у пелети або брикети. Найбільш доцільним та дешевим видом палива є МПР. Це паливо (МПР) використовують у твердопаливних котлах для опалення будинків або промислових об'єктів. Пелети та брикети з льону мають високу енергетичну цінність.

Відходи льону можуть бути використані для виробництва біогазу за допомогою процесу анаеробного розкладання. При цьому органічні речовини розкладаються без доступу кисню, утворюючи метан та вуглекислий газ. Біогаз можна використати для виробництва електроенергії або як паливо для опалення.

Відходи насіння льону можуть підлягати ферментуванню з використанням дріжджів для виробництва біоетанолу. Біоетанол можна використовувати як домішку до бензину або як самостійне паливо для двигунів внутрішнього згорання. Також відходи льону можуть бути перероблені за допомогою газифікування, за якого органічна рослинна сировина проходить

високотемпературне розкладання в умовах обмеженого доступу кисню. Це спричиняє утворення синтез-газу, який містить водень, монооксид вуглецю та вуглекислий газ. Синтез-газ використовують для виробництва електроенергії або як сировину для синтезу рідкого палива.

Згідно з інформацією (FAOSTAT, n.d.) щодо якості та кількості рослинної біомаси, що залишається після збирання основного урожаю, можна зробити висновок, що найбільш поширеними та придатними до перероблення є стебла таких культур: зернові (колосові), кукурудза, соняшник, луб'яні та олійні культури. На основі проаналізованих даних запропонована узагальнена класифікація видів палива з біомаси стебел різних сільськогосподарських культур (таблиця).

Паливні матеріали з біомаси залишків різних сільськогосподарських культур можуть застосовуватись в енергетичних цілях у різних напрямках:

- індивідуальне постачання тепла: отримання теплової енергії методом спалювання – опалювальні печі, каміни, котли; паливом у цьому випадку є дрова, брикети, пелети, МПР; теплова потужність до 200 кВт;

Таблиця – Класифікація видів палива з біомаси стебел різних сільськогосподарських культур

Вид палива	Культура	Тип сировини	
		Первинна біомаса	Вторинна біомаса
Брикети, гранули (тверде паливо)	Кукурудза	Стебло	Стрижень, обгортка, відходи подальшого оброблення насіння
	Зернові (колосові)	Стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння
	Олійні	Стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння
	Луб'яні	Некондиційне стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння
Рулони, тюки, малогабаритні паливні рулони (тверде паливо)	Кукурудза	Стебло	-
	Зернові (колосові)	Стебло (солома)	-
	Олійні	Стебло (солома)	-
	Луб'яні	Некондиційне стебло (солома)	-
Рідке біопаливо	Кукурудза	-	Некондиційне зерно, відходи подальшого оброблення насіння
	Зернові (колосові)	Стебло (солома)	Некондиційне зерно, відходи подальшого оброблення насіння
	Олійні	Стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння
	Луб'яні	Некондиційне стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння та стебла
Газове біопаливо	Кукурудза	Стебло	Стрижень, обгортка, відходи подальшого оброблення насіння
	Зернові (колосові)	Стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння
	Олійні	Стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння
	Луб'яні	Некондиційне стебло (солома)	Відходи подальшого оброблення насіння

- централізоване постачання тепла: забезпечує тепловою і електричною енергією; використовують котли різних типів за принципом спалювання (отримання теплової енергії); паливом є гранули, брикети, рулони, тюки, МПР; тепла чи електрична потужність (переважно) від 0,2 МВт для водонагрівальних котлів та від 0,5 МВт для парових котлів;

- промисловий сектор, а також сільське господарство: отримання теплової енергії (для технологічних процесів та опалення) та електричної енергії (для виробничих потреб та постачання до електромереж) за допомогою котлів та теплогенераторів різних типів за принципом спалювання, а також сушарки, промислові печі, газифікатори, біогазові

установки тощо (*UABIO, n.d.*).

На жаль, частка використання біомаси сільськогосподарських культур в Україні на сьогодні є незначною. Однак споживання енергії, отриманої з біомаси, з кожним роком збільшується, за минуле десятиріччя (2010–2020 рр.) енергоспоживання на основі енергії біопалива та відходів збільшилось з 1,476 до 4,243 млн т, тобто у 2,87 рази (*Radchenko et al., 2023*). Основними перевагами палива з біомаси сільськогосподарських культур є екологічність та відновлюваність, адже використання такого палива сприяє зменшенню викидів парникових газів, а сільськогосподарські рослини є відновлюваним ресурсом, що забезпечує стійке виробництво енергії.

**ВИСНОВКИ**

Рослинна біомаса зі стебел різних сільськогосподарських культур має великий потенціал та є важливим й перспективним джерелом екологічно чистої та відновлюваної енергії в Україні та ЄС. У результаті проведених досліджень було визначено, що класифікувати паливо можна за багатьма ознаками, але основними є: фізичний стан та початкова сировина. Встановлено, що найбільш поширеними та придатними для перероблення є стебла таких культур, як зернові (колосові), кукурудза, соняшник, луб'яні та олійні культури. Відповідно до цих даних створено узагальнену класифікацію основних видів палива, які можна виготовити з цих культур.

Використання класифікації допомагає оптимізувати процеси збирання, зберігання та перероблення сільськогосподарських відходів для виробництва палива. Це також буде сприяти розробленню нових регіональних енергетичних програм, що враховують місцеві ресурси біомаси сільськогосподарських культур, та дозволяти фермерам і аграрним компаніям планувати використання відходів для виробництва енергії, зменшуючи витрати на паливо та підвищуючи рентабельність господарства. Це сприятиме інтегруванню біопаливних технологій в агровиробництво.

Створення спеціалізованих підприємств з перероблення біомаси сільськогосподарських культур на паливо забезпечить нові робочі місця та розвиток інфраструктури. Загалом, така класифікація сприятиме раціональному використанню сільськогосподарських відходів, підтримуватиме екологічну стабільність та допомагатиме Україні досягнути енергетичної незалежності. У сучасних реаліях будівництво котелень та невеликих ТЕС, зокрема тих, які будуть працювати на рослинній біомасі, для забезпечення тепловою енергією населення є актуальним та доцільним.

**СПИСОК ПОСИЛАНЬ**

- Barbieri, L., Andreola, F., Lancellotti, I., & Taurino, R. (2013). Management of agricultural biomass wastes: Preliminary study on characterization and valorisation in clay matrix bricks. *Waste Management*, 33(11), 2307-2315.
- CLAAS. (n.d.). *Продукція, прес-підбирачі (Products, balers)*. Retrieved May 5, 2024, from <https://www.claas.ua/produksiya/pres-pidbirachi>
- European Environment Agency. (2024). *Share of energy consumption from renewable sources in Europe*. Retrieved May 8, 2024, from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/share-of-energy-consumption-from-renewable-sources>
- Eurostat. (2024). *Electricity from renewable sources up to 41% in 2022*. Retrieved May 6, 2024, from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240221-1>
- FAOSTAT. (n.d.). *Compare Data*. Retrieved May 7, 2024, from <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Ferroukhi, R., Frankl, P., Adib, R., et al. (2020). *Renewable energy policies in a time of transition: heating and cooling*. IRENA, OECD/IEA and REN21.
- GES. (n.d.). *Класифікація відходів зерна. Аудит обліку (Classification of grain waste. Accounting audit)*. Retrieved May 6, 2024, from <https://elevator.com.ua/blog/klafykatsiya-vidkhodiv-zerna-audit-obliku>
- Gregory, M. (2016). *Solid biofuels: producer and property: Manual for the use of solid biofuel producers*. Government Rep. Moldova, Progr. United Nations Development. Chisinau: S. n.
- Jaguaribe, D., Ferreira, J., Santana, E., & Silva, A. (2024). A study of the calorific power of corncob briquettes, using residual oils as binders. *Academia Green Energy, 1*. <https://doi.org/10.20935/AcadEnergy6218>
- Radchenko, S. V. (2023). Analysis of opportunities to increase the use of solid biofuels in energy of Ukraine. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 45(3), 88-96.
- RUF. (n.d.). *Turn your manufacturing byproducts into revenue with a RUF briquetting system*. Retrieved May 7, 2024, from <https://www.ruf-briquetter.com>
- SAF. (2023). *Енергетичні рослини, придатні для поширення в Україні: оновлений реєстр сортів (Energetic plants suitable for distribution in Ukraine: updated register of varieties)*. Retrieved May 7, 2024, from <https://saf.org.ua/news/1734>
- UABIO. (n.d.). *Біоенергетична асоціація України (Bioenergy Association of Ukraine)*. Retrieved May 8, 2024, from <https://uabio.org>
- Vobu. (n.d.). *Класифікація відходів (Classification of waste)*. Retrieved May 8, 2024, from <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/dk/dk005-96/index.html>
- Yaheliuk, S., Didukh, V., & Boyko, G. (2020a). The improved technology of biomass processing to obtain products of various applications. *Agricultural Machines*, 45, 155-164. <https://doi.org/10.36910/acm.vi45.382>
- Yaheliuk, S., Didukh, V., Busnyuk, V., Boyko, G., & Shubalyi, O. (2020b). Optimization of efficient combustion process of small sized fuel rolls made of oleaginous flax residues. *INMATEH* –



- Agricultural Engineering*, 62(3), 361-368. <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-38>
- Гелетуха, Г. Г., & Железна, Т. А. (2014). Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні (*Prospects of using agricultural waste for energy production in Ukraine*). *Аналітична записка БАУ*, 7, 12-16.
- Железна, Т. (2019). Агробіомаса як найбільша складова енергетичного потенціалу біомаси в Україні (*Agrobiomass as the largest component of biomass energy potential in Ukraine*). *UABIO-Біоенергетична асоціація України*.
- Фомич, М. І. (2023). Технології та обладнання для виготовлення паливних брикетів (*Technologies and equipment for manufacturing fuel briquettes*). *Сільсько-господарські машини*, 49, 53-59. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1020>
- Ягелюк, С. В., Фомич, М. І., Голій, О. В., & Хомич, А. В. (2021). Ідентифікація та класифікація залишків сільськогосподарських культур для подальшого використання (*The identification and classification of the agricultural crops residues for further use*). *Сільськогосподарські машини*, 47, 95-101. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.654>