

АНАЛІЗ УСПІШНИХ ПРИКЛАДІВ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З АГРОБІОМАСИ В ЄВРОПІ

Желєзна Т.А., канд. техн. наук, Драгнєв С.В., канд. техн. наук, Баштовий А.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2022.5>

Представлено поточний стан розвитку біоенергетики в ЄС. Проаналізовано успішні приклади реалізованих проєктів з виробництва теплової енергії з агробіомаси в ЄС та Україні. Визначено пріоритетні напрямки розвитку біоенергетичного сектору України.

The current state of bioenergy development in the EU is presented. Successful examples of implemented projects on heat production from agrobiomass in the EU and Ukraine are analyzed. Priority directions for the development of bioenergy sector of Ukraine are determined.

Бібл. 15, табл. 3, рис. 1.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, біоенергетика, біопаливо, біомаса, агробіомаса, сільськогосподарські залишки.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ОЕЗ – олійноекстракційний завод;
ТЕЦ – теплоелектроцентрально;
ТЕС – теплова електростанція;
ЦТ – централізоване теплопостачання;

с/г – сільське господарство;
с.р. – суха речовина;
н.е. – нафтовий еквівалент.

Нижній індекс:

т – тепловий;
е – електричний.

Актуальність роботи обумовлена нагальною необхідністю реалізації «зеленого» енергетичного переходу. Значний внесок в цей процес може зробити біоенергетика, в першу чергу, за рахунок залучення невикористаного потенціалу біомаси сільськогосподарського походження. **Метою** роботи є аналіз перспектив розвитку виробництва теплової енергії з агробіомаси в ЄС та Україні. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення літературних, статистичних та інших даних.

Стан розвитку біоенергетики в ЄС

Внесок біоенергетики до валового кінцевого споживання енергії в ЄС-28 складає більше 10%, що становить майже 60% загального внеску всіх ВДЕ. Щодо структури споживання біомаси, майже 70% загального обсягу – це деревна біомаса, 20% припадає на агробіомасу (сільськогосподарські залишки і енергетичні рослини) [1, 2]. Більше половини всього обсягу біомаси використовується для виробництва теплової енергії (табл. 1); очікується, що така тенденція збережеться і надалі. Наразі біоенергетика забезпечує більше 80% всієї теплової енергії з ВДЕ. Експерти Європейської платформи з відновлюваного тепла і холоду прогнозу-

ють, що у 2040 р. цей показник складатиме, за різними сценаріями розвитку, від 30% до 60% [3, 4].

Нарощування обсягів виробництва енергії з біомаси в ЄС можливе, в першу чергу, за рахунок більш широкого залучення агробіомаси до енергетичного сектору. За поточної практики збирання сільськогосподарських залишок в ЄС, їх потенціал, доступний для енергетики, становить більше 102 млн т (с.р.)/рік. При заготівлі оптимального обсягу залишок цей потенціал може зрости до 146 млн т (с.р.)/рік (рис. 1). За оцінками Спільного центру досліджень Єврокомісії, зазначений потенціал (еквівалентний близько 56 млн т н.е./рік) може повністю використовуватися для енергетичних потреб без негативного впливу на вміст вуглецю в ґрунті [5].

Огляд успішних прикладів впровадження систем опалення на агробіомасі в ЄС

Розвитку напрямку енергетичного використання агробіомаси присвячений проєкт «Сприяння впровадженню систем опалення на агробіомасі в сільських регіонах Європи – AgroBioHeat» (2019-2022 рр.), що реалізується в рамках Програми ЄС Горизонт 2020 [6]. Консорціум проєкту включає 13 провідних в секторі біоенергетики організацій з 9 країн Європи, у тому числі

з України. Від України у виконанні проєкту бере участь Біоенергетична асоціація України. Виконавцями детально розглянуто низку реалізованих проєктів з виробництва теплової енергії з різних видів агробіомаси для систем опалення в Європі, проаналізовано фактори їх успіху. Вибраний перелік таких проєктів представлено в табл. 2 з описом найбільш цікавих з них нижче. Системи опалення на агробіомасі мають численні сфери застосування – централізоване тепlopостачання, опалення теплиць, сільськогосподарських підприємств, агропромислових компаній, муніципальних будинків, готелів та ін. Найбільш використовуваними видами агробіомаси є солом зернових, лушпиння соняшника, енергетичні рослини (міскантус, верба).

Данія є відомим європейським лідером з енергетичного використання соломи. Річне утворення соломи в країні становить, в середньому, 5,5 млн т, з яких до 1,6 млн т споживається для потреб енергетики. Це забезпечує близько 2% кінцевого споживання енергії та 10% загального виробництва енергії з відновлюваних джерел. Більше третини всього обсягу соломи використовується на 55 котельнях ЦТ потужністю 0,4...11 МВт. Невеликі ТЕЦ та потужні ТЕЦ споживають близько 19% і 20% загальної кількості соломи, відповідно. Решта застосовується як паливо у більш ніж 7000 котлах фермерського типу (до 1 МВт) та в побутових котлах [8-10].

Цікавим прикладом опалення на соломі є система ЦТ данського селища Ульб'єрг. Котел REKA (Данія)

Табл. 1. Динаміка виробництва енергії з біомаси в ЄС, тис. т н.е. [3]

Сектор	2005 р.	2010 р.	2015 р.	2017 р.	2020 р. (прогноз)
Виробництво електроенергії, у т.ч.:	6000	10669	15353	15985	20052
тверда біомаса	4743	7476	9609	10041	13462
біогаз	1105	2766	5270	5515	5497
рідкі біопалива	152	428	474	429	1096
Виробництво тепла, у т.ч.:	62612	80805	84181	88585	90411
тверда біомаса	61700	78595	80810	84431	80887
біогаз	743	1578	3124	3909	4526
рідкі біопалива	168	631	240	237	4998
Виробництво рідких біопалив, у т.ч.:	3277	13184	13093	15192	29054
біоетанол	594	2809	2535	2859	7324
біодизель	2683	10347	10425	12174	20983
Всього, тис. т н.е.	71889	104658	112628	119763	139516

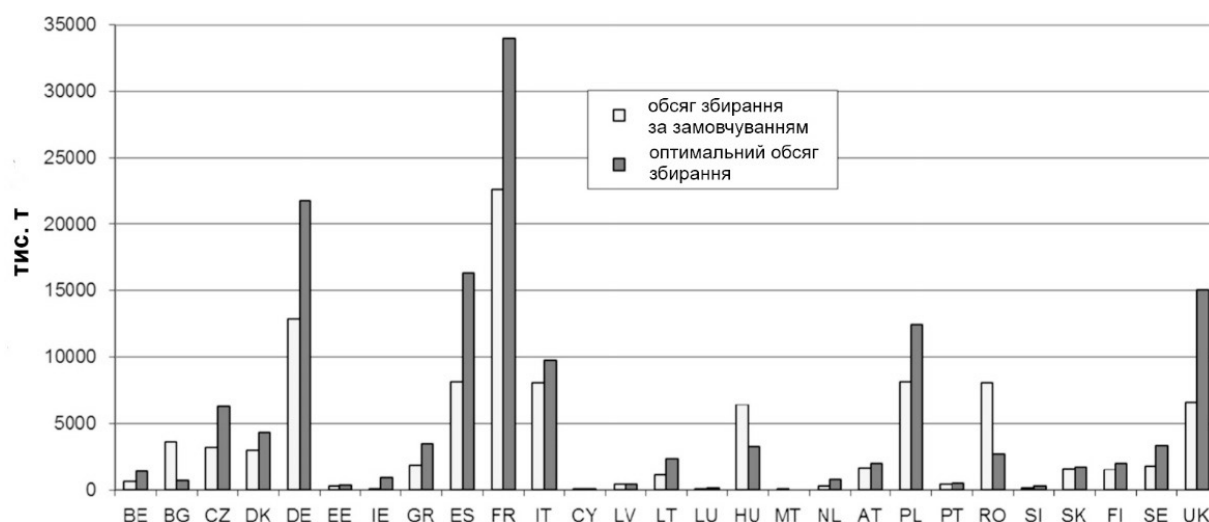


Рис. 1. Потенціал сільськогосподарських залишків, доступних для виробництва енергії в ЄС-27, тис. т (с.р.) [5]

Табл. 2. Вибрані приклади існуючих систем опалення на агробіомасі в країнах Європи* [7]

Сфера застосування	Місце знаходження	Вид біомаси	Потужність котла, виробник
Система ЦТ (2016 р.)	Данія, с. Ульб'єрг	солома зернових (тюки)	1 МВт, REKA (Данія)
Система ЦТ	Данія, м. Рудкьобінг	солома зернових (тюки)	7,7 МВт, Justsen (Данія)
Система ЦТ	Данія, с. Бовлструп	солома зернових (тюки)	2 МВт, Linka (Данія)
Система ЦТ	Данія, м. Гольбек	солома зернових (тюки)	4,5 МВт, Linka (Данія)
Система ЦТ	Чехія, м. Остров	солома зернових (тюки)	1 МВт, TTS (Чехія)
Система ЦТ	Словаччина, м. Детва	солома зернових (тюки), деревна тріска	3 МВт, 6 МВт, TTS (Чехія)
Система ЦТ	Польща, м. Любань	солома зернових	1 МВт, 2×3,5 МВт
Система ЦТ	Іспанія, м. Вілафранка-дель-Пенедес	обрізки виноградної лози	500 кВт, Heizomat (Німеччина)
Система ЦТ	Франція, муніципалітет Анже-сюр-Сомм	міскантус	100 кВт, Heizomat (Німеччина)
Система ЦТ	Франція, муніципалітет Шатоден	міскантус	3 МВт, Compte-R (Франція)
Система ЦТ (2019 р.)	Австрія, с. Штарнворс	солома зернових	1 МВт, Polytechnik (Австрія) 3 МВт, Agro Forst (Австрія)
Система ЦТ (2013 р.)	Австрія, м. Перзенбойг	міскантус (брикети)	2×200 кВт, ETA (Австрія)
Система ЦТ (2011 р.)	Австрія, м. Петценкірхен	міскантус (тріска)	400 кВт, Binder (Австрія) 200 кВт, ETA (Австрія)
Система ЦТ	Австрія, м. Хофамт-Приль	міскантус (тріска)	350 кВт, Schmid (Швейцарія)
Система ЦТ (2016 р.)	Румунія, с. Естелнік	енергетична верба	150 кВт, BioSistem (Румунія)
Опалення с/г підприємства	Данія, с. Холмгард	солома зернових (тюки)	950 кВт, Linka (Данія)
Опалення с/г підприємства	Данія, с. Норре-Алслев	солома зернових (тюки)	800 кВт, Linka (Данія)
Опалення с/г підприємства	Швеція, с. Енгельгольм	солома, деревна тріска	1 МВт, Linka (Данія)
Опалення с/г підприємства	Великобританія, м. Боремвуд	солома зернових	995 кВт, Justsen (Данія)
Опалення с/г підприємства	Румунія, м. Тирговіште	лушпиння соняшника, солома	150 кВт, BioSistem (Румунія)
Опалення теплиці (2015 р.)	Румунія, с. Валя-Крішулуй	енергетична верба (тріска)	4×750 кВт, 2×350 кВт, BioSistem (Румунія)
Опалення теплиці (2012 р.)	Греція, м. Кліді	гранули з лушпиння соняшника	8×1,16 МВт, N. Samaras (Греція)
Опалення теплиці	Греція, м. Аргос	гранули з лушпиння соняшника	3×350 кВт, PelleTech / Camino Design (Греція)

Опалення готелю (2014 р.)	Греція, м. Карпенісіон	гранули з лушпиння соняшника	200 кВт, PelleTech / Camino Design (Греція)
Опалення готелю (2018 р.)	Іспанія, муніципалітет Мурільйо-де-Гальєго	солома зернових (тюки)	250 кВт, ACR ECOCALDERAS (Іспанія)

* Більше прикладів можна знайти в обсерваторії проєкту AgroBioHeat [6].

потужністю 1 МВт на тюках соломи було встановлено у 2016 р. з метою заміщення природного газу в існуючій системі ЦТ, до якої підключено 187 споживачів. При інвестиційних витратах проєкту порядку 1 млн євро, річні заощадження на паливі склали близько 128 тис. євро, а скорочення плати за опалення досягало 50% порівняно з використанням природного газу. Котел має повністю автоматизовану систему подачі біопалива і оснащений електростатичним фільтром, який забезпечує видалення до 98% твердих частинок з димових газів. Споживається близько 100 т соломи на рік, яку на котельню постачають місцеві фермери. Котел може працювати на інших видах сільськогосподарських залишків, а також на деревній трісці вологістю до 30%.

Потужніша система ЦТ на солі впроваджена у місті Рудкьобінг, де експлуатується котел Justsen (Данія) 7,7 МВт з водоохолоджувальною рухомою решіткою. Установку обладнано рукавним фільтром, а для денітрифікації димових газів застосовано метод вибіркової некаталітичної редукції із уприскуванням сечовини. Інвестиційні витрати проєкту склали порядку 3,3 млн євро. Інші приклади систем ЦТ на солі в Данії включають використання котлів Linka (Данія) потужністю 2,0...6,5 МВт. За даними виробника, при експлуатації котлів досягається рівень емісії пилу набагато нижче граничнодопустимого значення Директиви ЄС для спалювальних установок середньої потужності (40 мг/нм³); емісія СО також забезпечується нижче граничнодопустимого значення (625 мг/нм³) [7].

Успішні приклади енергетичного використання соломи можна знайти і в інших країнах Європи. Так, в Іспанії (муніципалітет Мурільйо-де-Гальєго) котел потужністю 250 кВт забезпечує тепловою енергією готельний комплекс, розташований у гірській місцевості. Котел на тюках соломи, обладнаний циклоном для очищення димових газів від твердих частинок, встановлено у 2018 р. з метою заміщення використання пропану. Споживання біомаси становить 280 т/рік, солома постачається з місцевих полів, які належать власнику котельного комплексу. При інвестиційних витратах 90 тис. євро і заощадженнях на паливі 45...50 тис. євро/рік, проєкт мав дуже короткий термін окупності.

У місті Вілафранка-дель-Пенедес (Іспанія) у котельні комунальної теплової мережі встановлено котел Heizomat (Німеччина) потужністю 500 кВт, що використовує виключно обрізки виноградарів для виробництва теплової енергії для громадських будівель. Постачання біомаси до котельні здійснює виноробний кооператив, який, серед інших послуг, пропонує своїм асоційованим членам (фермерам) збір обрізків виноградарів з меншими витратами у порівнянні з їх самостійним збором фермерами. Виноробний регіон Пенедес має значний потенціал даного виду біомаси із річним виходом 600...800 кг обрізків з гектару виноградарів. Наразі для потреби котельні комунальної теплової мережі необхідно щорічно збирати біомасу з 400 га, але у подальшому існують плани продовжити встановлення котлів на обрізках та збільшити площу їх заготівлі [6].

Незважаючи на широке використання деревної біомаси, доволі багато котлів на солі впроваджено в Швеції, особливо в її самому південному регіоні Сконе. В країні працюють, принаймні, чотири котельні ЦТ загальною потужністю 12 МВт, порядку 40 котелів потужністю більше 500 кВт кожна і близько 100 котлів з середньою потужністю 500 кВт [7]. Приклади систем ЦТ на солі також мають місце в Австрії, Чехії, Польщі, Словаччині (див. табл. 2).

В Греції основними видами агробіомаси, що використовуються для отримання енергії, є оливкова макуха та лушпиння соняшника. Макуха у великій кількості утворюється на підприємствах з виробництва оливкової олії, і більша її частина споживається на місці для отримання теплової енергії на технологічні потреби. Решта по невеликій ціні продається іншим споживачам, у тому числі населенню. Основний обсяг гранул з лушпиння соняшника імпортується по доступній ціні, що робить їх конкурентоздатним паливом в країні.

Найбільш відомим прикладом успішного виробництва теплової енергії з агробіомаси в Греції є проєкт, реалізований компанією AGRIS S.A. (м. Кліді). У 2019р. цей проєкт був детально вивчений і включений Єврокомісією до переліку прикладів конкурентоздатного використання ВДЕ [11]. У 2012 р. компанія AGRIS S.A. встановила вісім котлів на біомасі загальною

потужністю 9,3 МВт для опалення теплиці-розсадника площею більше трьох гектарів і заміщення використання мазуту. Спочатку котли працювали на оливковій макусі, але пізніше стали застосовуватися гранули з лушпиння соняшника через їх кращі паливні характеристики і відсутність проблем із запахом. Котли на біомасі забезпечують до 97% загальної потреби у тепловій енергії, а у пікових режимах працює також старий мазутний котел. Гранули з лушпиння соняшника імпортуються з Болгарії і мають наступні типові характеристики: нижча теплота згорання 16,3 МДж/кг, вологість 10%, зольність 4,1% (с.р.), механічна міцність 95%. Річне споживання гранул становить близько 3,6 тис. т в залежності від погодних умов. Інвестиції в проєкт склали близько 1 млн євро, з яких 30% було забезпечено європейським та національним інвестиційними фондами. Перехід з мазуту на біопаливо дав можливість заощаджувати на опаленні теплиці 20-30% річних коштів.

Компанія BOKARPOS S.A. (м. Аргос) також опалює теплицю гранулами з лушпиння соняшника за допомогою трьох сучасних котлів з рухомою решіткою потужністю 350 кВт кожний. В подальшому компанія планує встановити додаткове опалювальне обладнання і розпочати використання також власної біомаси – відходів з теплиці та подрібнених обрізків багаторічних сільськогосподарських насаджень. Гранули з лушпиння соняшника застосовуються в системі опалення готелю, розташованого у гірській місцевості Греції з прохолодним кліматом (м. Карпенісіон). Котел потужністю 200 кВт, встановлений у 2014 р., працює протягом майже всього року із споживанням 75 т біопалива на рік. Термін окупності інвестицій проєкту (~23 тис. євро) склав менше півтора року.

У Франції є чимало прикладів виробництва теплової енергії з міскантусу. Один з них – система опалення муніципального будинку для людей похилого віку у містечку Шеврез. Котел Heizomat (Німеччина) потужністю 400 кВт було встановлено у 2018 р. Міскантус постачається місцевими фермерами. Реалізації проєкту сприяла місцева адміністрація. Міскантус використовується в системах ЦТ муніципалітетів Анже-сюр-Сомм (котел 100 кВт) і Шатоден (3 МВт), а також для опалення інших об'єктів. Кілька систем ЦТ на біомасі міскантусу працюють в Австрії. В Румунії є успішні приклади виробництва тепла з енергетичної верби для системи ЦТ і для опалення теплиці.

У майбутньому розвиток систем опалення може бути пов'язаний з використанням комбінації різних технологій, які дозволять гнучке регулювання вико-

ристання енергоносіїв з метою оптимізації витрат чи інших критеріїв. Прикладом такої системи може бути сучасна комплексна система централізованого теплопостачання Ringsted Forsyning данського міста Рінгстед. В цій системі ЦТ об'єднані котельня із двома котлами на тюках соломи потужністю 17 МВт, три теплових насоси загальною потужністю 10 МВт, які переважно використовують електричну енергію із розташованих поруч вітроелектростанцій та ТЕЦ на природному газі і біометані потужністю 11 МВт та 13 МВт. Завдяки комплексному підходу, енергетична генерація компанії Ringsted оптимізована під потреби споживачів та наявність ресурсів ВДЕ. Незважаючи на суттєве зростання індексу споживчих цін у Данії, застосування інновацій дає можливість останні 12 років залишати стабільну вартість послуг теплопостачання. У 2021 році на котельні встановлено скруббер для очищення димових газів, що забезпечує видалення 97% SO₂. Також встановлено тепловий насос, який відбирає теплову енергію з димових газів, що забезпечило збільшення ККД теплової генерації з 93 до 103%.

Ситуація в Україні

В Україні енергетичний потенціал відходів та побічної продукції сільського господарства (солома зернових, стебла кукурудзи, стебла соняшника, лушпиння соняшника та ін.) становить 9-11 млн т н.е./рік залежно від врожайності сільськогосподарських культур. Другою складовою потенціалу агробіомаси є енергетичні рослини (верба, тополя, міскантус та ін.) – близько 7,5 млн т н.е./рік за умови вирощування на 2 млн га незадіяних сільськогосподарських земель.

Хоча частка агробіомаси в загальному енергетичному потенціалі біомаси України становить 75...80%, її практичне використання (крім лушпиння соняшника) залишається вкрай недостатнім для досягнення національних цілей в сферах енергетики та клімату. При цьому доволі обмежений енергетичний потенціал деревної біомаси (2,6-3 млн т н.е./рік) реалізується майже повністю. Очевидно, що треба суттєво міняти структуру використання потенціалу біомаси в Україні, надаючи перевагу сільськогосподарським залишкам і енергетичним рослинам. Це відповідає тенденціям, закладеним в Європейський зелений курс і поглядам вітчизняних експертів на майбутнє біоенергетики [12-14].

В Україні активно використовується лушпиння соняшника для виробництва біопалив та енергії. Практично всі олійноекстракційні заводи оснащені котлами для спалювання лушпиння, експлуатуються кілька ТЕЦ і ТЕС (табл. 3). Одним з останніх прикладів є ТЕС «Аякс-Дніпро»

15 МВт_е – найпотужніша ТЕС на біомасі в Україні, запущена влітку 2020 р. біля ОЕЗ «Потоки» (перша черга). ТЕС обладнана двома котлами по 35 т пари/год (виробництво підприємства «Котлоенергопроект», Харків) і турбогенератором Siemens 16 МВт_е. Як основне паливо застосовується лушпиння і гранули з лушпиння соняшника. Котли можуть працювати на інших видах біомаси – деревній трісці, відходах та побічній продукції вирощування соняшника [15].

Щодо виробництва енергії з соломи, в Україні впроваджено кілька сотень котлів та теплогенераторів потужністю до 1 МВт; головним чином, вони працюють на сільськогосподарських підприємствах, об'єктах соціальної сфери у сільській місцевості, зерносушильних комплексах. Цікавим прикладом успішної експлуатації крупної установки на тюкованій соломі є котельня потужністю 10 МВт на птахокомплексі «Дніпровський». В котельні з

Табл. 3. ТЕЦ і ТЕС на біомасі в Україні [15]

Назва об'єкту	Розташування	Вид палива	Потужність, МВт _е
ПРАТ «КРОПИВНИЦЬКИЙ ОЕЗ», ТЕЦ	м. Кропивницький, Кіровоградська обл.	лушпиння	12,3 (33 МВтт)
ТОВ «Смілаенергопромтранс», ТЕЦ	м. Сміла, Черкаська обл.	деревна тріска	8,5 (10 МВтт)
ТОВ «Комбінат Каргілл», ТЕЦ	м. Донецьк	лушпиння	2,0 (15 МВтт)
ТОВ «БІОГАЗЕНЕРГО», ТЕС (2013 р.)	смт Іванків, Київська обл.	деревна тріска	19,0
ТОВ «АПК «Євгройл», ТЕЦ	м. Миколаїв	лушпиння	5,0 (10 МВтт)
ТОВ «Кліар Енерджі», Корюківська ТЕС (2016 р.)	м. Корюківка, Чернігівська обл.	деревна тріска	4,0
ТОВ «Сінга Енерджіс», ТЕЦ	м. Березанка, Миколаївська обл.	деревна тріска	5,1
ФОП Пересадько Р.В., електростанція	с. Королівка, Івано-Франківська обл.	деревна тріска	0,1
ТОВ ЕПГ «Югенергопромтранс», ТЕС (2018 р.)	м. Переяслав-Хмельницький, Київська обл.	деревна тріска	5,0
ТзОВ «Мебель-сервіс», ТЕЦ	с. Полове, Львівська обл.	деревна тріска	2,4
ТОВ «Біо-ТЕС», ТЕС (2020 р.)	м. Рахів, Закарпатська обл.	деревна тріска	6,0
КП «Міськтепловоденергія», ТЕЦ	м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл.	деревна тріска	1,6
ТОВ «АЯКС ДНІПРО», перша черга ТЕС (2020 р.)	м. Дніпро	лушпиння	16,0
ТОВ «ЕЙДЖІЕЛ ЕНЕРДЖІ», ТЕС (2020 р.)	смт Нова Водолага, Харківська обл.	лушпиння	7,0
ТОВ «Поліська ТЕС» (2021 р.)	м. Овруч, Житомирська обл.,	деревна тріска	5,9
ФОП «Стельмахук В. Д.», мініелектростанція силова	смт Делятин, Івано-Франківська обл.	деревна тріска	0,05
ТОВ «ПГС-Енергія», ТЕС (2020 р.)	м. Запоріжжя	лушпиння	2,7
ТОВ «БІО ЕЛЕКТРИКС», ТЕС (2020 р.)	с. Клубівка, Хмельницька обл.	деревна тріска, гранули з лушпиння, тріска зі стебел кукурудзи	6,0

2012 р. працюють два котли TTS Group (Чехія) по 5 МВт. Солома постачається з власних полів підприємства, середній радіус поставки – 15 км. Приклади енергетичного використання інших видів агробіомаси (стебла кукурудзи та соняшника, енергетичні рослини та ін.) є доволі обмеженими або взагалі відсутні, що свідчить про недостатній рівень розвитку цього напрямку в країні.

Висновки та рекомендації

Виробництво теплової енергії з агробіомаси має значні перспективи розвитку в країнах ЄС і в Україні, що пов'язано з великим потенціалом цього енергетичного ресурсу і поки низьким рівнем його практичного застосування. Для подальшого розвитку сектору біоенергетики потрібно суттєво міняти структуру використання вітчизняного потенціалу біомаси, надаючи перевагу сільськогосподарським залишкам і енергетичним рослинам, що відповідає Європейському зеленому курсу і поглядам експертів. Враховуючі наявний невикористаний потенціал різних видів сільськогосподарських залишків і регіональні особливості рослинництва, важливо налагодити надійну технологію заготівлі і енергетичної конверсії відходів та побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно і соняшника.

Для України найбільш перспективними напрямками видаються впровадження сучасних котлів і ТЕЦ на аграрній біомасі, виробництво рідких біопалив першого і другого покоління, а також біометану з біомаси сталого походження. Також рекомендується встановлювати котли на біомасі у котельні систем централізованого тепlopостачання, створюючи комплексні системи, які поєднують різні технології виробництва теплової енергії. Така диверсифікація енергоносіїв дозволить мінімізувати вартість теплової енергії для споживачів, забезпечуючи економічно доцільну діяльність теплової генерації.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Bioenergy in Europe*. ETIP Bioenergy, 2020. https://etipbioenergy.eu/images/ETIP_B_Factsheet_Bioenergy%20in%20Europe_rev_feb2020.pdf
2. *Biomass Supply*. Bioenergy Europe Statistical Report, 2020. <https://bioenergyeurope.org/article/270-biomass-supply.html>
3. M. Banja, R. Sikkema, M. Jégard et al. Biomass for energy in the EU – The support framework // *Energy Policy*. – 2019, v. 131, August, p. 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.038>
4. *Strategic Research and Innovation Agenda for Climate-Neutral Heating and Cooling in Europe*, RHC-ETIP, 2020. <https://www.rhc-platform.org/content/uploads/2020/10/RHC-ETIP-SRIA-2020-WEB.pdf>
5. F. Monforti et al. Optimal energy use of agricultural crop residues preserving soil organic carbon stocks in Europe // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015, v. 44, April, p. 519-529. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.033>
6. *AgroBioHeat* – Promoting the penetration of agrobiomass heating solutions in European rural areas. <https://agrobioheat.eu/>
7. M. Karampinis et al. D3.1 Report on identified cases. *AgroBioHeat*, 2020. https://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/10/AgroBioHeat_D3.1_agrobiomass-heating-facilities_v1.0-1.pdf
8. *Straw to Energy*. Technologies, policy and innovation in Denmark. Second edition. Food & Bio Cluster Denmark, 2020. https://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/11/AgroBioHeat_D7.6_Straw_to_energy_EN.pdf
9. *Biomass Statistics: Straw*. Danish Energy Agency, 2018. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/metode_halm.pdf
10. M. Gawor, S. Majer, D. Thrän. Impact of promotion mechanisms for advanced and low-ilUC biofuels on markets: Straw for bioenergy. IEA Bioenergy Task 40, 2014. <https://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/6/2013/09/t40-low-iluc-straw-august-2014.pdf>
11. J. Jansen, C. Stroia. Competitiveness of corporate sourcing of renewable energy. Case study: AGRIS S.A. European Commission, 2019. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3c4cd582-c48a-11e9-9d01-01aa75ed71a1>
12. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В., Баитовий А.І. Потенціал та перспективи енергетичного використання агробіомаси в Україні // *Теплофізика та теплоенергетика*. – 2020, т. 42, № 1, с. 42-51. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2020.5>
13. Желєзна Т.А. Європейський «зелений» курс і нові можливості для розвитку відновлюваної енергетики // *Теплофізика та теплоенергетика*. – 2021, т. 43, № 1, с. 75-81. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.9>
14. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Баитовий А.І. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року // *Теплофізика та теплоенергетика*. – 2020, т. 42, № 2, с. 60-67. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2020.6>
15. Желєзна Т.А. Агробіомаса як найбільша складова енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Презентація на семінарі «Відновлювані джерела енергії для декарбонізації: біоенергетика», Київ, 26.02.2021. <https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/eu4usociety-zheliezna-bioenergy.pdf>

ANALYSIS OF SUCCESSFUL CASES OF HEAT PRODUCTION FROM AGROBIOMASS IN EUROPE

Zhelyezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Marii Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2022.5>

The aim of the work is to analyze prospects for the development of heat production from agrobiomass in the EU and Ukraine. Attracting the untapped potential of agricultural residues and energy crops to the fuel and energy balance of European countries can be an effective measure to accelerate the implementation of green energy transition. The contribution of bioenergy to the gross final energy consumption in the EU-28 exceeds 10%, which is almost 60% of the total contribution of all renewable energy sources. More than half of the total biomass is used for heat production and this trend is expected to continue. A number of implemented projects for the production of heat from different types of agrobiomass for heating systems in Europe are considered, the factors of their success are analyzed. Agrobiomass heating systems have numerous areas of application such as district heating, heat supply to greenhouses, agricultural enterprises, agro-industrial companies, municipal buildings, hotels and others. The most used types of agrobiomass are cereal straw, sunflower husk, energy crops (miscanthus, willow). In Ukraine, the share of agrobiomass in the total potential of biomass for energy is 75... 80%, however, its practical usage (except for sunflower husk) remains extremely insufficient to achieve national goals in the energy and climate spheres. For the bioenergy sector of Ukraine, the most promising areas seem to be the introduction of modern boilers and CHP plants on agricultural biomass, the production of liquid biofuels of the first and second generations, as well as production of biomethane from biomass of sustainable origin. At that preference should be given to the utilization of grain maize and sunflower residues.

References 15, table 3, figures 1.

Keywords: renewable energy sources, bioenergy, biofuels, biomass, agrobiomass, agricultural residues.

1. *Bioenergy in Europe*. ETIP Bioenergy, 2020. https://etipbioenergy.eu/images/ETIP_B_Factsheet_Bioenergy%20in%20Europe_rev_feb2020.pdf
2. *Biomass Supply*. Bioenergy Europe Statistical Report, 2020. <https://bioenergyeurope.org/article/270-biomass-supply.html>

3. M. Banja, R. Sikkema, M. Jégard et al. Biomass for energy in the EU – The support framework // *Energy Policy*. – 2019, v. 131, August, p. 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.038>

4. *Strategic Research and Innovation Agenda for Climate-Neutral Heating and Cooling in Europe*, RHC-ETIP, 2020.

<https://www.rhc-platform.org/content/uploads/2020/10/RHC-ETIP-SRIA-2020-WEB.pdf>

5. F. Monforti et al. Optimal energy use of agricultural crop residues preserving soil organic carbon stocks in Europe // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015, v. 44, April, p. 519-529.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.033>

6. *AgroBioHeat* – Promoting the penetration of agrobiomass heating solutions in European rural areas.

<https://agrobioheat.eu/>

7. M. Karampinis et al. D3.1 Report on identified cases. *AgroBioHeat*, 2020.

https://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/10/AgroBioHeat_D3.1_agrobiomass-heating-facilities_v1.0-1.pdf

8. *Straw to Energy*. Technologies, policy and innovation in Denmark. Second edition. Food & Bio Cluster Denmark, 2020. https://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/11/AgroBioHeat_D7.6_Straw_to_energy_EN.pdf

9. *Biomass Statistics: Straw*. Danish Energy Agency, 2018

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/metode_halm.pdf

10. M. Gawor, S. Majer, D. Thrän. Impact of promotion mechanisms for advanced and low-iLUC biofuels on markets: Straw for bioenergy. IEA Bioenergy Task 40, 2014.

<https://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/6/2013/09/t40-low-iluc-straw-august-2014.pdf>

11. J. Jansen, C. Stroia. Competitiveness of corporate sourcing of renewable energy. Case study: AGRIS S.A. European Commission, 2019.

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3c4cd582-c48a-11e9-9d01-01aa75ed71a1>

12. Geletukha G.G., Zhelyezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I. Potentsial ta perspektyvy enerhetychnoho vykorystannya ahrobiomasy v Ukrayini [Potential and prospects for using agrobiomass for energy in Ukraine]. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. – Vol. 42, No. 1 (2020). – P. 42-51. (Ukr.)

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2020.5>

13. Zhelyezna T. Yevropeyskyi «zelenyi» kurs i novi mozhlyvosti dlia rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky [European Green Deal and new opportunities for the development of renewable energy]. *Thermophysics and*

Thermal Power Engineering. – Vol. 43, No. 1 (2021). – P. 75-81. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.9>

14. Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Bashtovyi A.I. Dorozhnya karta rozvytku bioenerhetyky Ukrayiny do 2050 roku [Roadmap for bioenergy development in Ukraine until 2050]. Thermophysics and Thermal Power Engineering.– Vol. 42, No. 2 (2020). – P. 60-67. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2020.6>

15. Zheliezna T.A. Ahrobiomasa yak naybilsha skladova enerhetychnoho potentsialu biomasy v Ukrayini [Agrobiomass as the largest component of biomass energy potential in Ukraine]. Presentation at the seminar «Renewable energy sources for decarbonization: bioenergy», Kyiv, 26.02.2021. (Ukr.)

<https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/eu4usociety-zheliezna-bioenergy.pdf>

Отримано 10.02.2022

Received 10.02.2022