

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача кафедри механіки та інженерії агроєкосистем Поліського національного університету, доктора технічних наук, професора

Кухарця Савелія Миколайовича

на дисертаційну роботу

Гелетухи Георгія Георгійовича на тему

“Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива”,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії

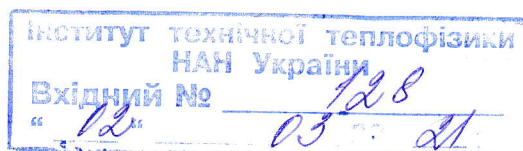
Актуальність теми

Заміщення біомасою споживання викопних палив, значна частина яких імпортується, сприяє енергонезалежності України, диверсифікації енергетичних ресурсів, залученню інвестицій та декарбонізації економіки. Крім цього впровадження біоенергетичних проектів на принципах сталого розвитку зменшує техногенне навантаження на навколишнє середовище, дозволяє ефективно утилізувати відходи сільського, лісового господарства та інших галузей, створює нові робочі місця і надає імпульс регіональному розвитку. Забезпечення умов для широкого запровадження виробництва енергії з біологічних видів палива потребує комплексної розробки науково-технічних засад оцінки наявних доступних ресурсів, формування сприятливого нормативно-правового поля, побудови раціональних «заготівельно-логістичних» ланцюгів, визначення технологій та технічних засобів енергетичного перетворення біомаси. Тому тема дисертаційної роботи Гелетухи Г.Г. є актуальною та має наукове і практичне значення для розвитку виробництва енергії з біологічних видів палива.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Вона складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 257 найменувань, 2 додатків та включає 332 сторінок основного тексту, 158 рисунків і 69 таблиць.

У *вступі* розкрито актуальність досліджень; наведено обґрунтування вибору теми дисертаційної роботи; відображено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначено мету і завдання дослідження; описано



наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; охарактеризовано особистий внесок здобувача.

У першому розділі проведено аналіз розвитку біоенергетики, представлено визначення понять біомаси і біопалив, наведено класифікацію і характеристики різних видів біомаси, визначено місце біоенергетики у паливно-енергетичному комплексі України. Встановлено, що для виконання зобов'язань національних стратегічних документів щодо частки енергії з відновлюваних джерел енергії в кінцевому споживанні енергії України, необхідно забезпечити раціональне використання наявних обсягів біомаси та розробити стратегічні засади, методи та засоби використання твердих видів біопалив та біогазів, вироблених з аграрної сировини. На основі систематизованих результатів наукових доробок попередників у галузі біоенергетики сформульовані науково-прикладну проблему та завдання дослідження.

У другому розділі розроблено методику оцінки потенціалу біомаси для енергетичних потреб, зокрема, визначені рекомендації оцінювання енергетичного потенціалу первинних і вторинних сільськогосподарських залишків, енергетичних культур, деревної біомаси, рідких біопалив та біогазу. Запропонована методика використана для оцінки енергетичного потенціалу біомаси в Україні у 2018 р. та на основі обґрунтування росту потенціалу його окремих складових зроблено прогноз на 2050 р. Також була виконана прикладна оцінка енергетичного потенціалу біомаси. Розроблена методика дозволяє визначати потенціал біомаси для енергетичних потреб як на національному рівні так і на рівні регіонів та громад.

На основі аналізу положень Енергетичної стратегії України, міжнародних зобов'язань України по скороченню викидів парникових газів та технічного стану енергетичних потужностей, існуючого та прогнозного потенціалу біомаси розроблено дорожню карту розвитку біоенергетики України до 2050 р., яка відповідає сценарію досягнення не менше 60% відновлюваних джерел енергії в енергобалансі у 2050 р. Зроблено прогноз встановленої потужності біоенергетичного обладнання на 2050 р. та проведена оцінка необхідних інвестицій, скорочення викидів парникових газів, заміщення природного газу та створення нових робочих місць.

У третьому розділі представлено результати досліджень збирання та енергетичного використання пожнивних решток кукурудзи на зерно, яка має найбільший невикористаний потенціал біомаси серед інших видів первинних сільськогосподарських залишків в Україні. Запропоновано перспективну для вітчизняних умов технологію збирання побічної продукції кукурудзи на базі

трьохпрохідної системи із використанням, після зернозбирального комбайна, спеціалізованого мульчувача-валкоутворювача та прес-підбирача великих прямокутних тюків.

На основі адаптованої методики проведено еколого-енергетичний аналіз життєвого циклу енергетичного використання побічної продукції кукурудзи у тюках, гранулах та брикетах для виробництва теплової енергії. При цьому буде досягнуто скорочення викидів парникових газів 83-91% для тюків, 73-79% для гранул та 75-81% для брикетів.

Визначено засади балансування енергетичної системи України електрогенеруючими об'єктами на біомасі, біогазі та біометані. Встановлено розмір необхідних тарифів на електричну енергію з таких електрогенеруючих потужностей, для їх ефективної роботи на ринку пікових електричних навантажень.

У четвертому розділі описано результати розробки технологій спалювання різних видів твердого біопалива з деревини і соломи та експериментальні дослідження розроблених технологій спалювання та анаеробного зброджування лігно-целюлозної сировини аграрного походження (солома, стебла кукурудзи, лушпиння соняшника). Представлено розроблену технологію спалювання низькоякісних видів біопалива в топках з ретортною подачею і решітками допалювання. Експериментальні дослідження розробленої технології визначили рекомендовані значення інтенсивності горіння для деревного палива різної вологості. Проведений аналіз екологічної ефективності удосконаленої конструкції котла з «глибоким» ретортним топковим пристроєм показав, що використання реторти з решітками допалювання сприяє зменшенню рівня емісії забруднюючих речовин у порівнянні з існуючими конструкціями топків.

У результаті досліджень визначено параметри технології спалювання соломи у водогрійних котлах періодичної дії, які були використані для розробки дослідно-промислових зразків соломоспалювальних котлів потужністю 100, 250, 350 кВт. Проведені експериментальні дослідження робочих параметрів та екологічних показників розроблених котлів.

Визначено конструктивно-технологічні параметри топкового пристрою для безперервного спалювання малих тюків соломи з тепловою потужністю до 100 кВт. Представлені результати експериментальних досліджень топкового пристрою лоткового типу для безперервного спалювання малих тюків соломи.

Відображено експериментальні дослідження виходу біогазу та вмісту в ньому CH_4 і CO_2 при зброджуванні зразків пожнивних решток та лушпиння

соняшнику у дослідній установці систем біореакторів періодичної дії. У результаті досліджень отримані кінетичні параметри швидкості утворення біогазу з не подрібненої, подрібненої та гранульованої соломи. Використання гранул дозволяє збільшити біодоступний потенціал виходу біогазу порівняно з не подрібненою та лише механічно подрібненою формами поживних решток. Встановлено рівняння залежності питомої швидкості виходу біогазу з одиниці робочого об'єму біореактора від концентрації органічної речовини у субстраті з поживних решток.

У *п'ятому розділі* наведено результати техніко-економічного обґрунтування технологій заготівлі біомаси, її переробки у біопалива і біогази та виробництва енергії з біологічних видів палива. Проаналізовано собівартість заготівлі побічної продукції кукурудзи за п'ятьма технологіями та проведена техніко-економічна оцінка цих технологій. Застосування трьохпрохідної системи для заготівлі побічної продукції кукурудзи у прямокутних тюках з доставкою на склад на відстані 25 км від поля дозволяє отримати біомасу за собівартістю близько 22,3 євро/т сухої речовини. Розраховано ТЕО зберігання та переробки побічної продукції кукурудзи у паливні гранули і брикети з трьома рівнями продуктивності обладнання.

Представлено ТЕО анаеробного зброджування відходів і побічної продукції АПК у біогаз з подальшою конверсією у електричну енергію, яка реалізується за схемою «зеленого» тарифу або аукціону. Виконано ТЕО виробництва і використання біометану як заміника природному газу, моторне паливо та паливо для комбінованого виробництва теплової і електричної енергії. Аналіз результатів ТЕО визначив перспективні для інвестицій напрямки виробництва енергії з біологічних видів палива.

У *висновках* узагальнено основні наукові результати.

У *додатках до дисертаційної роботи* міститься список публікацій та апробацій результатів досліджень здобувача за темою представленої роботи; копії чотирьох актів впровадження результатів роботи; копії листів з списком законодавчих ініціатив у галузі ВДЕ, в розробці яких дисертант приймав активну участь.

Основні наукові результати досліджень та наукова новизна дисертації

Подана дисертаційна робота визначається науковою новизною, яка полягає в тому, що в ній:

1) Вперше проведено комплексне системне дослідження виробництва енергії з біологічних видів палива на базі методики оцінки енергетичного

потенціалу біомаси із розробленням раціональних технологій її енергетичної конверсії, зокрема спалювання та анаеробної ферментації.

2) Адаптовано методологію оцінки життєвого циклу для аналізу енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів при використанні побічних продуктів кукурудзи для виробництва теплової енергії. Визначено залежність коефіцієнта перетворення невідновлюваної енергії та скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії від відстані транспортування побічної продукції кукурудзи у вигляді тюків, гранул та брикетів.

3) Експериментально визначено залежності інтенсивності горіння деревного біопалива від його вологості та емісій CO та NO_x від коефіцієнту надлишку повітря у «глибокій» реторті з решітками допалювання, що дозволило розробити удосконалену конструкцію котла.

4) Встановлено закономірності змін теплової потужності та рівня емісій забруднюючих речовин при спалюванні тюків соломи у водогрійних котлах періодичної дії.

5) На основі експериментальних досліджень визначено закономірності виходу біогазу з пожнивних решток в процесі їх анаеробної ферментації у біореакторі періодичної дії.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

1) Проведено оцінку ресурсів біомаси для енергетичного використання в Україні та на регіональному рівні для Вінницької, Дніпропетровської, Херсонської, Одеської, Сумської, Луганської та Донецької області.

2) За результатами досліджень розроблено стратегічний документ – дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 р.

3) Запропоновано раціональну для умов України технологію збирання побічної продукції кукурудзи на зерно.

4) Обґрунтовані передумови для використання електрогенеруючих об'єктів на біомасі, біогазі та біометані для балансування енергетичної системи України у години пікового споживання.

5) Розроблено конструкції котла для спалювання деревини вологістю до 50% з ретортною топкою і решітками допалювання, соломоспалювального котла періодичної дії та котла з топковим пристроєм для безперервного спалювання малих тюків соломи.

6) Визначено передумови для впровадження ефективної анаеробної ферментації пожнивних решток.

7) Визначено економічні показники перспективних для України інвестиційних проектів із виробництва енергії з біологічних видів палива.

8) Результати досліджень впроваджено на підприємствах і у навчальних закладах та використані при розробці ряду законопроектів щодо біоенергетики.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, належним чином обґрунтовані. Вони базуються на сучасних наукових концепціях, достовірних даних, сучасних методиках теоретичних і експериментальних досліджень. Результати експериментів знаходяться узгоджуються із висунутими теоретичними положеннями. Достовірність практичної частини дисертації підтверджена відповідними актами.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях. За темою дисертації опубліковано 90 наукових праць, серед яких: 5 монографій, 1 з яких видана за кордоном, 2 колективні монографії, 6 посібників, 56 статей у фахових періодичних виданнях, зокрема 8 публікацій в іноземних виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus, 9 публікацій в збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 1 патент України.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень доповідались й обговорювалися на 130 міжнародних та національних науково-практичних конференціях, симпозіумах та семінарах.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. Оформлення автореферату за своїм обсягом, структурою та змістом відповідає чинним вимогам до оформлення дисертаційних робіт. Зміст автореферату й основних положень дисертації ідентичні.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Із тесту роботи не зрозуміло чому в розділі 1.2 проаналізовано лише досвід заготівлі та енергетичного використання пожнивних решток кукурудзи, адже спектр біомаси аграрного походження досить широкий.

2. Підрозділ 1.3 бажано було б доповнити інтегрованою оцінкою технологій спалювання біомаси.

3. На мою думку, при розробленні методики оцінки енергетичного потенціалу біомаси бажано було б здійснити прив'язку коефіцієнтів доступності та виходу біомаси до коефіцієнтів корисної дії технологій її конверсії.

4. Підрозділ 3.1. розділу 3 можна було б об'єднати із підрозділом 1.2, адже в ньому йде мова фактично про одне і теж, зокрема про збирання та енергетичне використання пожнивних решток кукурудзи.

5. Підрозділ 3.3 в якому йде мова про балансування енергетичної системи на базі електрогенеруючих потужностей на основі використання біомаси заслуговує бути окремим розділом, адже це важливе питання із перетворення відновлюваних видів енергії.

6. У вихідних показниках моделі ТЕО «базової» ТЕЦ на біомасі (табл. 3.16), проєкту біогазової станції (табл. 3.18, 5.9) тариф на теплову енергію з біомаси вказано у грн/Гкал, тоді як інші економічні показники позначені у євро. Для оцінки моделей ТЕО необхідно вказати обмінний курс грн/євро.

7. Із тесту роботи не зрозуміло на яких фізичних підставах розроблено технологію спалювання низькосортних видів палива. Крім того, в таблиці 4.1 наведений параметр теплового навантаження представлено в застарілих одиницях ккал/м³. Також, було досліджено емісію викидів в процесі спалювання в залежності від вологості, коефіцієнту надлишку повітря та інтенсивність горіння (рис. 4.3-4.6), проте емпіричні залежності в тесті роботи не наведено.

8. В роботі виконано глибоке дослідження процесу зброджування рослинної біомаси, зокрема виконано дослідження динаміки виходу біогазу (рис. 4.30-4.37 та рис. 4.58-77) та динаміки зміни якісного складу отриманого біогазу (рис. 4.38-4.57), проте емпіричні рівняння не наведені. Також із тексту роботи не зрозуміло, які повторюваність дослідів та рівень похибок.

9. В оцінці інвестицій, необхідних для реалізації Дорожньої карти розвитку біоенергетики України до 2050 р. не розглянуті інвестиції у виробництво паливних гранул і брикетів та використання технології термічної газифікації біомаси.

10. У тексті дисертації та автореферату для соломи, стебел кукурудзи і соняшнику використовуються неоднорідні терміни, зокрема: побічна продукція, пожнивні рештки, аграрні відходи та залишки, які не є синонімами і мають різне тлумачення.

11. Для вираження енергетичного потенціалу біомаси у роботі використовуються різні одиниці вимірювання, зокрема, т у.п. у табл. 2.14-2.16, т н.е. у табл. 2.11 і 2.12. Для порівняння та співставлення результатів цих оцінок краще використовувати однакові одиниці вимірювання.

Загальні висновки

Наведені зауваження та побажання жодним чином не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, що є завершеним науковим дослідженням та містить отримані здобувачем особисто нові наукові та практичні результати.

Вважаю, що дисертаційна робота *Георгія Георгійовича Гелетухи* “*Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива*”, що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії, є завершеною науковою працею, в якій вирішено нову науково-прикладну проблему, що полягає у розвитку теоретичних і практичних основ виробництва енергії з біопалив на базі наявних і невикористаних ресурсів біомаси. Дисертаційна робота відповідає вимогам паспорту наукової спеціальності 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії, а також вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., а її автор, *Георгій Георгійович Гелетуха*, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за обраною спеціальністю.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри механіки та інженерії
агроекосистем Поліського національного
університету, доктор технічних наук,
професор

Кухарець С.М.

