

ВІДГУК

офіційного опонента, директора Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України, доктора технічних наук, член-кореспондента Національної академії наук України, професора Кудрі Степана Олександровича на дисертаційну роботу Корінчука Дмитра Миколайовича "НАУКОВІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІО- ТА ТОРФОПАЛИВА", подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика»

1. Актуальність роботи

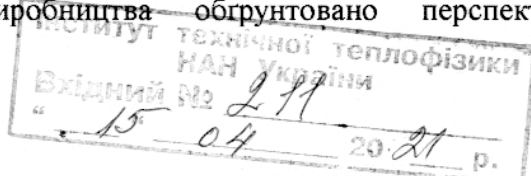
У сучасному світі енергетика є основою розвитку базових галузей промисловості, що визначає прогрес суспільного виробництва. В усіх промислово розвинених країнах темпи розвитку енергетики випереджали темпи розвитку інших галузей. Зростаюче техногенне навантаження на навколишнє середовище та загострення проблеми екологічної безпеки вимагає забезпечення збалансованого розвитку економіки, енергетики і екології. Вирішення вказаного питання можливе за рахунок оптимізації структури енергетичного балансу держави та її регіонів, у якому якомога більшу частку мають становити енергоносії, отримані з відновлюваних джерел енергії та альтернативні види палива. Сьогодні біомаса четвертий за обсягами використання в світі вид палива. Національні енергетичні програми країн ЄС, США і Канади містять плани щодо істотного зростання сектора альтернативних джерел енергії, а відповідно технології, що спрощують енергетичне використання біомаси, підвищують ефективність її енергетичної конверсії, розширюють асортимент біомаси для енергетичного використання є без сумніву актуальними. Наукова робота присвячена створенню основ енергоефективних технологій виробництва твердого біо- та торфопалива, включає розроблення сукупності науково обґрунтованих заходів, методів, способів, конструкційних та схемних рішень для зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів на основних стадіях виробництва пресованого палива, а тому є наразі своєчасною для України та відповідає пункту 1 «Пріоритетних напрямів енергозбереження» в Україні: збільшення частки альтернативних видів палива у структурі енергоспоживання.

2. Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 337 найменувань, 18 додатків. Робота викладена на 513 сторінки та включає 306 сторінок основного тексту, 109 рисунків і 39 таблиць.

У вступі наводяться необхідні відомості щодо загальної характеристики роботи, зокрема: обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, викладено наукову новизну і практичну цінність.

У першому розділі автором обґрунтовуються перспективні напрями виробництва та використання пресованого палива в Україні, зазначається актуальність дослідження можливості диверсифікації сировинної бази підприємств та пошуку методів, способів та режимів роботи обладнання для забезпечення енергоефективного виробництва біо- та торфопалива в межах діючих виробництв. За результатами технічного та енергетичного аналізу базових стадій виробництва обґрунтовано перспективи підвищення



енергоефективності технологій, що визначило структуру подальших досліджень. Автор на базі критичного аналізу теоретичних засад та експериментальних даних щодо процесів гранулоутворення пропонує новий підхід до аналізу методів впливу на процес гранулоутворення з позиції впливу на сировину перед пресуванням методами механічної, температурної, механо-температурної, хімічної та температурно-вологісної активації. Залучення вказаних методів потребує узгодження режимів роботи базових стадій виробництва. Автор запропонував комплексний підхід до дослідження гідромеханічних та тепломасообмінних процесів основних стадій виробництва та розроблення енергоресурсозберігаючих режимів роботи технологічного обладнання. За результатами аналізу існуючих методів дослідження механізмів гранулоутворення запропоновано новий метод аналізу механізмів утворення зв'язків в пресованому паливі на базі неізотермічного аналізу сировини до та після пресування з використанням методів активації, визначення кінетичних показників термічного розкладання палив та за їх зміною ідентифікації компонентів сировини які переважно приймають участь у утворенні міжмолекулярних зв'язків в пресованому паливі. Цей метод дає змогу пояснити ефекти, які супроводжують застосування досліджуваних методів активації сировини.

В кожному підрозділі сформульовано складові наукової проблеми та етапи їх вирішення, що у висновках до розділу дало змогу автору сформулювати мету та завдання, об'єкт та предмет дослідження.

В другому розділі показано суть та технічну ідею роботи, представлено розроблені автором методологічні засади енергетичного аналізу стадій подрібнення, сушіння та пресування, а також розроблені автором методи аналізу пресованих палив та викладено підходи щодо трактування механізмів утворення зв'язків в гранулах на базі дериватографічного дослідження та неізотермічного аналізу зразків палива, наводяться методики дослідження режимів хімічної активації торфу, диспергування та екстракції торфу в кавітаційному екстракторі.

В третьому розділі представлені результати дослідження впливу тиску пресування та режимів механічної, температурної, механо-температурної, хімічної та температурно-вологісної активації на показники густини, міцності гранул та енергетичних витрат на гранулоутворення. В дослідженнях як вихідна сировина використовується деревина сосни, лузга соняшнику, солома пшениці та фрезерний торф. Проведено дослідження як однокомпонентних, так і композиційних сумішей з вмістом механічно активованої складової одного із компонентів та комбінацій різних методів активації. Проведена оцінка ефективності застосування кожного методу, що узагальнено в діаграмі залежності потрібної роботи пресування від методу активації, розроблені графічні залежності якісних показників гранул та енерговитрат на гранулоутворення від режимних параметрів для кожного методу. Результати досліджень мають високу практичну цінність оскільки дають змогу визначити напрями підвищення енергетичної ефективності окремих виробництв пресованого палива. Автор формулює робочі гіпотези щодо механізмів утворення зв'язків, які пояснюють виявлені в дослідженнях ефекти зниження питомих енерговитрат для отримання палива із заданими властивостями.

В четвертому розділі методами дериватографічного та неізотермічного аналізу досліджено зразки вихідної сировини та пресованої за різних методів активації. Автор проводить порівняльний аналіз термогравіметричних залежностей, кривих диференційного термічного аналізу досліджуваних зразків і визначає температурні інтервали основних періодів термічного розкладання та значення температур максимумів і мінімумів

інтенсивності втрати маси, за моделлю Бройдо розраховує кінетичні показники окремих періодів розкладання, які відповідають послідовним процесам переважного видалення вологи, термічного розкладання геміцелюлози та лігніну, до яких у випадку торфу приєднуються ефекти розкладання аліфатичної та ароматичної складової гумусових речовин. Узагальнюючи результати досліджень цього та попереднього розділів та взявши за основу молекулярну теорію гранулоутворення, автор формулює фізико-хімічні моделі механізмів утворення зв'язків в гранулі за різних методів активації. Висунуті автором моделі добре узгоджуються з сукупністю результатів досліджень якісних показників палива та енергетичних витрат на їх отримання, пояснюють закономірності виявлених ефектів зменшення енергетичних витрат та покращення показників міцності та густини палива, що в цілому сприяє розвитку теорії гранулоутворення та становить наукове підґрунтя для вибору напрямів підвищення енергоефективності виробництва пресованого палива.

Важливим науковим та практичним результатом є визначення впливу лужного середовища, яке виникає під час хімічної активації торфу та вилучення гумусової складової, на процеси термічного розкладання торфу та утворення неорганічною складовою торфів нової фази силікатів кальцію за температур 800–900 °С. Встановлено що в композиційній суміші з кислим середовищем фрезерного торфу ознаки утворенням силікатів зникають, що в представленій роботі використовується для розроблення технологій виготовлення композиційного палива із використанням хімічно-активованого торфу як зв'язуючого, та покладено в основу розробленої автором ресурсозберігаючої технології комплексної переробки торфу на паливо і добриво.

В п'ятому розділі наводяться результати математичного моделювання та експериментальних досліджень гідромеханічних та тепломасообмінних процесів подрібнення, сушіння та, для випадку хімічної активації торфу, процесів диспергування та екстракції, проведених з метою розроблення науково обґрунтованих енергоресурсозберігаючих режимів роботи обладнання, розроблення енергоефективних конструкцій сушарок, обґрунтування схемних рішень стадій подрібнення.

Шостий розділ присвячено розробленню апаратно-технологічних схем, обґрунтуванню допоміжних стадій та конструкцій обладнання та аналізу їх енергетичної ефективності. Автор представляє детальний опис апаратно-технологічних схем виробництва однокомпонентного та композиційного біопалива, обґрунтовує основні стадії виробництва, наводить рекомендації щодо застосованого обладнання допоміжних стадій активації сировини, виділяє переваги кожної із запропонованих схем. В останніх підрозділах наводяться данні щодо виробничих випробувань запропонованих методів активації та розрахунки, які підтверджують енергетичну ефективність та економічну доцільність впровадження запропонованих в роботі методів активації сировини, енергоефективних схем подрібнення та запропонованих конструкцій сушарок.

Показано, що впровадження методів механічної та температурної активації, енергоефективних сушарок у виробництво пресованого твердого біопалива дає можливість підвищити річний прибуток підприємства на 294 тис. грн для технології на базі барабанної сушарки СК-3, та на 1273 тис. грн для технології на базі аеродинамічної сушарки з комбінованим рухом сушильного агента та підвищити рентабельність виробництва на 2,5 – 8%. Термін окупності запропонованих заходів не перевищує 2,6 роки, що відповідає вимогам до енергоефективних технологій.

Частка використання альтернативного палива в енергетичному балансі комплексів з барабанною сушаркою становить 89 %. Зниження витрат теплової енергії на виробництво тонни палива складає 7,5 %, електричної енергії 16 %. Питомі витрати теплової енергії на одиницю енергії виробленого палива базового комплексу становлять 25 %, електричної – 12 % і знижуються до 22 % та 10 % відповідно при реалізації технології на базі сушарки СК-3. Для випадку комплексів на базі аеродинамічних сушарок частка альтернативного палива становить 86 %. Зниження енерговитрат теплової енергії на виробництво тонни палива складає 14,5 %, електричної енергії 8 %. Питомі витрати теплової енергії на одиницю енергії виробленого палива базового комплексу становлять 20 %, електричної – 12 % і знижуються до 16 % та 11 % відповідно при застосуванні технології на базі аеродинамічної сушарки з комбінованим рухом сушильного агента та розширенням висхідних каналів.

Впровадження технології комплексної переробки торфу на паливо і добриво на торфобрикетному заводі дає можливість підвищити річний прибуток підприємства до 62,7 тис. грн, збільшити рентабельність виробництва палива на 2,5 % та гуматів на 24%. Частка використання альтернативного палива в енергетичному балансі виробництва композиційного палива становить 92 %, у виробництві гуматів – 86 %. Питомі витрати енергії на виробництво палива в енергетичному еквіваленті становлять для виробництва торф'яних брикетів 15,7 %, для виробництва композиційного палива – 15,4 %.

Представлені результати розрахунків підтверджують високу енергетичну та економічну ефективність впровадження методів активації сировини та запропонованих енергоефективних сушарок у виробництво пресованого твердого біопалива.

3. Основні наукові результати досліджень та наукова новизна дисертації.

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

1. Запропоновано науковий підхід до аналізу механізмів гранулоутворення та методів впливу на процес з позиції активації сировини перед пресуванням методами механічної, температурної, механо-температурної, хімічної та температурно-вологісної активації.

2. Сформульовано модель розрахунку енерговитрат пресування біомаси та торфу на базі основного рівняння пресування та визначено залежності параметрів основного рівняння пресування від тиску, температури та частки мікрофракції, що дає змогу визначити питомі енерговитрати пресування для отримання заданої міцності та густини пресованого палива.

3. Визначено залежність потрібної роботи пресування (мінімально необхідної кількості енергії для отримання гранул із заданими властивостями методом пресування) від використаного методу активації біомаси та торфу (механічної, температурної, механо-температурної, хімічної, температурно-вологісної) шляхом зіставлення експериментальних залежностей густини, міцності палива та енерговитрат пресування від тиску пресування, отриманих для кожного методу.

4. Запропоновано критерії кількісної оцінки утворених міжмолекулярних зв'язків та молекулярних зшивок за участю окремих біополімерів на підставі зміни ефективної енергії активації десорбції води та термічного розкладання біополімерів геміцелюлози, лігніну та гумінових речовин у випадку торфу, в пресованому за різних методів активації паливі, та зміни етапності періодів термічного розкладання біополімерів.

5. За результатами дослідження з використанням неізотермічного аналізу вихідної сировини та ПТБ і ПТТ визначено вплив методів активації та параметрів пресування на утворення міжмолекулярних зв'язків та молекулярних зшивок за участю окремих біополімерів, встановлено закономірності перетворення біополімерних комплексів палива та їх роль у механізмах гранулоутворення.

6. Сформульовано фізико-хімічні моделі механізмів гранулоутворення в однокомпонентних та композиційних біо- та торфопаливах за умови механічної, температурної, температурно-вологісної, хімічної активації сировини, які виступають науковим підґрунтям для вибору нових енергоефективних напрямів вдосконалення технологій виробництва пресованого твердого палива.

7. З використанням розробленої методики енергетичного аналізу схемних рішень стадії подрібнення оцінено енергетичні показники схем реалізації механічної активації сировини перед пресуванням.

8. Розроблено математичну модель тепломасообміну в умовах високотемпературного сушіння поліфракційної однокомпонентної або композиційної суміші для розрахунку кінетичних і гідродинамічних характеристик процесу зневоднення в аеродинамічних сушарках, з використанням якої проведено теплотехнічний аналіз експлуатаційних параметрів і оцінку енергоефективності роботи та запропоновано конструкції енергоефективних аеродинамічних сушарок.

В представлений роботі отримали подальший розвиток:

9. Методологічні засади енергетичного аналізу схемних рішень стадії подрібнення біомаси та торфу.

10. Теоретичні засади молекулярної теорії гранулоутворення в аспекті пресування біомаси та торфу з врахуванням біополімерної природи їх складових.

11. Теоретичні засади термічного аналізу пресованих палив в аспекті аналізу ступеня участі окремих біополімерних комплексів в процесах гранулоутворення та впливу активаційних процесів на утворення міжмолекулярних зв'язків та молекулярних зшивок.

4. Практичне значення результатів дисертаційної роботи.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в науковому обґрунтуванні застосування методів активації сировини (механічної, температурної, механо-температурної, хімічної та температурно-вологісної активації) з метою підвищення якості палива та зниження енергетичних витрат виробництва, розробленні енергоефективних режимів та схем подрібнення, обґрунтуванні допоміжних стадій виробництва та конструкцій обладнання стадії сушіння, що в сукупності забезпечує зниження енерговитрат теплової енергії на виробництво одиниці продукції на 7,5–14 %, електричної – на 8–16 %.

Розроблено інноваційну ресурсозберігаючу технологію комплексної переробки торфу на паливо та добриво, що дозволило вилучати до 72 % гумінових речовин з торфу для виробництва вискоєфективного добрива, а залишок хімічно активованого торфу після екстракції використовувати в складі композиційного палива як зв'язуюче.

Результати наукової роботи впроваджено при виготовленні дослідного зразка барабанної сушарки СК-3 та апарату температурно-вологісної активації підприємством ТОВ «БМ-ІНЖИНІРІНГ», м. Красноград; методи активації та конструкції аеродинамічних сушарок апробовано та впроваджено на ТОВ «НОВА ЕНЕРГІЯ», смт. Лужани, Чернівецької області; ТОВ «НАША ЕНЕРГІЯ» та ТОВ «БРИКЕТ-ЦЕНТР», смт. Сосниця, Чернігівської області; ТОВ «ІНТЕРСОРС», м. Берегове; ліцензію на технологію

виробництва з переробки торфу на добрива і паливо та патенти України № 117651 і № 116663 продано Інституту технологій ГФС В'єтнаму.

5. Достовірність отриманих результатів.

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректністю математичних постановок задач і фізичних припущень, а також порівняльним аналізом теоретичних і експериментальних результатів. Отримані експериментальні результати знаходяться в задовольній якійсній та кількісній відповідності до висунутих теоретичних положень.

6. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Основні наукові положення, що повністю розкривають зміст та основні результати дисертаційної роботи, викладені у 67 друкованих працях, зокрема: у 1 монографії; 2 колективних монографіях, 8 статтях у виданнях, що входять до наукометричних баз Index Copernicus та Scopus; 16 статтях у спеціалізованих фахових виданнях; 23 публікаціях в матеріалах міжнародних конференцій в Україні; 4 патентах на винаходи і 5 патентах на корисну модель.

7. Апробація результатів дисертації.

Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались впродовж 2010 – 2020 років на багатьох конференціях, в тому числі на 2-х Міжнародних конгресах.

8. Оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційна робота представляє собою закінчену наукову працю, що виконана у вигляді рукопису, оформленого відповідно до вимог наказу МОН № 40 від 12.01.2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Стиль викладення наукового матеріалу в дисертаційній роботі та авторефераті забезпечує його чітке та однозначне розуміння.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертаційної роботи.

9. Зауваження по дисертаційній роботі та автореферату

1. Дисертаційна робота написана українською мовою, але не позбавлена ряду граматичних помилок, використання слів-професіоналізмів, слів калькованих з російської та англійської мов. Перелік посилань складений без doi ідентифікаторів до праць, що їх мають, бібліографічний опис ряду праць неповний.
2. На с. 68, 127 висунуто завищену вимогу до міцності пресованого біопалива $DU > 96.5\%$. Чинним стандартом ISO 17225-1: 2014 допускається виробництво брикетів міцністю $DU_{90\%}$ і менше, показник міцності нормується лише для брикетів, що постачаються навалом (не упакованими). Цим же стандартом для гранул (пеллет) показник міцності $DU_{97.5\%}$ встановлений для пеллет найвищої якості, але допускаються пеллети з показниками міцності $DU_{96.5\%}$, $DU_{95.0\%}$, та нижче $DU_{95.0\%}$. Лише до пеллет, що призначаються переважно для малих котлів, встановлені високі вимоги до міцності – для деревних пеллет за ISO 17225-2:2014 ($DU_{97.5\%}$ та $DU_{96.5\%}$) та для недеревних пеллет за ISO 17225-6:2014 ($DU_{97.5\%}$ та $DU_{96.0\%}$).
3. В дисертації застосовується пакетне посилання на власні праці дисертанта та інших авторів. Такий підхід утруднював аналіз роботи та виокремлення вкладу дисертанта від відомих фактів, опублікованих іншими авторами. Наприклад, на с. 117 при викладенні математичного опису пресування до залежностей (2.1) та (2.3) наведено посилання [176, 223] на роботу [176. Федоренко И. Я. Альтернативная теория прессования кормов. Вестник АГАУ. 2013. №3 (101). С. 95–98.] та власну роботу [223. Корінчук Д.М. Вплив температурної та фізико-механічної активації біомаси на енерговитрати процесу

пресування біопалив деревинного та рослинного походження. Науковий вісник НЛТУ України. Т. 28. №5. С. 111–118.]. Виникало запитання: кому ж належить авторство наведених у дисертації рівнянь (2.1), (2.2), (2.3), які є теоретичною основою представленої дисертаційної роботи.

4. На с. 118 стверджується: «За фізичною суттю коефіцієнт P_0 відповідає тиску, потрібному для досягнення відносного збільшення густини $z = 1$ ». З алгебраїчного виразу, наведеного на сторінці 117 в поясненнях до формули (2.1), слідує, що z може мати лише від'ємні значення. Останнє потребує пояснення, як і відповіді на запитання: чи можна називати величину z приростом густини (відносним приростом густини)?
5. В розділах 3, 4, 5 частково дублюється опис умов проведення дослідження які наведені в розділі 2 в описі методик дослідження.
6. На с. 145 відомий вираз (2.22) для визначення випадкової складової похибки записаний з помилкою. Представлені методи обчислення похибок прямих та непрямих вимірювань (підрозділ 2.6, додаток Б) є загальновідомими, відповідно наведення в докторській дисертації цих методик зайве. Достатньо було б обмежитися посиланнями на літературні джерела.
7. На с. 152 стверджується: «простежується тісний кореляційний зв'язок між густиною і механічною міцністю», але у тексті роботи та на рис. 3.2 такого кореляційного аналізу та його результатів не наведено. На рисунках 3.2 та 3.3 дисертації (рис. 2 та 3 автореферату) наведено графічні залежності густини, міцності гранул та енерговитрат пресування в залежності від тиску та умов механічної та температурної активації сировини рослинного, деревинного походження та торфу. Залежності показників виробництва гранул представлені поокремо, що ускладнює їх аналіз, водночас представлення зазначених залежностей на одній суміщеній діаграмі у вигляді ліній рівня вказаних показників спростило би вибір раціональних режимів роботи обладнання.
8. Дані щодо ефективної енергії активації наведені в таблицях 4.6–4.9 в значній мірі продубльовано на порівняльних діаграмах рис. 4.20 та рис 4.21. Автору доцільно було б прийняти єдиний вид представлення інформації, до того ж графічне представлення результатів спрощує сприйняття представленого матеріалу.

Наведені вище зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного дисертаційного дослідження та, ні в якій мірі, не зменшують його наукової новизни та практичної значимості.

10. Загальні висновки

На основі розгляду дисертації, автореферату і наукового доробку автора (публікацій, патентів, технічних умов України) вважаю що представлена до захисту дисертаційна робота «Наукові основи енергоефективних технологій виробництва твердого біо- та торфопалива» виконана на актуальну тему та є закінченим науковим дослідженням. Наукові результати відзначаються новизною, теоретично обґрунтовані та підтверджені експериментально, а прикладні мають практичну цінність, їх широке впровадження підтверджується відповідними актами.

Наукові та практичні результати в сукупності розв'язують означену в роботі важливу науково прикладну проблему підвищення енергетичної ефективності технологій виробництва біо- та торфопалива шляхом наукового обґрунтування способів активації

сировини та методів впливу на процес гранулоутворення, комплексного теплотехнічного й енергетичного аналізу технології та розроблення сукупності заходів, методів, способів, конструкційних та схемних рішень для зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів на базових стадіях виробництва пресованого палива, що свідчить про завершеність наукового дослідження. Подання матеріалів комплексного дослідження в логічній послідовності з обґрунтуванням і узагальненням результатів у вигляді висновків по розділах і загальних висновків сприяє її сприйняттю як цілісного дослідження. Основні результати пройшли широку апробацію на авторитетних міжнародних конференціях, достатньо повно викладені у фахових виданнях та у виданнях індексованих в міжнародних базах даних. Винесені на захист результати дослідження отримані автором особисто.

На підставі сказаного, вважаю що дисертаційна робота «Наукові основи енергоефективних технологій виробництва твердого біо- та торфопалива» за своєю актуальністю, методологічним рівнем, ступенем новизни, теоретичним і практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року (із змінами) які висуваються до кваліфікаційних наукових праць на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор Корінчук Дмитро Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент

Директор Інституту відновлюваної енергетики НАН України,
доктор технічних наук,
член-кореспондент НАН України,
професор



С.О. Кудря