

**ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**  
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.

**Актуальність роботи.**

Підвищення рівня енергетичної безпеки є одним з сучасних викликів для України. Дефіцит власних традиційних енергоносіїв, підвищення вартості імпортованих ресурсів та започатковані в енергетиці зміни задля впровадження концепції сталого розвитку енергетики стали причиною активного залучення в енергетику альтернативних енергоресурсів. Серед альтернативних джерел за темпами росту обсягів використання в енергетичній сфері біомаса займає лідируючі позиції. Для покращення умов енергетичного використання та подолання логістичних бар'єрів біомаси переробляється на пресоване паливо. В Україні за останні десятиліття створено більше 500 підприємств, які спеціалізуються на виробництві паливних брикетів та гранул. Аналіз технологічних етапів виробництва твердого біопалива, проведений в представленій роботі виявив, що усі стадії виробництва є енерговитратними. Низька енергетична ефективність характеризує як стадію пресування так і інші етапи підготовки сировини до пресування - подрібнення та сушіння. Недосконалість реалізації цих процесів обумовлює високі виробничі витрати та собівартість продукції. Недостатній рівень знань щодо організації окремих стадій підготовки сировини до пресування, відсутність досліджень по пресуванню композиційних сумішей різних видів біомаси та торфу обмежує можливості виробництва якісних альтернативних палив. Розроблення наукових основ енергоефективних технологій виробництва твердого біо- та торфопалива сприяє раціональному використанню природних ресурсів, підвищенню енергетичної ефективності їх виробництва, зменшенню втрат матеріальних та енергетичних ресурсів, розвитку виробництву альтернативних палив, що обумовлює актуальність теми даного дослідження.

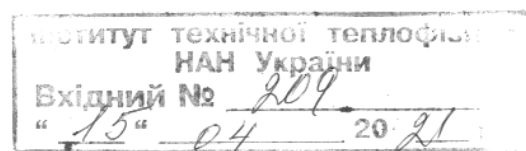
**Ступінь обґрунтованості та вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі Корінчука Д.М., обґрунтовані та базуються на коректній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів теоретичного та експериментального дослідження, зіставленні та аналізі наукових результатів і якісному формулюванні отриманих висновків. Якість результатів практичної частини дисертації підтверджена також широким впровадженням у виробництво.

Дисертація та автореферат цілком відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 - Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

**Основні положення наукової новизни отриманих результатів**

Ключові результати роботи, які отримані вперше та розкривають її наукову новизну, можна викласти таким чином:



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.

Наукова новизна робіт та висновків за їх результатами, захищена 4 патентами України на винаходи у способів температурно-вологісної активації, сушіння та екстракції гуматів з торфу.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Результати дисертаційної роботи було використано в межах виконання наступних бюджетних тематик Інституту Технічної теплофізики НАН України:

№ 1.7.1.841 «Теплофізичні основи переробки біомаси і торфу на паливо» (0112U001932);

№1.7.1.856 «Наукові основи комплексної переробки торфу на паливо з вилученням гумінової складової для використання в сільському господарстві» (0112U001931);

№27-14 – 27-17 «Розробка технологічної лінії виготовлення композиційного палива на основі торфу» (0113U004555);

№1.7.1.861 «Дослідження інтенсифікації тепломасообміну та розробка теплотехнології підвищення теплотворної здатності композицій твердого біопалива» (0115U003365);

№1.7.1.879 «Наукові засади підвищення енергоефективності теплотехнологій при зневодненні колоїдних капілярно-пористих матеріалів» (0112U002650);

№1.7.1.887 «Наукові засади підвищення енергоефективності теплотехнологій виробництва альтернативних видів палива» (0118U002340).

Здобувач брав участь у виконанні господарської тематики Інституту Технічної теплофізики НАН України:

№2772 «Проведення досліджень енергоефективності процесу зневоднення в барабанній сушарці лінії виготовлення паливних гранул»;

№2778 «Проведення досліджень процесу пресування деревини з попередньою температурно-вологісною обробкою для виготовлення паливних гранул»;

№2780 «Технічний аналіз торфу»;

№2784 «Тепловий розрахунок сушарки деревини СК-3»;

№16 «Про трансфер технологій виробництва з переробки торфу на добрива і паливо».

Здобувач був відповідальним виконавцем у проведенні досліджень за темами №:1.7.1.841, №:1.7.1.856, № 1.7.1.861, №27-14 – №27-17 та науковим керівником теми №:1.7.1.887; брав участь у роботі за договорами №2772, №2778, №2780, №2784 як науковий керівник, у інших роботах – як відповідальний виконавець.

**Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні сукупності заходів, методів, способів, конструкційних та схемних рішень для зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів на базових стадіях виробництва пресованого палива. До найбільш вагомих можна віднести:**

– розроблено діаграми потрібної роботи пресування та режимних параметрів тиску, механічної, температурної, температурно-вологісної активації сировини для отримання заданої густини та міцності пресованого палива, що дає змогу визначити напрями вдосконалення окремої технологічної лінії, знизити енергетичні витрати на процес пресування до 12 разів,

– розроблено апаратно-технологічні схеми енергоефективних комплексів виробництва біо- та торфопалива з впровадженням стадій активації сировини та енергоефективних сушарок, що забезпечило зниження питомих енерговитрат теплової енергії на виробництво тони палива на 7,5–14 %, електричної – 8–16 %;

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

Впровадження результатів роботи у виробництво підтверджено підприємствами:

ТОВ «БМ-ІНЖИНІРІНГ», м. Красноград; ТОВ «НОВА ЕНЕРГІЯ», смт. Лужани, Чернівецької області; ТОВ «НАША ЕНЕРГІЯ» та ТОВ «БРИКЕТ-ЦЕНТР», смт. Сосниця Чернігівської області; ТОВ «ІНТЕРСОРС», м. Берегове.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується 4-ма патентами України на винахід та 5-ма на корисну модель, що одержані здобувачем у складі акторського колективу.

За результатами роботи розроблено технічні умови на виготовлення 3-х видів продукції.

Ліцензія на технологію комплексної переробки торфу і патенти України № 117651 та № 116663 передані на комерційній основі Інституту технологій ГФС В'єтнаму.

**Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується** використанням науково-обґрунтованих методик аналітичних та експериментальних досліджень, коректною постановкою задач, адекватністю математичної моделі з експериментальними даними, відтворюваністю результатів експериментальних досліджень, використанням сучасних програмних середовищ.

**Повнота викладу основних наукових положень дисертації в опублікованих працях.** Зміст дисертації відображено у 67 публікації, в тому числі: 16 статтях у наукових фахових виданнях України, 8 публікацій у виданнях, що входять до наукометричних баз Index Copernicus, SCOPUS, у 1 монографії та 3 колективних монографіях, 23 публікацій доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій, 4 патентах України на винахід, 5 патентах на корисну модель та 3 технічних умовах України

**Апробація результатів дисертації.** Результати та основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких заходах:

- Міжнародна конференція «Проблеми промислової теплотехніки», Київ, 2011, 2013, 2015 рр.; Міжнародна конференція «Проблеми теплофізики та теплоенергетики», Київ, 2017, 2019 рр.; Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні енергозберігаючі теплові технології», Москва, Росія, 2011, 2020 рр.;
- Міжнародна конференція «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики», Ялта, Одеса, Київ, 2010, 2016, 2017, 2019 рр.;
- 2-й та 6-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», Львів, 2012, 2020 рр.;
- XVI Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті», Київ, 2015 р.;
- Міжнародна наукова конференція «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв», Одеса, 2016–2018 рр.;
- Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні», Львів, 2013, 2015 рр.;
- Міжнародна наукова конференція «Хімічна технологія та інженерія», Львів, 2017, 2019 рр.

**Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації** підтверджується повною мірою, автореферат містить тільки ті положення, які є у тексті рукопису дисертації

**Структура та зміст роботи.** Дисертація є завершеною науковою працею і складається зі вступу, 6 розділів, висновків та додатків, списку використаної літератури на 337 джерела. Загальний обсяг роботи становить 513 сторінок, включаючи 306 сторінок основного тексту, 109 рисунків 39 таблиць та 18 додатків.

*Вступ* роботи за формою відповідає встановленим вимогам, а за змістом темі дисертаційної роботи.

*Перший розділ* присвячено аналізу сучасного стану і тенденціям розвитку галузі виробництва пресованого біопалива. Автор наводить обґрунтування щодо актуальності для України залучення різних видів агровідходів, деревини та торфу в енергетичний баланс країни шляхом переробки на пресоване паливо. Виділяє проблеми галузі, критично аналізує існуючі теоретичні підходи до їх вирішення. Автор проводить огляд факторів впливу на процес гранулоутворення та аналізує їх зв'язок з енергетикою пресування. Узагальнення теоретичного та експериментального досвіду вітчизняних та закордонних науковців дало змогу автору запропонувати новий підхід до аналізу факторів впливу на процес гранулоутворення з позиції активації сировини, обґрунтувати новітні підходи до аналізу цього процесу з урахуванням полімерної природи складових біомаси. Вивчення досвіду дослідників дозволило автору обґрунтувати передумови створення енергоефективних технологій виробництва композиційних палив та напрямів диверсифікації виробництва торфопалива. Ключова ідея його підходу лежить у поєднанні технологій виробництва палива та добрива на одному підприємстві, що реалізується шляхом вилучення гумусової складової з торфу і використанням для виробництва добрива, при цьому твердий залишок після екстракції може використовуватися як в'язуче. В розділі обґранковуються наукові напрями пошуку енергоефективних режимів, схем та конструкцій обладнання стадій подрібнення та сушіння, формулюються предмет об'єкт, мета та завдання дослідження

*В другому розділі* наводиться опис оригінальних моделей та методів енергетичного аналізу стадій виробництва біопалива, спрямованих на дослідження гідромеханічних та тепломасообмінних процесів з метою зниження питомих енергетичних витрат на виробництво палива з заданими показниками якості. Представлено опис експериментальних стендів та обладнання дослідження процесів подрібнення, сушіння та пресування, а також методи дослідження процесів екстракції та диспергування торфу. У висновках до розділу вказується перелік залученого обладнання та використаних відомих моделей процесів.

*В третьому розділі* наведено результати аналізу впливу методів активації сировини на якісні показники пресованого палива та питомі енерговитрати пресування для отримання заданої якості палива. За результатами дослідження розроблено діаграми потрібної роботи пресування та режимних параметрів тиску, механічної, температурної, температурно-вологісної активації сировини для отримання заданої густини та міцності пресованого палива, застосування яких дає змогу визначити напрями вдосконалення окремої технологічної лінії, знизити енергетичні витрати на процес пресування до 12 разів, забезпечити стале виробництво якісного пресованого палива, розробити заходи стабілізації продуктивності виробничої лінії в умовах диверсифікації сировинної бази

підприємства.

*В четвертому розділі* за результатами дериватографічного аналізу та оброблення термогравіметричних залежностей за моделлю Бройдо визначено кінетичні показники термічного розкладання компонентів різних видів біомаси й торфу та встановлено вплив методів активації на зміну величини ефективної енергії активації в періодах переважного видалення вологи та розкладання геміцелюлози та лігніну в пресованому паливі. Автором проведено узагальнення показників густини, міцності, енергетики пресування і кінетичних показників термічного розкладання складових біомаси та зроблено висновок про особливості механізмів утворення зв'язків в гранулі, що дало змогу сформулювати фізико-хімічні моделі механізмів гранулоутворення в однокомпонентних та композиційних біо- та торфопаливах за умови механічної, температурної, температурно-вологісної, хімічної активації сировини які пояснюють закономірності впливу методів активації на величину питомих витрат пресування для отримання палива заданої якості.

*В п'ятому розділі* наводяться дослідження енергоефективних режимів стадій подрібнення сушіння сировини перед пресування та екстракції і диспергування торфу згідно розроблених автором моделей гідромеханічних та тепломасообмінних процесів. З використанням розробленої методики енергетичного аналізу схемних рішень стадії подрібнення оцінено енергетичні показники схем реалізації механічної активації сировини перед пресуванням та обґрунтовано схему двостадійного подрібнення з механічною активацією частини сировини, що забезпечує до 40 % зниження енерговитрат на стадії подрібнення. Представлено етапи розроблення математичної моделі тепломасообміну під час високотемпературного сушіння поліфракційної однокомпонентної або композиційної суміші, яка використовується в подальших теоретичних дослідженнях для розрахунку кінетичних і гідродинамічних характеристик процесу зневоднення та теплотехнічного аналізу експлуатаційних параметрів і оцінки енергоефективності роботи аеродинамічних сушарок. Обґрунтовано комбіновані схеми сушіння біомаси та торфу в аеродинамічних багатосекційних сушарках, схеми з розділенням стадій сушіння проміжною стадією подрібнення та механічної активації, які забезпечують мінімальну пофракційну вологорізницю сировини та зниження до 22 % питомих енерговитрат на сушіння порівняно з прямою сушаркою. За результатами моделювання процесу сушіння біомаси в барабанній сушарці при змінних вхідних параметрах сировини отримані залежності продуктивності та енерговитрат на процес дали змогу обґрунтувати новий спосіб регулювання продуктивності барабанної сушарки шляхом суміщення динамічної зміни кута нахилу барабана сушарки з температурною інтенсифікацією, регулюванням кількості обертів барабана або зміною дисперсного складу біомаси, що забезпечило регулювання вологопродуктивності в межах 30–85 кг/(м<sup>3</sup>·год) та підвищення енергоефективності установки до 24 %. Спосіб захищено патентом на вихід. Відпрацьовано режими диспергування та екстракції гумусової складової з торфу в кавітаційному екстракторі типу ЕІ та обґрунтовано можливість інтегрування цієї технології в виробничий цикл торфобрикетного виробництва. У висновках до розділу сформульовано науково обґрунтовані рекомендації щодо енергоефективних режимів роботи обладнання базових стадій виробництва та допоміжних ділянок введених в виробничий цикл з метою підвищення якості пресованого палива, можливості диверсифікації сировинної бази, зниження питомих витрат на виробництво, стабілізації продуктивності комплексу виробництва біо- та торфопалива.

*В шостому розділі* наведено апаратно-технологічні схеми комплексів виробництва

торфопалива, переробки торфу на паливо та добриво, комплексів виробництва композиційного біопалива. Наведено детальний опис апаратної реалізації допоміжних ділянок механічної, температурної, температурно-вологісної та хімічної активації. Проведено розрахунки, які підтверджують енергетичну ефективність та економічну доцільність впровадження методів активації у виробництво пресованого палива. Визначені основні переваги кожного із запропонованих комплексів.

У висновках представлено основні результати досліджень, наукові положення та рекомендації.

В додатках наведено інформацію про похибки визначення фізичних величин, проміжні результати розрахунків та графічні залежності, акти випробування та впровадження результатів, патенти та технічні умови, нагороди.

### **Разом з тим до дисертаційної роботи Корінчука Д.М, є наступні зауваження:**

1. Гелетука Г.Г., який захищав докторську дисертацію «Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива» 30.03.2021 р. в своїй дисертації обґрунтовував такі тези:

- «коефіцієнт перетворення енергії EYCNR вище для перевезення у вигляді тюків, ніж у вигляді гранул і брикетів, до відстані 500 км.»;
- «в порівнянні з гранулами, брикети завжди мають кращі показники енергетичної ефективності».

Дисертант широко використовує роботи Гелетуки Г.Г. ([5], [9], [14], [26]), але відстоює іншу точку зору :

- «Вже за відстані транспортування більше 100 км переваги нативної біомаси зникають, а врахування ефективності спалювання, тобто кількості енергії, яку споживач може використати враховуючи ККД енергетичної установки робить необґрунтованим транспортування нативної біомаси на відстань більше 100 км» (стор.64);
- брикети з деревини за даними автора (рис.1.1) є ефективніші за гранули з тієї ж сировини, а для соломи результат протилежний.

Нажаль, в тексті дисертації ці, досить цікаві, висновки не обґрунтовуються.

2. В процесі співставлення опису конструкції екстрактора типу EI-10 (стор.140.) та інформації, наданої автором відносно його роботи, складається враження, що реальний процес набагато складніший. Процес кавітації не завершується у мить, коли діафрагма переводиться у верхнє положення це і є момент утворення глибокого вакууму.

3. В дисертації використовується термін «вологість». При цьому немає пояснень до цього терміну: абсолютна чи відносна це вологість. Єдине місце, яке дозволяє зробити висновок що це відносна вологість – підпис під рис.5.1 (стор.244), де одночасно наведені вологовміст і вологість. Вологовміст в переліку умовних позначень вказано  $W$  – вологовміст кг вол./кг с.р., та інколи в тексті використовується таким чином: «..було показано, що вологовміст більше 20 % мав негативний вплив...» (стор.88).

4. В переліку умовних позначень питома робота позначена символом  $A$  та вимірюється у кДж/кг, на графіках рис.5.1 та 5.2. символом  $A$  позначено роботу подрібнення, яка вимірюється у кДж.

5. Опис роботи схеми 3 (стор. 247) не повною мірою відповідає схемі, представленій на (рис.5.4.).

6. В розділі 5.3 (стор. 269) автор зазначає «Відповідно до положень математичної моделі тепломасообміну в умовах високотемпературного сушіння поліфракційної однокомпонентної або композиційної суміші розроблено алгоритми розрахунку параметрів процесу сушіння в системі програмування Visual Basic», але в роботі не представлено ні блок-схеми алгоритму ні самої програми.

7. При розробці математичної моделі досить багато уваги приділяється виведенню рівнянь кінетики сушіння торф'яних часток, де в ролі модельного тіла використовується сфера, а для випадку циліндра та паралелепіпеда наводяться лише кінцеві залежності. Доцільно було б більше уваги приділити особливостям виведення саме останніх залежностей.

8. В тексті зустрічаються русизми та описки.

Проте висловлені зауваження не торкаються суті дисертаційного дослідження, вони носять рекомендаційний характер, можуть стати предметом для наукової дискусії і не применшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист, і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації, та можуть бути враховані у подальшій науковій діяльності автора.

### **Характеристика змісту та рукопису дисертації.**

Дисертаційна робота Корінчука Д.М. є логічним, добре структурованим науковим твором з послідовним викладенням матеріалу. Оформлення дисертації відповідає вимогам, встановленим до подібних наукових праць. Всі позиції списку використаних літературних джерел мають відповідні посилання у тексті рукопису. Запозичень з робіт інших авторів без відповідних посилань на ці наукові праці у тексті рукопису не виявлено. Аналіз змісту дисертації Корінчука Д.М. дає можливість оцінити її як закінчену наукову роботу, що містить нові науково-обґрунтовані результати.

### **Висновок.**

Дисертаційна робота Корінчука Дмитра Миколайовича "Наукові основи енергоефективних технологій виробництва твердого біо- та торфопалива" є завершеною науково-дослідною роботою. Вона розв'язує важливу науково-прикладну проблему, яка полягає у підвищенні енергетичної ефективності технологічних комплексів виробництва пресованого біо- та торфопалива шляхом впровадження у виробництво науково обґрунтованих способів активації сировини та сукупності заходів, методів, способів, конструкційних та схемних рішень для зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів на базових стадіях виробництва пресованого палива.

Робота містить нові вагомі наукові результати для теплоенергетичної галузі України. Робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика". Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 р. №567, а здобувач, Корінчук Д.М., заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика".

Офіційний опонент,  
заступник директора

Інституту газу НАН України,



П'яних К.Є.