

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційне дослідження

Сподоби Михайла Олексійовича

на тему: **«Електротепломеханічна система біогазового реактора
для фермерських господарств»,**

подане на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми дослідження. Сьогодні зброджування органічних відходів у біогазових установках є одним з найпрогресивніших, екологічно та економічно вигідних рішень для отримання енергії з відходів у вигляді біогазу. Біогаз можливо очистити та збагатити до якості біометану, який можна подати в газові мережі для заміщення природного газу та/або виробництва моторного біопалива, а також використати безпосередньо для вироблення електричної та/або теплової енергії. Рентабельність використання біогазових установок значною мірою залежить від енергоефективності процесів інтенсифікації анаеробного зброджування, тому при виборі типу перемішуючого та нагрівального пристроїв особливу увагу приділяють енергетичним витратам, які залежать від багатьох умов. Енергоефективні методи та засоби передачі та розподілу тепла в біогазових реакторах досі є предметом актуальних наукових досліджень в світі. Особливо такі дослідження є актуальними для невеликих фермерських біогазових установок, де енергетична ефективність теплоелектромеханічних процесів є критичною для їх рентабельного функціонування. В Україні існує значний потенціал біомаси для виробництва біогазу. Водночас, значна частина цього потенціалу розосереджена серед об'єктів з незначним потенціалом утворення біомаси (невеликі фермерські господарства, малі переробні підприємства). Питання використання потенціалу малих фермерських господарств для нарощування виробництва біогазу в Україні є актуальним, а тому наукові дослідження, направлені на підвищення енергоефективності, а відтак і рентабельності функціонування біогазових станцій, є необхідними та актуальними. Саме тому, дослідження технологічних та енергетичних аспектів впливу процесів перемішування та електричного підігріву субстрату на зниження енергетичних витрат при створенні енергоефективної конструкції для перемішування та забезпечення рівномірного температурного режиму зброджування субстрату у біореакторі, представлене в даній роботі, є актуальним. Про актуальність обраної теми дисертаційного дослідження М. О. Сподоби свідчить також її *зв'язок з науковими темами*. Наукове дослідження виконано відповідно до держбюджетних наукових тематик, а саме: «Розробка електротехнологічного

комплексу з гібридною системою енергозабезпечення для переробки побічних продуктів птахівництва у паливо, біологічні корми та добрива» (2020–2022 рр.) та «Науково-технічні основи створення комплексу енерготехнологічної переробки біомаси для отримання речовин з новими властивостями і підвищення їх комерційної цінності» (2021 р.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Наукові положення, рекомендації та висновки сформульовані дисертантом є повноцінно обґрунтованими та переконливими. Варто зазначити, що у дисертації здобувачем проведено досить глибокий аналіз наукових робіт про стан використання біогазових технологій у різних країнах світу, огляд конструктивно-технологічних параметрів систем перемішування та підігріву субстрату, існуючих математичних моделей та систем автоматичного керування. У роботі не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікацій.

Висновки до кожного розділу та загальні висновки повністю відповідають суті розглянутих у дисертації питань і відзначаються чіткістю та логічністю, що свідчить про високий рівень здобувача. Завдяки логічній побудові дисертації здобувач повноцінно розкриває тему дослідження та досягає поставлених завдань згідно з метою наукового дослідження.

Достовірність результатів дослідження підтверджена порівняльним аналізом теоретичних та експериментальних досліджень витрати електричної енергії на перемішування та електричний підігрів речовини у біореакторі.

Предмет дослідження – закономірності зміни енергетичних витрат на процеси інтенсифікації біогазового виробництва при застосуванні електротепломеханічної системи для перемішування та підігріву субстрату у біореакторах, відповідає меті досліджень та не викликає жодних заперечень.

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень. Дисертаційне дослідження є комплексним теоретично-практичним дослідженням, метою якого є зниження енергетичних витрат на процеси перемішування та підігріву субстрату у біогазовому реакторі шляхом використання електротепломеханічної системи. Опрацювання та проведений аналіз існуючих досліджень дав можливість дисертанту сформулювати власні рекомендації, висновки та наукові положення. Слід відзначити, що у дисертаційному дослідженні представлено та експериментально підтверджено адекватність вперше розробленої математичної моделі, призначеної для аналізу витрат електричної енергії на процеси підігріву та перемішування субстрату у біогазовому реакторі, при врахуванні зміни потужності електричних нагрівачів, розміщених

у електротепломеханічній системі, теплових втрат в навколишнє середовище та тривалості охолодження субстрату та електричного нагрівача. Все це забезпечує високий рівень виконання теоретичних та експериментальних досліджень теплових та енергетичних характеристик, завдяки яким відбувається зменшення тривалості перемішування та електричного підігріву субстрату у біореакторі, а відповідно знижується витрата електричної енергії на вищезазначені процеси. Здобувачем було удосконалено математичну модель теплового балансу біогазового реактора за наявності в ньому електротепломеханічної системи для перемішування та електричного підігріву субстрату, в якій враховано величину теплової енергії, вивільненої під час охолодження електричного нагрівального пристрою, вмонтованого у лопаті та вал механічної лопатевої мішалки. Вперше визначено основні закономірності зміни витрати електричної потужності та теплового потоку від частоти обертання валу електричного двигуна електротепломеханічної системи для покриття теплових втрат у навколишнє середовище.

Запропоновано та проведено аналіз динаміки матеріальних потоків субстрату біогазового реактора з метою визначення енергетично ефективного рівня швидкості перемішувального органу електротепломеханічної системи, що відрізняється врахуванням закономірності зменшення тривалості періоду встановлення усталеного значення робочої потужності при підвищенні частоти обертання валу електричного двигуна перемішувального органу, яка дозволяє виконати оцінку енергокерованості в режимах забезпечення штучно створених параметрів мікроклімату і раціональних умов для протікання процесу метаноутворення у біогазових технологіях. В цілому, представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень дали змогу здобувачеві створити комплексну методику, використання якої забезпечує визначення раціональних енергетичних, теплових та конструктивних параметрів електротепломеханічної системи та біогазових реакторів різних об'ємів. Це дало можливість знизити тривалість підігріву та перемішування субстрату, а, поряд із цим, і витрату електроенергії на вищезазначені процеси.

Рівень виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. Метою дослідження є підвищення енергетичної ефективності процесів інтенсифікації біогазового виробництва шляхом застосування електротепломеханічної системи для перемішування та підігріву субстрату у біогазових реакторах.

Для досягнення зазначеної мети здобувачем у повному обсязі виконано такі завдання:

- глибокий аналіз наукових праць щодо розвитку біогазових технологій, конструктивних та технологічних параметрів обладнання для підігріву

та перемішування, а також самих біогазових установок, існуючих систем автоматичного керування процесами інтенсифікації біогазового виробництва;

- виконано обґрунтування необхідності зменшення витрат енергії на інтенсифікацію анаеробного зброджування субстрату у біогазовому реакторі, за умови поєднання перемішування та електричного підігріву у електротепломеханічну систему;

- побудовано математичні моделі, за якими визначено залежності зміни витрати енергії на електричний підігрів та перемішування субстрату у біогазовому реакторі електротепломеханічною системою;

- побудовано експериментальну установку, здійснено порівняння експериментальних та теоретичних досліджень енергетичних витрат на перемішування та електричний підігрів речовини у біогазовому реакторі.

Ефективність виконання зазначених завдань було досягнуто завдяки вдало використаній *методології* та вмілому її застосуванню.

У дисертаційному дослідженні здобувачем проведено комплексне дослідження з використанням наукових методів пізнання. Теоретичні дослідження процесів, що відбуваються у біогазовому реакторі та електротепломеханічній системі здобувачем було проведено з використанням розроблених математичних моделей у прикладних програмах.

Слід відзначити підготовку здобувача до проведення експериментальних досліджень на спеціально виготовленій установці – біогазовому реакторі з електротепломеханічною системою. Його ставлення до деталей, що прослідковується у виборі типу та місця розташування вимірювального обладнання, дозволило створити систему безперервної реєстрації інформації з вимірювального обладнання. Використання, як стандартних деталей, так і виготовлених власноруч, свідчить про високий рівень підготовки здобувача.

У розділі 1 детально висвітлено недоліки існуючих систем інтенсифікації біогазового виробництва, що дало змогу здобувачеві обрати вірні шляхи для реалізації ідеї зниження енергетичних витрат на перемішування та підігрів субстрату. Проведене у розділі 2 теоретичне дослідження, є логічним, оскільки воно повністю розкриває мету та предмет дослідження. Таке дослідження дало можливість здобувачу встановити закономірності енергетичних показників та конструктивних параметрів електротепломеханічної системи, що забезпечують зниження витрат електричної енергії на інтенсифікацію біогазового виробництва. У розділі 3 наведено розширену та водночас змістовну інформацію щодо експериментальної установки, її процесу виготовлення та підбору вимірювально-реєструючого обладнання. Результати експериментальних досліджень наведено у розділі 4. Згідно отриманих результатів, встановлено відповідність теоретичних досліджень

та експериментальних даних, підтверджено зниження енергетичних витрат на перемішування та електричний підігрів субстрату у біогазовому реакторі при використанні електротепломеханічної системи. Створено рекомендації зі зниження витрат електричної енергії на процеси інтенсифікації біогазового виробництва шляхом використання електротепломеханічної системи (розділ 5).

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні науково-обґрунтованої інженерної методики, яку здобувач використовує для розрахунку реальних значень витраченої електроенергії на процеси перемішування та електричного підігріву субстрату у біогазовому реакторі при використанні електротепломеханічної системи, враховуючи динаміку зміни температури субстрату, елементів конструкції реактора та електротепломеханічної системи. Отримані практичні результати дисертаційного дослідження можуть бути використанні у подальших наукових розробках, створенні нових енергоефективних систем інтенсифікації біогазового виробництва та у освітньо-науковій сфері.

Повнота викладу в опублікованих працях наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, відповідає вимогам МОН України. Основні результати дисертації опубліковано у 23 наукових працях, з яких 7 статей у наукових фахових виданнях України, стаття у закордонному науковому виданні, що входить до наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science, 4 публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science, 8 тез наукових доповідей, 2 патенти України на корисні моделі та патент України на винахід.

Достатньою є **апробація результатів дисертації**. Основні положення та рекомендації, викладені у дослідженні, апробовано на 12 міжнародних науково-практичних конференціях.

Оформлення дисертації. Дисертація оформлена згідно з нормативними вимогами і стандартами, з дотриманням логічно-послідовного викладення матеріалу. Робота написана державною мовою. Текст дисертації переважно позбавлений граматичних та орфографічних помилок, а також технічних недоліків. Основні положення, висновки, пропозиції та рекомендації дисертації аргументовані, прослідковується логічна послідовність та завершеність.

Висновки та пропозиції, що викликають певні сумніви, зауваження або вказують на окремі суперечності та можуть слугувати підґрунтям дискусії під час захисту дисертації. Дисертаційне дослідження, на думку офіційного опонента, викликає ряд зауважень, які мають бути розглянуті в дискусії під час захисту дисертації:

1. Не до кінця розкрито фізичну сутність виявленого в роботі впливу запропонованого методу інтенсифікації на зниження витрат електричної енергії. В роботі стверджується, що підвищення енергетичної ефективності відбувається за рахунок зменшення тривалості процесу підігріву, а відповідно, і перемішування субстрату. При цьому, не пояснюється, яким чином кількість переданої субстрату в реакторі теплоти не змінюється при зменшенні часу нагріву.

2. Порівняння виходу та складу біогазу при використанні двох систем електричного нагріву в послідовному режимі виконання експерименту може бути не коректним, позаяк більш суттєвий вплив на ці показники може мати не тип системи нагріву, а біологічні та біохімічні процеси в реакторі. Найбільш адекватне порівняння показників виходу та складу біогазу відбувається в паралельному режимі виконання експерименту, з двома конструктивно та гідравлічно подібними реакторами, але з різними системами електричного обігріву.

3. Понятійний апарат, використаний в тексті дисертації, не завжди є уніфікованим і не завжди відповідає суті, наприклад: одночасно використовуються терміни «вторинна сировина тваринництва», «відходи тваринництва» та «тваринні відходи» (с. 37), що за означенням можуть мати зовсім різну сутність; використано термін «компонування», вочевидь, замість терміну «компостування» (с. 38); під поняттям первинної переробки відходів чомусь мається на увазі фактично повний цикл їх переробки у 4 етапи (с. 38).

4. В тексті дисертації міститься ряд суперечливих тверджень, що не підкріплені посиланням на джерело інформації або власні результати досліджень здобувача. Наприклад, чим обґрунтовується твердження, що сільськогосподарський комплекс може забезпечити енергетичну незалежність країни (якої?) від централізованого використання природних ресурсів (с. 36)? Потім, чим обґрунтоване твердження, що у всіх біогазових установках є спеціальна ємність, у якій сировину доводять до необхідної вологості та початкової температури (с. 42)?

5. Текст дисертації містить ряд граматичних, орфографічних та стилістичних помилок, що в цілому не впливають на зміст та сприйняття викладеного матеріалу, проте вказують на потребу в подальшій науковій діяльності здобувача приділяти більшу увагу редагуванню текстів.

Водночас, вищевикладені положення здебільшого мають дискусійний характер. Вони є висловленням власного бачення офіційним опонентом розкриття предмету дисертації та її окремих питань, які, очевидно, можуть не збігатися з позицією дисертанта та його наукового керівника. Ці положення у цілому не впливають на високу позитивну оцінку дисертації М. О. Сподоби,

а свідчать лише про її актуальність, комплексність та багатогранність досліджуваних автором проблем.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.
Дисертація **Сподоби Михайла Олексійовича** на тему: **«Електротепломеханічна система біогазового реактора для фермерських господарств»** є завершеною кваліфікаційною науковою працею, з вирішеним конкретним науковим завданням, а саме: підвищення енергетичної ефективності біогазового виробництва шляхом застосування електротепломеханічної системи для перемішування та електричного підігріву речовини у реакторах, що має важливе значення для галузі знань електрична інженерія.

Дисертація відповідає галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», а також вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, а її автор – **Сподоба Михайло Олексійович** безумовно заслуговує на присудження ступеня **доктора філософії** з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент
Старший науковий співробітник
відділу теплофізичних проблем
систем теплопостачання
Інституту технічної теплофізики
НАН України,
кандидат технічних наук



Петро КУЧЕРУК

Підпис гр. П. Кучерука
ЗАВІРЯЮ
"14" 08 2023 р.
Зав. канцелярією

