

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційне дослідження **СПОДОБИ Михайла Олексійовича**
на тему: **«Електротепломеханічна система біогазового реактора
для фермерських господарств»**,

подану на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 «Електрична інженерія»

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність обраної теми. Основний напрям досліджень дисертації полягає в підвищенні енергетичної ефективності біогазових установок шляхом використання нової електротепломеханічної системи для перемішування та підігріву субстрату у біогазових реакторах, оскільки біогазові технології набули широкого застосування в сучасних агрохолдингах, птахофабриках і малих фермерських господарствах. Перехід від викопних палив в якості джерел енергії до палив, які базуються на поновлювальних джерелах є актуальним. До таких палив відноситься біогаз, який можна отримати, використовуючи, наприклад, відходи сільського господарства – гній, курячий послід, рослинні відходи, тощо. Біогаз можна використовувати в якості палива в котлах, когенераційних установках та іншому енергетичному обладнанні, яке виробляє теплову і електричну енергію.

Огляд літературних джерел показує, що проблема поєднання процесів перемішування та електричного підігріву в одну електротепломеханічну систему мало досліджена. В зв'язку з цим наукові дослідження виконані в дисертації є актуальними.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 361 сторінку комп'ютерного тексту, 117 сторінок додатків та 18 сторінок списку використаних джерел. Дисертація містить 110 ілюстрацій, 5 таблиць, список використаних джерел із 178 найменувань.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. За своїм змістом дисертація здобувача М. О. Сподоби повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» і напрямам досліджень відповідно до освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисертація є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям енергозбереження та підвищення ефективності енергетичних систем. Отримані автором результати дисертаційного дослідження вирішують всі поставлені завдання та свідчать про хороший науковий рівень роботи та її методичну цінність.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертації на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертація Сподоби Михайла Олексійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено її зв'язок з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету і основні завдання досліджень, розглянуто об'єкт, предмет та методи досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію результатів дисертації. Приведено відомості про особистий внесок автора, опубліковані результати, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих біогазових установок, їх склад, системи автоматичного керування перемішуванням та підігрівом субстрату. Розглянуто різні конструкції перемішувачів пристроїв і способи нагріву субстрату у біогазових реакторах. Проведено аналіз існуючих недоліків систем перемішування та підігріву субстрату, який показав необхідність вдосконалення відомих конструкцій. Проведено аналіз відомих математичних моделей процесу анаеробного зброджування субстрату.

У *другому розділі* дисертантом проведено теоретичні дослідження, які дають можливість вивчити основні гідродинамічні режими, які мають місце при перемішуванні субстрату з використанням пакету прикладних програм чисельного моделювання. Проведено розрахунки нової конструкції електротепломеханічної системи, яка дає можливість знизити споживання енергії при отриманні біогазу. Виявлено закономірність, що підвищення частоти обертання зменшує тривалість періоду встановлення усталеного значення робочої потужності. В результаті проведених досліджень визначено оптимальну частоту обертання мішалки, при якій режими зброджування субстрату будуть найкращими. На основі розв'язку рівнянь теплового балансу реактора за наявності в ньому традиційної системи нагріву стінок метантенку і нової системи нагріву лопаток мішалки показані переваги останньої в енергетичному плані. Отримано графічні залежності зміни температури об'єктів та визначено кількість енергії витраченої на один цикл нагріву субстрату. Визначено кількість енергії необхідної на один цикл підігріву субстрату, його тривалість та зміну температурних характеристик в конструкціях реактора з врахуванням шару забруднень на поверхнях стінок.

У *третьому розділі* наведено методику проведення експериментальних досліджень, вибір вимірювального обладнання, систему автоматичної реєстрації показань та керування електротепломеханічною системою для перемішування та підігріву субстрату, розглянуто конструкцію виготовлених пристроїв для вимірювання об'єму отриманого біогазу та методику визначення у ньому вмісту вуглекислого газу і метану.

У *четвертому розділі* наведено результати експериментальних досліджень енергетичних витрат для початкового періоду нагріву субстрату до температури зброджування. Визначено енергетичні витрати під час одного циклу зброджування субстрату, його тривалість, теплові втрати у навколишнє середовище. Проведено порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних даних при підігріві та перемішуванні субстрату у біогазовому реакторі та отримано їх хороше співпадіння.

У *п'ятому розділі* дисертантом запропоновано нову електротепломеханічну систему для перемішування та підігріву органічної сировини у біогазовому реакторі. Показано шляхи підвищення енергетичної ефективності роботи біогазового реактора із запропонованою електротепломеханічною системою.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків рекомендацій сформульованих у дисертації. Положення та висновки дисертації достатньо обґрунтовані теоретичними та експериментальними дослідженнями. Ця оцінка базується на коректній постановці мети та завдань дослідження, використанні перевірених вихідних даних, застосуванні адекватних методів досліджень, логічному та чіткому формулюванні їх результатів. Про необхідний ступінь наукового обґрунтування та верифікації основних положень дисертації свідчить також всебічна апробація результатів у вигляді публікацій та доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, які входять до наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science.

Отже, в дисертації поставлено наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримали подальший розвиток теоретичні основи визначення пускової та робочої потужності електропривода системи перемішування, що враховують ряд факторів та енергетичні витрати у замкнених об'ємах.

Розроблено математичну модель для аналізу процесу термостабілізації, витрат енергії на цикл перемішування та підігріву в електротепломеханічній системі та електричного підігріву субстрату у біогазовому реакторі з урахуванням різних факторів.

Розроблено математичну модель теплового балансу біогазового реактора за наявності в ньому електротепломеханічної системи для перемішування та електричного підігріву субстрату.

Визначено основні закономірності зміни теплового потоку та витрати електричної потужності від частоти перемішування електротепломеханічної системи з урахуванням експлуатаційних факторів.

Розроблено 3D модель для аналізу динаміки матеріальних потоків субстрату біогазового реактора і визначення енергетично ефективного рівня швидкості перемішуючого органу електротепломеханічної системи, яка дозволяє виконати оцінку енергокерованості і раціональних умов для протікання процесу метаноутворення у біогазових технологіях.

Значення результатів дослідження для науки і практики, можливі шляхи їх використання. Розроблено науково-обґрунтовану інженерну методику розрахунку процесів, які відбуваються в субстраті біогазового реактора, знайдені величини витраченої енергії на процеси підігріву та перемішування субстрату з використанням електричного нагрівального кабелю у лопатях двохрусної мішалки.

Визначено конструктивні параметри електротепломеханічної системи для перемішування та підігріву субстрату у біогазовому реакторі для зниження енергетичних витрат в біогазових установках. Розроблено конструкцію пристрою для визначення об'єму утвореного у біогазових реакторах біогазу та концентрації вмісту метану і вуглекислого газу. Конструкції електротепломеханічної системи для перемішування, а також пристрою для визначення об'єму біогазу захищені патентами України на винахід та корисну модель. Створено експериментальний зразок біогазового реактора з електротепломеханічною системою для фермерських господарств.

Розроблено рекомендації для інтенсифікації процесів отримання біогазу у біогазовому реакторі за рахунок запропонованої електротепломеханічної системи для перемішування та електричного підігріву субстрату. Це дає змогу підвищити енергетичну ефективність за рахунок інтенсифікації процесу нагріву та зменшення тривалості процесу підігріву. Розраховано річну економію енергії за використання електричного нагрівального кабелю вмонтованого у лопаті двохрусної лопатевої мішалки, яка складає 18,1 % (219,472 МДж), серед яких 13,1 % (195,072 МДж) – електричний підігрів та 5,0 % (24,4 МДж) – перемішування субстрату.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації. За темою дисертації опубліковано 23 наукові праці, 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 наукометричної бази даних Scopus та/або Web of Science, 8 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, 2 патенти України на корисні моделі та патент України на винахід.

В публікаціях повною мірою наведено основні наукові положення дисертаційного дослідження.

Відсутність порушення академічної доброчесності. Дисертація є самостійно написаною кваліфікаційною науковою працею, які виставлені автором для публічного захисту. Всі результати і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела. Відсутнє привласнення чужих ідей, результатів або слів без оформлення належного цитування. В дисертації М. О. Сподоби відсутні порушення академічної доброчесності.

Основні зауваження до дисертаційної роботи:

1. В розділі 2 проведено моделювання процесів гідродинаміки при перемішуванні субстрату з використанням пакету прикладних програм. При цьому не наведено рівняння та граничні умови, які описують досліджувані процеси.

2. Не вказано, який режим гідродинамічної течії має місце в реакторі. Якщо цей режим турбулентний, то не вказано, яку модель турбулентності було вибрано та рівняння, які в ній використовуються.

3. Приведено і розв'язано балансову систему рівнянь теплопереносу в метантенку, яка дає можливість отримати температурні розподіли в елементах конструкції. Проте доцільно було б провести аналогічні дослідження, використовуючи пакет прикладних програм чисельного моделювання, який дає можливість отримати локальні характеристики по всьому об'єму метантенка.

4. Не зовсім вірно вказана величина коефіцієнта теплопровідності нержавіючої сталі, яка повинна бути близька до 16 Вт/м К (с. 115).

5. В ряді слів частка «не» використовується окремо, а повинна писатись злито з наступними словами.

Однак, слід зазначити, що наведені зауваження є неістотними, і не впливають на позитивну оцінку дисертації.

Загальний висновок. Загальний аналіз роботи свідчить про актуальність і достатньо високий науковий рівень, її теоретичне і практичне значення. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в роботі, достатньо повно викладено в опублікованих здобувачем наукових працях. У дисертації М. О. Сподоби відсутні порушення академічної доброчесності.

Вважаю, що дисертація на тему: **«Електротепломеханічна система біогазового реактора для фермерських господарств»** є завершеною науковою роботою, виконана на високому науковому рівні, із застосуванням сучасних електротепломеханічних та математичних методів, відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261, наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» і 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 від 12 січня 2022 року № 44, а її автор **СПОДОБА Михайло Олексійович** заслуговує на присудження **ступеня доктора філософії** з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент
Професор кафедри теплоенергетики
Національного університету біоресурсів
і природокористування України,
доктор технічних наук, професор

Валерій ГОРОБЕЦЬ

