

## **ВІДГУК**

### **офіційного опонента**

доктора технічних наук, старшого дослідника **КОВТУН Світлани Іванівни**  
на дисертацію **БАБАКА Дениса Олеговича**  
на тему: **«Електротехнічний комплекс моніторингу  
та регулювання режиму роботи біогазового реактора»,**  
подану на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
галузі знань 14 «Електрична інженерія»

**Актуальність теми дослідження.** Прогрес сучасного агропромислового сектору безпосередньо залежить від розв'язання екологічних та енергетичних викликів, де центральне місце посідає утилізація органічних відходів тваринництва й птахівництва. Найбільш раціональним методом переробки біомаси на біогаз та високоякісний дігестат є анаеробне зброджування. Попри це, промислове впровадження біогазових технологій стримується нестабільністю метаногенезу, який жорстко лімітується станом мікробіологічного консорціуму та параметрами середовища.

Оскільки метаногенні археї чутливі до температурних коливань та нерівномірного масообміну, оптимізація гідродинамічних і теплових режимів у біореакторах є критично важливою. Традиційні методи механічного перемішування та зовнішнього обігріву не забезпечують гомогенізації в'язких неньютонівських субстратів, що створює застійні зони, накопичує інгібітори та викликає термічний шок мікрофлори. Це актуалізує розроблення інноваційних засобів інтенсифікації біохімічних процесів.

Перспективним напрямом є дослідження синергетичного впливу фізичних полів, зокрема теплового та низькочастотного магнітного, на метаболізм бактерій. Застосування заглибного електромеханічного перетворювача для делікатного перемішування, прямого тепловиділення в субстраті та магнітної стимуляції дозволяє прискорити гідроліз і збільшити вихід біометану.

Надійне керування біотехнологією неможливе без контролю рН, температури та окисно-відновного потенціалу. Проте агресивне середовище викликає швидкий біофоулінг вимірювальних датчиків, знижуючи точність моніторингу. Розроблення автоматизованих систем із гідроструменевим самоочищенням зондів є критичною для безперервного адаптивного керування процесом.

У цьому контексті дисертаційне дослідження, спрямоване на розроблення електротехнічного комплексу для забезпечення та моніторингу ефективних режимів анаеробного бродіння, є актуальним, науково доведеним та має значний прикладний потенціал для біоенергетики й агроєкології.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації.** Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертації

Д. О. Бабака, є достатньо обґрунтованими, викладений у ній матеріал дає чітку уяву про логіку побудови дослідження, яке вирізняється комплексним використанням сучасного методичного інструментарію та значним обсягом отриманих емпіричних даних. Запропоновані здобувачем інженерно-технічні рішення безпосередньо спрямовані на вирішення актуального науково-практичного завдання – забезпечення ідеальних умов для життєдіяльності метаногенних мікроорганізмів в умовах промислового анаеробного зброджування.

Обґрунтованість результатів дослідження забезпечується коректним поєднанням методів обчислювальної гідродинаміки (CFD-моделювання), тепломасообміну та методів математичної статистики. Автором проаналізовано вплив нестабільності температурного та гідродинамічного режимів на процеси закислення та інгібування консорціуму бактерій.

Запропонована концепція побудови поліфункціонального перетворювача дозволяє уникнути «мертвих зон» у біореакторі та локальних термічних шоків для мікрофлори, які характерні для традиційних систем підігріву.

Особливої уваги та високої оцінки заслуговує розроблення пристрою для автоматичного контролю параметрів анаеробного бродіння. Здобувач теоретично обґрунтував та практично вирішив критичну для біогазових станцій проблему «біофоулінгу» на вимірювальних зондах. Моделювання гідродинамічних процесів у системі розпилення промивної рідини довело ефективність механічного очищення сенсорів, що сприяє забезпеченню достовірності моніторингу кислотно-лужного балансу субстрату в режимі реального часу.

Загалом, дисертація Д. О. Бабака є завершеним науковим дослідженням, що виконане ним самостійно.

**Новизна основних наукових положень, висновків і рекомендацій.** Наукова новизна сформульованих у дисертації основних положень, висновків та рекомендацій полягає в обґрунтуванні шляхів підвищення стабільності ключових технологічних параметрів та загальної енергоефективності біогазового реактора, зокрема, застосуванні синергетичного термомеханічного і магнітного впливу на біосубстрат та розподіленого інтелектуального моніторингу.

Вагомим науковим здобутком здобувача є оптимізація питомого теплового навантаження поверхні заглибного поліфункціонального перетворювача у в'язкому неньютонівському середовищі в умовах вимушеної конвекції, що дозволило запобігти термічному шоку метаногенних бактерій і налипанню субстрату, які впливають на безперервність процесу метаногенезу.

Практичну значимість має удосконалений алгоритм фізико-хімічного моніторингу анаеробного бродіння та розроблення спеціалізованого пристрою для автоматичного

контролю. Автором успішно розв'язано проблему біофоулінгу сенсорів завдяки реалізації системи розпилення промивної рідини та очищення сенсорів без необхідності розгерметизації біореактора.

Окремої уваги заслуговує подальший розвиток наукових положень щодо стимулюючого впливу низькочастотного магнітного поля на мікробні спільноти та водну компоненту субстрату. Згенероване безпосередньо на поверхні ротора магнітне поле з індукцією до 65 мТл сприяє підвищенню швидкості біохімічних реакцій і збільшенню загального виходу біогазу. У сукупності отримані результати мають вагоме теоретичне та прикладне значення для забезпечення ефективності біогазових установок та покращення екологізації агробізнесу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження Д. О. Бабака виконано відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки «Енергетика та енергоефективність» і є складовою частиною комплексних наукових досліджень Національного університету біоресурсів і природокористування України. Зміст роботи безпосередньо пов'язаний із виконанням завдань науково-дослідних робіт: «Розробка електротехнологічного комплексу з гібридною системою енергозабезпечення для переробки побічних продуктів птахівництва у паливо, біологічні корми та добрива» (номер державної реєстрації 0120U102105) та «Розробка електротехнології підготовки та спалювання паливних сумішей з утилізованою водою та рідинними відходами різного походження» (номер державної реєстрації 0123U102165).

З позиції забезпечення екологічної безпеки агропромислового комплексу та розвитку біотехнологій утилізації органічних відходів, результати дисертації мають особливе значення, напрям дослідження повністю відповідає цілям «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» щодо стимулювання розвитку біоенергетики та європейським директивам з відновлюваної енергетики (RED II). Така спрямованість підтверджує тісний зв'язок розроблених теоретичних положень та інженерних рішень із глобальними завданнями агроекології та біоенергетики.

**Практичне значення та впровадження результатів дослідження.** Практичне значення дисертаційного дослідження Д. О. Бабака полягає у розробленні та впровадженні інженерних рішень, що безпосередньо впливають на рентабельність та екологічну безпеку підприємств агропромислового комплексу. На основі проведеного аналізу дисертантом обґрунтовано інженерну методику розрахунку заглибних поліфункціональних перетворювачів, яка дозволяє проектувати обладнання для біореакторів різного об'єму з урахуванням реологічних властивостей органічної сировини.

Вагомим практичним здобутком є створення та випробування експериментального зразка пристрою для автоматичного контролю параметрів анаеробного бродіння. Ця розробка, захищена патентом України на корисну модель № 155766, забезпечує безперебійний

моніторинг життєво важливих для бактерій показників та вирішує проблему утворення біоплівки на сенсорах. Впровадження запропонованої комплексної системи моніторингу та керування дозволяє оптимізувати режими роботи нагрівників та мішалок, що забезпечує зниження питомих енерговитрат на власні потреби біогазової установки, а також сприяє стабілізації метаногенезу та підвищенню загального виходу біогазу.

Високий рівень обґрунтованості отриманих результатів, підтверджений патентом, свідчить, що здобувачем повністю досягнуто мету та вирішено поставлені науково-прикладні завдання.

#### **Повнота викладення основних наукових результатів в опублікованих працях.**

Основні наукові положення, висновки та практичні результати дисертаційного дослідження достатньо повно відображено у 9 наукових працях, серед яких 2 статті у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, 2 статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 4 тези наукових доповідей, патент України на корисну модель. У наукових публікаціях послідовно розкрито результати моделювання процесів розпилення рідини для пристрою автоматичного контролю параметрів анаеробної ферментації у біогазових реакторах, а також проаналізовано енергоефективність екструзії та її вплив на вихід біогазу. Тези наукових доповідей засвідчують належну апробацію результатів дослідження на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях. Зміст опублікованих праць охоплює всі ключові положення дисертації. Це свідчить про достатній рівень апробації результатів дослідження та відповідність публікаційної активності здобувача чинним вимогам МОН України до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

**Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.** Дисертація Д. О. Бабака є самостійно виконаною кваліфікаційною науковою роботою. За результатами аналізу змісту дисертації та опублікованих наукових праць не виявлено фактів академічного плагіату, некоректних запозичень чи інших порушень принципів академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів супроводжується чіткими посиланнями на відповідні джерела. Ознак фабрикації або фальсифікації експериментальних даних у роботі немає. У дисертації дотримано вимоги наукової етики.

**Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації.** У ході ознайомлення з матеріалами дисертаційного дослідження виникли деякі питання та зауваження:

1. Пункти наукової новизни перевантажені деталями і поясненнями, які дещо ускладнюють сприйняття висунутих на захист наукових положень та додатково коментують практичну значимість дисертації.

2. У п. 4 наукової новизни, додатку Б, в якому описана методика проведення комплексних експериментальних досліджень електротехнічного комплексу, та у висновках йдеться про високу метрологічну достовірність, однак, у тексті дисертації і у відповідних

додатках відсутні розрахункові оцінки вказаного параметру. Крім того, в розділі 4 дисертації вказано, що розбіжність між даними системи телеметрії та еталонними приладами не перевищує 1–2 %, а у п. 5 висновків стверджується «Метрологічна похибка електричних вимірювань (PZEM-004T) не перевищує 1–2 %», що є некоректним.

3. На якій сировині проводилися дослідження регулювання режиму роботи біогазового реактора із застосуванням розробленого електротехнічного комплексу і чи залежить ефективність запропонованих рішень від складу субстрату/сировини?

4. Загальні висновки дисертації не повною мірою узгоджені з поставленими завданнями та науковими результатами дисертаційного дослідження.

Висловлені зауваження не зменшують наукову і практичну цінність дисертації та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

**Загальний висновок.** У цілому дисертація здобувача ступеня доктора філософії Бабака Дениса Олеговича на тему: «Електротехнічний комплекс моніторингу та регулювання режиму роботи біогазового реактора» є завершеним, цілісним і самостійно виконаним науковим дослідженням. У роботі вирішено важливе науково-прикладне завдання, що полягає в обґрунтуванні параметрів та розробленні електротехнічного комплексу, який забезпечує створення оптимальних фізико-хімічних, гідродинамічних і температурних умов для життєдіяльності анаеробних бактерій та загальної стабілізації процесу метаногенезу. Одержані наукові положення, висновки та рекомендації характеризуються високим рівнем обґрунтованості, науковою новизною та мають істотне практичне значення для підвищення еколого-енергетичної ефективності біогазових установок агропромислового комплексу.

Дисертація відповідає 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 Бабак Денис Олегович продемонстрував достатній рівень кваліфікації та заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 «Електрична інженерія».

**Офіційний опонент заступник директора з наукової роботи Інституту загальної енергетики Національної академії наук України, доктор технічних наук, старший дослідник Світлана КОВТУН**