

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри автоматики та робототехнічних систем імені академіка І. І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидата технічних наук, доцента **ЛЕНДЄЛА Тараса Івановича** на дисертацію **БАБАКА Дениса Олеговича** на тему: **«Електротехнічний комплекс моніторингу та регулювання режиму роботи біогазового реактора»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 «Електрична інженерія»

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Сучасні умови функціонування підприємств агробізнесу, що впроваджують біогазові технології, характеризуються високим рівнем вимог до стабільності технологічних параметрів та необхідністю глибокої автоматизації виробничих процесів. За таких умов ефективність генерації біогазу значною мірою залежить від якості систем моніторингу та автоматичного керування, які приймають рішення на основі достовірної, своєчасної та аналітично опрацьованої інформації про стан субстрату. Процес метаногенезу є надзвичайно чутливим до температурних флуктуацій та змін кислотно-лужного балансу. Однак, існуючі системи управління стикаються з серйозними технічними обмеженнями: стаціонарні датчики, розміщені на стінках реактора, не відображають реального стану в ядрі перемішування, а їх швидке обростання біоплівкою (біофолінг) призводить до хибних показань і збоїв у роботі автоматики.

Інтегрований електротехнічний комплекс виступає ключовою ланкою вирішення цих проблем, поєднуючи виконавчі механізми (заглибні перетворювачі) із сенсорними мережами та цифровими алгоритмами керування. Розвиток систем дистанційної передачі даних, зокрема на базі обертових трансформаторів та мікропроцесорних регуляторів напруги, створює нові можливості для сканування температурних і гідродинамічних полів безпосередньо в зоні реакції. Водночас це вимагає переосмислення апаратно-програмних підходів до проєктування, забезпечення електромагнітної сумісності та розроблення самоочисних роботизованих пристроїв контролю. Недостатній рівень використання таких інтелектуальних інструментів та фрагментарність даних знижують загальний енергетичний коефіцієнт корисної дії біогазових станцій. Актуальність дослідження зумовлена об'єктивною необхідністю пошуку інноваційних шляхів удосконалення систем моніторингу та керування режимами роботи біогазового реактора з урахуванням специфіки агресивних середовищ та можливостей сучасної мікроелектроніки й теорії автоматичного управління.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації. Дисертація Бабака Дениса Олеговича характеризується високим рівнем наукової аргументації, системністю та логічною послідовністю викладу матеріалу. Обґрунтованість результатів забезпечується вдалим поєднанням фундаментальних положень теорії електромагнітного поля, теорії електричних машин та методів автоматичного керування. Автором запропоновано глибоко опрацьовану тривимірну математичну модель заглибного електромеханічного перетворювача, в якій інноваційно враховано вплив провідного гетерогенного середовища (біосубстрату) шляхом введення векторів поляризації та намагніченості. Це дозволило отримати достовірні дані щодо розподілу електромагнітних полів та генерування струмів Фуко. Високу оцінку викликає ступінь обґрунтованості розробленого апаратно-програмного комплексу: вибір параметрів обертового трансформатора для безконтактної передачі енергії, топології напівмостового перетворювача та розроблення бінарного протоколу з CRC-валідацією для телеметрії спираються на ретельний аналіз

електромагнітної сумісності. Достовірність отриманих результатів підтверджується значним обсягом проведених інструментальних вимірювань динамічних характеристик системи, зокрема осцилографуванням роботи симісторного регулятора напруги при індуктивному навантаженні. Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання та натурними випробуваннями фізичних прототипів не перевищує допустимих інженерних норм (11–12 %), що беззаперечно свідчить про коректність обраної методології та високу достовірність сформульованих у дисертації висновків і рекомендацій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій Національного університету біоресурсів і природокористування України за темами: «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). У межах цих наукових тем автором розроблено та практично реалізовано автоматизовану систему моніторингу і керування режимами роботи біогазового реактора. Дослідження конкретизує положення державних програм у частині створення інтелектуальних систем бездротового збору даних та автоматичного контролю параметрів анаеробного бродіння, що сприяє підвищенню загальної енергоефективності гібридних установок. Запропоновані рішення також відповідають європейським директивам щодо відновлюваної енергетики (RED II), які активно імплементуються в національне законодавство України.

Практичне значення та впровадження результатів дослідження. Дослідження Бабака Дениса Олеговича характеризується наявністю положень, доведених до рівня конкретних апаратно-програмних розробок, придатних для впровадження на практичному рівні, що дозволяють підприємствам аграрного бізнесу автоматизувати контроль за процесом метаногенезу та підвищити надійність електромеханічних комплексів. Практичну значущість дисертації забезпечує розроблення унікального трифазного мікропроцесорного симісторного регулятора напруги на базі архітектури ESP32-S2, що усуває проблему магнітного насичення статора за рахунок симетричного детектування нуля. Вагомим здобутком є реалізація системи безконтактної передачі енергії та телеметрії (з використанням радіоканалу та протоколу з CRC-валідацією), яка вирішує фундаментальну проблему збору даних з обертових частин заглибного перетворювача в агресивному вибухонебезпечному середовищі реактора. Крім того, розроблено програмне забезпечення мікроконтролерів для роботи обертового вузла та алгоритми керування експериментальним стендом. Інженерні рішення щодо системи автоматизованого очищення сенсорів підтверджені патентом України на корисну модель. Отримані напрацювання можуть бути широко використані суб'єктами біоенергетичного бізнесу та науково-дослідними установами для створення систем «розумного» моніторингу.

Повнота викладення основних наукових результатів в опублікованих працях. Основні результати дисертаційного дослідження Бабака Дениса Олеговича знайшли всебічне відображення у публікаціях автора: опубліковано 9 наукових праць, 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.

Зміст публікацій вичерпно розкриває ключові результати дисертації, включаючи дослідження обертового трансформатора для безконтактного живлення телеметрії, розроблення алгоритмів автоматичного контролю параметрів анаеробного бродіння та аналіз впливу енергоефективних процесів (екструзії) на вихід біогазу. Презентацію та обговорення результатів здійснено шляхом оприлюднення їх основних положень на міжнародних наукових симпозиумах, зокрема на конференції SIEMA'2025, що дає підстави вважати апробацію дослідження цілком достатньою та фаховою. Сукупність цих публікацій забезпечує належне розкриття змісту дисертації та повністю відповідає чинним нормативним вимогам щодо оприлюднення результатів досліджень на здобуття ступеня доктора філософії.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. Дисертація є самостійною кваліфікаційною науковою працею, виконаною з суворим дотриманням принципів академічної доброчесності. Представлені в роботі алгоритми керування, математичні моделі та результати тестування систем моніторингу отримано здобувачем особисто і не містять ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації даних. Усі запозичені теоретичні положення, апаратно-програмні рішення та цитати належним чином оформлені відповідними посиланнями на першоджерела. Текст роботи написано державною мовою, з коректним використанням термінологічного апарату у сфері автоматизації та електротехніки. Бібліографічний опис використаних джерел і посилання на них у тексті виконано відповідно до чинних стандартів. Таким чином, у дисертаційному дослідженні Бабака Дениса Олеговича на тему: «Електротехнічний комплекс моніторингу та регулювання режиму роботи біогазового реактора» відсутні порушення академічної доброчесності.

Дискусійні положення та зауваження. Дисертація виконана на високому науково-технічному рівні та має завершений характер. Водночас, окремі положення можуть бути предметом наукової дискусії або розглядатися як напрями подальшого розвитку дослідження, що не знижує загальної наукової та практичної цінності работ:

1. У роботі наводиться розподілений інтелектуальний моніторинг, проте не розкрито детальний опис інтелектуального алгоритму моніторингу. Автором не наводиться опис обчислювальних інструкцій, за результатами яких можливо підкреслити самостійне навчання за вхідними значеннями, опрацювання нових вхідних даних та ухвалювати оптимальні рішення щодо поставлених задач.

2. У підрозділі 2.3 автором наводиться математичні залежності побудови поліфункціонального електромеханічного перетворювача енергії для перемішування, нагріву та омагнічування субстрату, проте в описі формул не наведено одиниці вимірювання змінних та констант.

3. У роботі наводиться, що до мікроконтролера LGT8F328P підключено 13 датчиків, але у Додатку В «Принципова електрична схема розробленого електротехнічного комплексу» не наведено 13 підключень датчиків.

4. У додатку Г, де показано текст програми щодо програмного забезпечення розробленого електротехнічного комплексу моніторингу та регулювання режиму роботи біогазового реактора, автором не вказано коментарі щодо введених ним директив і бібліотек підпрограм у тексті програми.

5. У роботі описується процес вимірювання технологічних параметрів, проте не наведено розрахунок похибки вимірювання інформаційно-вимірювального каналу в залежності від різних умов функціонування.

Водночас, вищенаведені зауваження істотно не впливають на високі здобутки роботи, що є новим, актуальним та змістовним дослідженням, та носять переважно дискусійний характер.

Загальний висновок. Підсумовуючи викладене вище, можна стверджувати, що дисертація Бабака Дениса Олеговича на тему: «Електротехнічний комплекс моніторингу та регулювання режиму роботи біогазового реактора» є цілісним, самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому отримано нові теоретично й практично обґрунтовані результати. У сукупності вони вирішують важливе наукове завдання, що має істотне значення для розвитку автоматизованих електромеханічних систем та інформаційно-вимірювальних комплексів у відновлюваній енергетиці. Висновки та пропозиції автора відзначаються логічною структурованістю, глибокою аргументованістю та чіткою практичною спрямованістю, що свідчить про високий фаховий рівень його підготовки та вміння розв'язувати складні завдання з автоматизації технологічних процесів. Робота не містить порушень академічної доброчесності. Враховуючи актуальність, наукову новизну та достовірність одержаних результатів, дисертація відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки 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 № 44 від 12 січня 2022 року, а її автор Бабак Денис Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 «Електрична інженерія».

Рецензент доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем імені академіка І. І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидат технічних наук, доцент Тарас ЛЕНДЄЛ