

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри автоматики та робототехнічних систем імені академіка І. І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидата технічних наук, доцента **Тараса ЛЕНДЄЛА** на дисертацію **Олексія СЛОВІКОВСЬКОГО** на тему: **«Інтелектуальна система керування сушильним агрегатом при виробництві цементних сумішей»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Тема дослідження є актуальною, оскільки зумовлена необхідністю адаптації теплотехнічних процесів до змінних умов експлуатації. Традиційні методи керування часто не забезпечують необхідної гнучкості в умовах змінного навантаження, коливань температури або тиску, що може призводити до зниження ефективності та зростання ризику аварійних ситуацій. У цьому контексті розроблення адаптивних систем автоматизації, здатних працювати в реальному часі та коригувати режими роботи залежно від зовнішніх факторів, є надзвичайно актуальною. Це завдання є важливим як для промислових підприємств, так і для енергетичного сектору в цілому, оскільки воно сприяє зниженню витрат ресурсів, підвищенню екологічної безпеки та забезпеченню стійкого розвитку економіки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано в рамках науково-дослідних робіт «Розвиток теорії та моделювання нестационарних електрофізичних процесів в електропровідних і діелектричних середовищах імпульсних електромагнітних систем» (номер державної реєстрації 0123U100671); та «Розробка електро-технології підготовки та спалювання паливних сумішей з утилізованою водою та рідинними відходами різного походження» (номер державної реєстрації 0226U002768), в яких автор був виконавцем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації є обґрунтованими та достовірними. Це підтверджується коректним застосуванням сучасних методів математичного, імітаційного та багатофізичного моделювання, використанням методів системного аналізу, теорії автоматичного керування та чисельного моделювання технологічних процесів. Достовірність отриманих результатів забезпечена узгодженістю теоретичних положень, результатів комп'ютерного моделювання в середовищах Ansys Fluent, Ansys Maxwell та Ansys Twin Builder, а також результатів дослідження роботи розробленої системи керування сушильним агрегатом.

Значення одержаних результатів для науки й практики та рекомендації щодо їх можливого використання. Розроблені моделі та алгоритми можуть бути використані

для проєктування нових систем газових пальників, модернізації існуючих, а також інтеграції в автоматизовані системи управління. MATLAB-реалізації дозволяють проводити валідацію результатів та оцінювати вплив різних параметрів на роботу пальника. Практичне значення результатів полягає у можливості застосування створених моделей. Зокрема, запропонований підхід дозволяє зменшити енергоспоживання вентиляторів на 10–15 % за рахунок адаптивного регулювання швидкості, а також забезпечити стабільну роботу шибера з мінімальною похибкою позиціонування, що сприяє покращенню горіння та зменшенню викидів шкідливих речовин.

Повнота викладення матеріалів досліджень в опублікованих наукових працях.

За результатами виконаних дисертаційних досліджень загалом опубліковано 15 наукових праць, у яких представлено основні наукові результати дисертації, серед яких стаття у науковому виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 8 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 4 тези наукових доповідей, 2 авторські свідоцтва на твір.

Винесені на захист положення наукової новизни та основні результати дослідження Олексія Словіковського з достатньою повнотою оприлюднено у відкритому друці. Вимоги щодо необхідної кількості статей у наукових виданнях дотримано.

Структура і зміст дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел до кожного з розділів та додатків. Загальний обсяг роботи складає 281 сторінку. Дисертація містить 129 ілюстрацій, 9 таблиць. До списку використаних джерел увійшло 141 найменування.

У першому розділі проведено ґрунтовний аналіз сучасних конструкцій газових пальників, їхніх технічних характеристик та областей застосування. Встановлено, що одним із ключових факторів забезпечення стабільної роботи пальника є інтеграція ефективних систем управління, які адаптуються до технологічних умов процесу. Зокрема, проаналізовано засоби управління режимами роботи пальників, включаючи регулятори витрати палива, повітря та параметрів полум'я. Особливу увагу приділено системам частотного управління, що є критично важливими для регулювання роботи вентиляторів і приводів шибера. Розроблено концепцію прототипу виробничої установки з газовим пальником, яка слугувала основою для подальшого моделювання та оптимізації.

У другому розділі виконано теоретичне обґрунтування експлуатаційних режимів роботи газового пальника. Розроблено математичні моделі процесів газодинаміки, включаючи турбулентність, змішування газів, процеси горіння та теплообміну.

У третьому розділі розроблено імітаційні моделі основних процесів у газовому пальнику з використанням програмного забезпечення Ansys Fluent, Ansys Maxwell та Ansys Twin Builder. У Ansys Fluent змодельовано газодинамічні процеси з високим ступенем

точності, зокрема розподіл температурних полів, тисків та швидкостей у зоні горіння. У Ansys Maxwell виконано електромагнітний аналіз асинхронних двигунів і двигунів із постійними магнітами (BLDC), отримано їхні характеристики, такі як момент, струм та втрати. Ці результати були інтегровані у Ansys Twin Builder у вигляді ROM-об'єктів, що забезпечило точне моделювання електромеханічних процесів. У Ansys Twin Builder також реалізовано скалярне та векторне управління асинхронними двигунами, а також регулювання швидкості BLDC-двигуна.

У четвертому розділі реалізовано розроблену систему управління в програмних середовищах SoMachine та Vijeo Designer від Schneider Electric. Логіка управління була інтегрована у контролер Schneider M241, а приводи вентиляторів і шиберів управлялися через частотні перетворювачі ATV930 та ATV320. Для забезпечення зручності операторської роботи було створено інтуїтивний інтерфейс на основі сенсорної панелі Magelis HMISTU855, який відображав параметри роботи системи, аварійні сигнали та режими управління.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. Дисертація є повністю самостійною науковою працею, що характеризується обґрунтованістю висновків та рекомендацій. Автор ретельно посилався на всі використані ідеї, результати та текстові матеріали інших дослідників. У роботі не зафіксовано жодних випадків привласнення чужих здобутків без належного цитування. Отже, дисертаційне дослідження Олексія Словіковського відповідає вимогам академічної доброчесності.

Питання для дискусійного обговорення та недоліки дисертації щодо її змісту та оформлення:

1) у роботі доцільно було б подати більш розгорнуте порівняння отриманих результатів із аналогічними промисловими рішеннями або типовими схемами керування газовими пальниками, що дозволило б наочно продемонструвати кількісні переваги запропонованої системи;

2) при викладенні результатів імітаційного моделювання можна було б ширше представити графічну інтерпретацію перехідних процесів (зокрема, із порівнянням різних режимів керування), що підвищило б наочність та аналітичну глибину дослідження;

3) у частині, присвяченій експлуатаційним характеристикам системи, доцільним виглядало б більш детальне висвітлення довготривалої роботи системи в умовах реального виробництва, зокрема щодо стабільності параметрів у часі;

4) робота могла б бути доповнена узагальненою структурною схемою всієї інтелектуальної системи керування з чітким виділенням рівнів (польовий, керуючий, диспетчерський), що підкреслило б її відповідність сучасним принципам побудови автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Водночас наведені зауваження та дискусійні моменти дисертаційного дослідження принципово не впливають на наукову та практичну цінність одержаних автором результатів і не знижують у цілому високої позитивної оцінки роботи.

Загальний висновок. Дисертація є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані та практично цінні результати, що вирішують важливе наукове завдання. Актуальність обраної теми дисертації, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна та повнота викладення в опублікованих наукових працях повністю відповідають вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та 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 Словіковський Олексій Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

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