

РЕЦЕНЗІЯ

професора кафедри конструювання машин і обладнання
Національного університету біоресурсів і природокористування України,
доктора технічних наук, професора **РОМАСЕВИЧА Юрія Олександровича**
на дисертацію **СЛОВІКОВСЬКОГО Олексія Миколайовича**
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»

Обґрунтування вибору теми дослідження. Актуальність праці обумовлена зростаючими вимогами до енергоефективності, надійності та екологічності теплотехнічного обладнання, зокрема газових пальників, які є ключовими елементами у багатьох виробничих і комунальних процесах. Газові пальники є незамінним компонентом у хімічній, металургійній, будівельній та інших галузях промисловості, а також у системах опалення. Їхня ефективна робота безпосередньо впливає на економічні показники підприємств та екологічну безпеку. Для досягнення максимальної ефективності таких процесів необхідне точне регулювання співвідношення паливо/повітря, температури полум'я, швидкості потоку газу і повітря, а також динаміки горіння. У контексті виробництва цементних сумішей це викликає необхідність розроблення інтелектуальної системи керування сушильним агрегатом, що визначає актуальність роботи.

Дисертацію здобувачем 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 електротехнології підготовки та спалювання паливних сумішей з утилізованою водою та рідинними відходами різного походження» (номер державної реєстрації 0226U002768).

Ступінь обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації є обґрунтованими та достовірними. Це підтверджується коректним застосуванням сучасного математичного апарату, використанням методів системного аналізу та чисельного моделювання. Достовірність результатів забезпечена порівнянням теоретичних розрахунків з результатами чисельних експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному.

Вперше:

– розроблено комплексний підхід до багатофізичного моделювання та оптимізації сушильного агрегату, який дозволяє враховувати взаємозв'язок газодинамічних, теплових та електромеханічних процесів при експлуатації в режимі реального часу;

– розроблено математичну модель системи керування газовим пальником сушильного агрегату з урахуванням динаміки приводів вентиляторів і шибера повітрязбірника, що забезпечує адаптивне регулювання параметрів горіння та процесу сушіння.

Дістало подальшого розвитку:

– використання підходу до моделювання та оптимізації режимів роботи сушильних агрегатів на основі інтеграції математичних моделей, систем автоматизації та засобів імітаційного моделювання для аналізу роботи технологічного обладнання в умовах змінного навантаження та нестационарних режимів роботи.

– використання симуляційного моделювання для аналізу роботи приводів і систем керування в умовах змінного навантаження та аварійних ситуацій шляхом створення інтегрованої моделі газового пальника, у якій дані Ansys Fluent про температуру та тиск передаються в Ansys Twin Builder для моделювання реакції системи керування, що дозволяє досліджувати динамічну поведінку системи в реальних умовах експлуатації.

Удосконалено методи автоматичного керування режимами роботи сушильного агрегату шляхом застосування векторного та скалярного керування електроприводами, а також PID-регулювання виконавчих механізмів, що дозволило підвищити точність стабілізації технологічних параметрів та знизити енергоспоживання системи.

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 керування. Програмні реалізації дозволяють проводити валідацію результатів та оцінювати вплив різних параметрів на роботу пальника. Практичне значення результатів полягає у можливості застосування створених моделей для проєктування та оптимізації систем автоматизації роботи газових пальників. 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.

Крім того, окремі результати дослідження та розробки впроваджено в навчальний процес підготовки здобувачів вищої освіти з галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» (спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології») у Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та шести додатків і загалом налічує 281 сторінку, 141 посилання на використані джерела, 129 ілюстрацій (без урахування додатків) та 9 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасних конструкцій газових пальників, їхніх технічних характеристик та областей застосування. Розглянуто засоби керування режимами роботи пальників, включаючи регулятори витрати палива, повітря та параметрів полум'я, а також системи частотного керування вентиляторами і приводами шибера. Розроблено концепцію прототипу виробничої установки з газовим пальником, яка слугувала основою для подальшого моделювання та оптимізації. Сформульовано задачі дослідження.

У **другому розділі** виконано теоретичне обґрунтування експлуатаційних режимів роботи газового пальника. Розроблено математичні моделі процесів газодинаміки, що охоплюють турбулентність, змішування газів, хімічні реакції горіння та теплообмін у зоні горіння. Побудовано математичні моделі електричних приводів вентиляторів та шибера повітрязабірника, зокрема з використанням векторного та скалярного керування асинхронними двигунами і ПІД-регулювання. Розроблено критерій оптимізації режимів роботи газового пальника та реалізовано генетичний алгоритм пошуку раціональних технологічних параметрів.

У **третьому розділі** розроблено імітаційні моделі основних процесів у газовому пальнику з використанням програмних середовищ Ansys Fluent, Ansys Maxwell та Ansys Twin Builder. У середовищі Fluent змодельовано газодинамічні процеси, зокрема розподіл температурних полів, тисків та швидкостей у зоні горіння. У середовищі Maxwell виконано електромагнітний аналіз асинхронних двигунів та двигунів із постійними магнітами типу BLDC. Отримані характеристики інтегровано у Twin Builder у вигляді ROM-об'єктів, де реалізовано скалярне та векторне керування асинхронними двигунами і регулювання швидкості BLDC-двигуна.

У **четвертому розділі** реалізовано розроблену систему керування у програмних середовищах SoMachine та Vijeo Designer від Schneider Electric. Логіку керування інтегровано у контролер Schneider M241, приводи вентиляторів і шибера підключено через частотні перетворювачі ATV930 та ATV320. Розроблено операторський інтерфейс на базі сенсорної панелі Magelis HMISTU855 з відображенням параметрів роботи системи, аварійних сигналів та режимів керування.

У **висновках** узагальнено результати виконаного дослідження та підтверджено досягнення поставленої мети.

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 (комп'ютерні програми).

В опублікованих у співавторстві наукових працях основний науковий доробок належить О. М. Словіковському.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. У процесі рецензування дисертації не виявлено жодних фактів, що свідчили б про порушення академічної доброчесності. Дисертація є самостійно виконаною кваліфікаційною науковою працею здобувача, в якій сформульовано обґрунтовані наукові висновки та практичні рекомендації. Усі використані тексти, результати та ідеї інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації:

1. Предмет дослідження повинен відображати закономірності впливу інтелектуальної системи керування на підвищення якісних показників (якість продукції) і кількісних (витрати енергоресурсів, сировини, тривалість виконання операцій, об'єм шкідливих відходів тощо) процесу виробництва цементних сумішей.

2. У першому розділі варто було б більш глибоко оцінити наукові результати щодо предмету дослідження, переважно спираючись, на наукові публікації, що побачили світ за останні 5–10 років.

3. У другому розділі значна кількість формул (2.1)–(2.46) – це відомі залежності теплових, динамічних, електричних та інших процесів. Варто було підкреслити власний доробок у моделюванні описаних процесів. Також варто було б глибоко розкрити зміст критерію оптимізації (2.51) і те, як із розроблених математичних моделей визначити чисельні значення одиничних критеріїв.

4. Висновки до роботи носять переважно анотаційний характер. У висновках варто було б розкрити, що означають отримані результати для наукової та практичної діяльності, наситивши їх більшою кількістю чисельних даних.

5. Назва роботи обіцяє «інтелектуальну систему керування сушильним агрегатом», але значна частина роботи присвячена газовому пальнику як окремому вузлу. У змісті роботи домінує тема пальника і його приводів, а не сушильного агрегату як цілісного об'єкта керування.

6. У назві та скрізь по тексті фігурує слово «інтелектуальна», проте конкретний інтелектуальний складник зводиться лише до генетичного алгоритму оптимізації. Порівняння з іншими методами оптимізації (наприклад, роевий інтелект, нейромережеве керування) відсутнє. Заявка на «інтелектуальність» потребує значно вагомішого обґрунтування.

7. У роботі варто було б навести дані щодо верифікації теоретичних моделей шляхом проведення відповідних експериментальних досліджень. Акт про отримання експериментальних результатів (Додаток Ж) не закриває цю прогалину.

Висловлені зауваження і побажання не зменшують позитивної оцінки дослідження О. М. Словіковського в цілому, його наукової та практичної значущості.

Загальний висновок. Дисертація на тему: «Інтелектуальна система керування сушильним агрегатом при виробництві цементних сумішей» є завершеним, цілісним, самостійним науковим дослідженням, яке має наукову новизну, теоретичне та практичне значення. Вона повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами), 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 (зі змінами), а 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 професор кафедри конструювання машин і обладнання Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктор технічних наук, професор Юрій РОМАСЕВИЧ