

ВІДГУК

офіційного опонента

професора кафедри електричного транспорту

Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова,

доктора технічних наук, професора **ПЕТРЕНКА Олександра Миколайовича**

на дисертацію **СЛОВІКОВСЬКОГО Олексія Миколайовича**

на тему: **«Інтелектуальна система керування сушильним агрегатом**

при виробництві цементних сумішей»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Актуальність теми дослідження. Сучасний розвиток промислового виробництва характеризується постійним зростанням вимог до енергоефективності, автоматизації технологічних процесів, зниження експлуатаційних витрат та забезпечення стабільної якості продукції. Особливо гостро ці питання постають у виробництві цементних сумішей, де процес сушіння сировини є одним із найбільш енергоємних етапів технологічного циклу та суттєво впливає на продуктивність підприємства, собівартість продукції та екологічні показники виробництва. Традиційні системи керування сушильними агрегатами, як правило, базуються на фіксованих алгоритмах регулювання та не завжди здатні ефективно реагувати на зміну властивостей сировини, коливання температурних режимів, витрат палива та інших технологічних параметрів. Це призводить до перевитрат енергетичних ресурсів, погіршення якості сушіння та зниження загальної ефективності виробництва. У зв'язку з цим особливого значення набуває розроблення інтелектуальних систем керування, здатних адаптуватися до змінних умов функціонування технологічного об'єкта та забезпечувати оптимізацію режимів його роботи. Додаткової актуальності дослідженню надає необхідність виконання сучасних екологічних вимог щодо скорочення викидів шкідливих речовин та підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Вирішення зазначених завдань потребує застосування сучасних засобів математичного, багатофізичного та імітаційного моделювання, інтеграції цифрових технологій автоматизації, а також використання інтелектуальних алгоритмів оптимізації та підтримки прийняття рішень. У зв'язку з наведеним дисертація присвячена розробленню інтелектуальної системи керування сушильним агрегатом при виробництві цементних сумішей на основі математичного, багатофізичного моделювання та адаптивних алгоритмів керування, є своєчасною, актуальною та має важливе наукове і практичне значення для розвитку автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні інтелектуальної системи керування сушильним агрегатом при виробництві цементних сумішей, яка забезпечує адаптивну оптимізацію технологічних режимів на основі генетичного алгоритму. Новими є математична модель системи керування газовим пальником

та комплексний підхід до багатофізичного моделювання процесів сушіння з використанням середовищ Ansys Fluent, Ansys Maxwell і Ansys Twin Builder.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації щодо теоретичних положень та практичних висновків із розроблення інтелектуальної системи керування сушильним агрегатом при виробництві цементних сумішей є обґрунтованими та достовірними, що підтверджується високим методичним рівнем проведених досліджень, а також логічною та послідовною реалізацією всіх етапів роботи. Сформульовані мета і завдання дослідження повністю узгоджуються з актуальністю теми та її науково-практичною цінністю. Завдання дослідження логічно випливають із назви дисертації. Об'єкт і предмет дослідження сформульовано коректно, а застосовані методи дослідження є обґрунтованими та відповідають поставленим цілям і наряду дослідження.

Отримані наукові положення, висновки та рекомендації сформульовано на основі результатів дослідження та відзначаються достатнім рівнем обґрунтованості.

Достовірність основних наукових положень, висновків проведених наукових досліджень та одержаних результатів. Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, ґрунтуються на використанні сучасних методів математичного, багатофізичного та імітаційного моделювання, теорії автоматичного керування, а також сучасних засобів промислової автоматизації. Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням апробованих програмних комплексів Ansys Fluent, Ansys Maxwell, Ansys Twin Builder, SoMachine та Vijeo Designer, а також узгодженістю результатів моделювання із результатами експериментальних досліджень. Отримані результати підтверджують працездатність та ефективність запропонованих технічних і алгоритмічних рішень.

Загальна характеристика структури і змісту дисертації. Дисертація за своєю структурою складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 281 сторінку тексту разом з додатками. Дисертація містить 129 рисунків, 9 таблиць та 6 додатків. Анотація викладена в лаконічній та змістовній формі і передає основні положення та висновки дослідження, а також відображає логічну послідовність і структуру наукової роботи.

Розділи дисертації побудовано у логічній послідовності та змістовно наповнені.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну дисертаційного дослідження та її практичну значимість.

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 Fluent змодельовано газодинамічні процеси з високим ступенем точності, зокрема розподіл температурних полів, тисків та швидкостей у зоні горіння. У Maxwell виконано електромагнітний аналіз асинхронних двигунів і двигунів із постійними магнітами (BLDC), отримано їхні характеристики, такі як момент, струм та втрати. Ці результати було інтегровано у Twin Builder у вигляді ROM-об'єктів, що забезпечило точне моделювання електромеханічних процесів. У 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 шибера 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.

Отримані результати досліджень дають підстави стверджувати, що поставлені у дисертації наукові та практичні завдання успішно вирішено, а розроблені технічні рішення характеризуються достатнім рівнем достовірності, практичної цінності та можуть бути рекомендовані для використання під час створення і модернізації автоматизованих систем керування сушильними агрегатами.

Загальні висновки відповідають отриманим у дисертації результатам теоретичних і експериментальних досліджень, які є змістовними та дозволяють розробляти та впроваджувати інтелектуальні системи керування сушильними агрегатами при виробництві цементних сумішей.

Практичне значення результатів дослідження. Отримані в дисертації результати полягають у можливості використання розроблених математичних моделей, алгоритмів керування та програмно-технічних рішень під час створення й модернізації автоматизованих систем керування сушильними агрегатами промислових підприємств. Результати роботи

можуть бути використані для підвищення енергоефективності процесів сушіння, зниження експлуатаційних витрат та покращення якості готової продукції, а також у навчальному процесі підготовки фахівців за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій, в опублікованих працях. Основні наукові результати дисертації опубліковано в 15 наукових працях, з 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.

Відповідність академічній доброчесності. Аналіз звіту про подібність за результатами перевірки дисертації на наявність текстових збігів дає підстави стверджувати, що дисертація Словіковського Олексія Миколайовича не містить ознак фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи неправомірних запозичень і є результатом самостійного наукового дослідження автора. Ідеї, результати та тексти інших авторів, використані в роботі, супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела.

Дискусійні положення та зауваження щодо роботи. Високо оцінюючи науковий рівень підготовки дисертації, необхідно також акцентувати увагу на окремих положеннях роботи, які заслуговують на подальше обговорення в рамках наукової дискусії.

Наведені зауваження не мають принципового характеру і не знижують рівня виконаних досліджень.

1. У першому розділі дисертації виконано аналіз сучасних засобів автоматизації сушильних агрегатів та підходів до побудови систем керування, однак, на думку офіційного опонента, доцільно було б більш детально розглянути сучасні методи штучного інтелекту та машинного навчання, які останнім часом активно застосовуються для прогнозування технологічних параметрів, оптимізації режимів роботи та адаптивного керування теплотехнічними установками. Такий аналіз дозволив би більш повно відобразити сучасний стан наукових досліджень у даній предметній галузі та чіткіше позиціонувати запропоновані автором рішення серед існуючих підходів.

2. У роботі значна увага приділена побудові та дослідженню моделей у середовищах Ansys Fluent, Ansys Maxwell та Ansys Twin Builder, що є безумовною перевагою дисертації. Водночас доцільним було б більш детально представити результати аналізу чутливості моделей до зміни окремих параметрів, зокрема характеристик газового потоку, теплових режимів та параметрів електроприводів. Це дозволило б додатково оцінити вплив вхідних даних на точність та стійкість отриманих результатів моделювання.

3. У четвертому розділі детально розглянуто реалізацію системи керування на базі сучасних засобів автоматизації Schneider Electric, однак питання забезпечення надійності функціонування системи в умовах можливих відмов окремих датчиків, виконавчих

механізмів або комунікаційних каналів висвітлено недостатньо. Більш детальний аналіз таких режимів роботи дозволив би розширити практичні аспекти застосування запропонованої системи в умовах промислової експлуатації.

4. Одним із важливих результатів дисертації є застосування генетичного алгоритму для оптимізації режимів роботи сушильного агрегату. Водночас для більш повного обґрунтування ефективності запропонованого підходу доцільно було б навести порівняльний аналіз отриманих результатів з іншими сучасними методами оптимізації, наприклад, методами рою частинок, диференціальної еволюції або іншими евристичними алгоритмами. Таке порівняння дозволило б більш наочно продемонструвати переваги обраного підходу.

5. Дисертація в цілому викладена на належному науковому рівні, проте в тексті трапляються окремі редакційні та стилістичні неточності, а також деякі невдалі мовні звороти. Зазначені зауваження мають виключно оформлювальний характер і жодним чином не впливають на наукову новизну, достовірність та практичну цінність одержаних результатів.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам. Аналіз дисертації та опублікованих праць свідчить про те, що дисертація Словіковського Олексія Миколайовича на тему: «Інтелектуальна система керування сушильним агрегатом при виробництві цементних сумішей» є завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

За актуальністю, ступенем новизни представлених результатів, їх наукової обґрунтованості, повноти викладення в опублікованих наукових працях, рівнем виконання поставленого наукового завдання та володінням методологією наукової діяльності дана робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація відповідає спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування», вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) 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 (зі змінами), 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».

Офіційний опонент професор кафедри електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, доктор технічних наук, професор Олександр ПЕТРЕНКО