

## **ВІДГУК**

офіційного опонента доктора технічних наук, професора **Дубового Володимира Михайловича** на дисертацію Захарченка Руслана Володимировича “Автоматизована система керування процесом сушіння зернових культур”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Основним технологічним процесом зі збереження і поліпшення показників якості зерна є сушіння. Цей процес досить енергоємний і залежить від дотримання великої кількості обмежень, встановлених регламентом. В Україні широко розповсюджені зерносушарки шахтного типу. Як об'єкт управління, такі сушарки є нестационарними, піддаються координатним та параметричним збуренням, мають досить значні запізнення за деякими каналами управління, а їх найбільш ефективні режими роботи лежать в області гранично допустимих. При цьому кількість регламентованих параметрів процесу сушіння перевищує кількість керуючих дій. Сукупність наведених факторів робить проблему забезпечення високої якості просушеного зерна, при одночасному зниженні енергоємності процесу, нетривіальною.

Вищезазначене дозволяє стверджувати, що в дисертаційній роботі розглядається дуже важлива прикладна задача, яка полягає у розробленні адаптивної оптимальної системи автоматичного керування процесом сушіння зернових культур, впровадження котрої дозволить отримати якісне зерно для подальшого зберігання і переробки.

Існуючі системи керування процесом сушіння зерна не забезпечують оптимальні режими в умовах невизначеності та нестационарності параметрів об'єкта і середовища, точність підтримання температурно-вологісних характеристик та високу функціональну надійність.

Це й зумовлює актуальність наукової задачі, яка розв'язується у дисертаційній роботі.

### **Загальна характеристика роботи**

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, в яких логічно і послідовно, з вичерпаною повнотою, на високому науково-технічному рівні

викладено рішення поставлених задач дослідження, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У **вступі** подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами та планами, визначено мету та завдання роботи. Викладено зміст наукової новизни й практичне значення отриманих результатів. Відзначено особистий внесок здобувача, наведено публікації за темою дисертації, апробацію результатів досліджень та відомості про впровадження основних положень роботи.

У **першому** розділі проведено аналіз властивостей зерна як об'єкта сушіння, розглянуто методи, режими та експериментальні закономірності процесу сушіння.

Встановлено, що забезпечення повного зберігання всіх якісних показників зерна характеризується максимальною температурою його нагрівання. В основу вибору режиму сушіння покладено межу нульового ступеня денатурації білків. Найпоширенішим із методів сушіння є конвективний. Швидкість сушіння залежить від температури, вологості та швидкості агента сушіння й визначається умовами зовнішньої дифузії вологи в навколишнє середовище. Режим сушіння зерна являє сукупність температури агента сушіння, початкової вологості та гранично допустимої температури нагрівання зерна. Як компроміс по якості та вартості сушіння за основу створення нової мінісушарки прийнято шахтну прямоточну зерносушарку.

У **другому** розділі описано процес сушіння зерна у шахтній прямоточній зерносушарці математичною моделлю з просторовим розподіленням параметрів. Дослідження статичної моделі сушарки реалізовано розв'язанням рівнянь статики з врахуванням граничних умов. Одержаний розв'язок статичної моделі, як гладка функція просторових координат, визначає гладке розподілення визначального параметра вздовж просторових координат, що дозволило обмежити кількість первинних перетворювачів, для вимірювання температури та вологості зерна у шахті сушарки. З метою спрощення побудови системи автоматичного керування, проведено перехід до системи з зосередженими параметрами.

У **третьому** розділі розроблено структуру і алгоритм функціонування багатомірної автономної системи автоматичного керування процесом сушіння зерна з еталонною моделлю.

Запропоновано модель зерносушарки, котра має каскадне ввімкнення двомірної моделі сушильної камери і двомірної моделі виконавчого механізму. Для розв'язання взаємного впливу каналів керування температурою та вологістю спроектовано двокаскадну систему компенсаторів для виконавчого пристрою і сушильної камери.

Для керування процесом сушіння використано пропорційно–інтегральні регулятори в контурі температури та вологості.

Проведено комп'ютерне моделювання роботи зерносушарки в різних режимах роботи, аналіз яких показав, що розроблена система керування задовольняє показники якості при визначених параметрах об'єкта керування.

Однак також встановлено, що характеристики зерна змінюються у процесі сушіння і це призводить до неможливості якісного керування. Для вирішення даної задачі, запропоновано відслідковувати зміну параметрів об'єкта керування за допомогою підсистеми ідентифікації.

У **четвертому** розділі розроблено підсистему ідентифікації процесів у зерносушарці використовуючи системний підхід та структуру і алгоритми функціонування багаторазово адаптивної системи ідентифікації. Для її побудови використано більш досконалий за МНК (метод найменших квадратів) метод мінімізації оптимально зваженої суми симетричних кореляційних функцій, так званий, інтегрований МНК.

За допомогою даних, отриманих під час дослідження роботи експериментального зразка зерносушарки визначено уточнені передавальні функції “вхід–вихід” моделі.

Як результат використання інтегрованого МНК отримано незміщені і ефективні оцінки передавальних функцій моделі зерносушарки, що дозволило реалізувати оптимальні адаптивні алгоритми автономного керування окремими каналами температури вологості сушарки як багатомірного об'єкта з перехресними зв'язками.

### **Наукова новизна результатів дисертаційної роботи**

Найбільш цінними, з точки зору наукової новизни, є такі результати:

— вперше розроблено адаптивну систему керування процесом сушіння зернових культур, яка відрізняється автономністю каналів керування, що забезпечує оптимальні режими в умовах невизначеності та нестационарності параметрів об'єкта і середовища;

— вперше отримано незміщені та ефективні оцінки параметрів передавальних функцій об'єкта керування завдяки застосуванню методів конфлюентного аналізу в умовах зашумленості вхідних і вихідних сигналів, що дозволяє підвищити точність керування;

— вперше побудовано спрощену систему автономного керування каналами температури та вологості зерна на основі незміщених та ефективних оцінок параметрів об'єкта та методів редукції складних передавальних функцій, яка з необхідною точністю забезпечує процес сушіння;

— вперше побудовано адаптивну систему стабілізації оптимальних значень температури і вологості зерна в умовах неконтрольованих параметричних збурень і завад, яка завдяки ідентифікації і розв'язці каналів керування забезпечує високу функціональну надійність.

### **Практична значимість отриманих результатів**

Прикладні результати дисертаційної роботи з полягають в наступному:

— завдяки оптимальній конструкції та досконалості системи керування створено умови для широкого використання подібних систем в малих фермерських господарствах, що допоможе вирішити логістичну проблему транспортування зерна від виробника до споживача;

— за рахунок впровадження адаптивної системи керування процесом зерносушіння отримано функціонально надійну систему стабілізації оптимальних значень температури і вологості зерна;

— проведені експериментальні дослідження дають можливість за допомогою незначних капіталовкладень забезпечити роботу промислового сушильного агрегата з високими показниками якості. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленої системи автоматичного керування процесом сушіння зернових культур складає 561,7 тис. грн.

Практична значимість отриманих результатів роботи підтверджується актами впровадження наведеними в додатках дисертації. Результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничий процес ТОВ "Шишацький комбикормовий завод" та у навчальний процес.

## **Обґрунтованість і достовірність наукових результатів**

Обґрунтованість наукових результатів, отриманих здобувачем, забезпечується коректною постановкою задач досліджень та використанням відомих методів досліджень.

Достовірність результатів роботи підтверджена збігом результатів моделювання з експериментальними даними.

**Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.** Основні наукові та практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження опубліковані з необхідною повнотою в 6 статтях наукових фахових видань, рекомендованих МОН України, з яких 5 статей у наукових виданнях, зареєстрованих у міжнародних наукометричних базах даних, у тому числі 4 статті одноосібні.

Апробація нових наукових результатів достатня та представлена виступами й 9 публікаціями на наукових, науково-практичних і науково-технічних конференціях (семінарах) різного рівня, з яких 4 на міжнародних конференціях.

## **Автореферат дисертації**

Автореферат дисертації за своїм змістом повністю відповідає дисертаційній роботі та достатньо повно розкриває основні наукові та практичні результати, отримані здобувачем.

## **Основні зауваження по роботі**

1. При обґрунтуванні актуальності наукової задачі недостатньо проаналізовано досвід закордонних дослідників у обраній предметній області.
2. Мета роботи сформульована як «підвищення ефективності процесу обробки і збереження зернових культур», проте не визначено, що розуміє автор під «ефективністю» і, відповідно, з роботи неможливо визначити, чи досягнута поставлена мета.
3. На жаль, у формулюваннях наукових результатів не завжди підкреслено їх новизну і позитивний ефект.
4. Як базу для порівняння дисертант обрав застарілу модель сушильної установки ДСП-32от. Цікавим було б порівняння з найкращими системами закордонних виробників.

5. Другий розділ дисертаційної роботи містить переважно загальновідомі моделі розповсюдження і накопичення тепла, проте у роботі недостатньо зазначені джерела інформації.
6. У розділі “Розробка адаптивної оптимальної системи автономного керування процесом сушки зерна” не знайшло достатнього розгляду пояснення, наскільки розроблена САК і за яких змін, може бути використана в сушарках інших конструкцій, тобто ступінь універсальності підходів, що пропонуються.
7. У третьому розділі дисертації при розробленні системи автоматичного керування процесом сушіння зерна не приділено необхідної уваги питанню доцільності побудови інтелектуальних САК чи можливості використання робастних регуляторів.
8. Для побудови системи керування із спрощенням складних передавальних функцій ідентифікація виконана за методом Сімою. Доцільно було б розглянути й інші методи редукції таких функцій.
9. Розглядаючи структуру багаторазово адаптивних систем ідентифікації для визначення коефіцієнтів передавальних ланок у роботі використано лише прямі методи регресійного (конфлюентного) аналізу, а саме ІМНК. Однак незміщені і ефективні оцінки можна було б отримати шляхом побудови паралельної динамічної моделі, що налаштовується методами нелінійного програмування (наприклад, градієнтним, стохастичної апроксимації, Ньютона-Рафсона і т.п.).
10. Текст рукопису дисертації, нажаль, має окремі неточності, орфографічні та синтаксичні помилки, на що було вказано дисертанту.

## **ЗАКЛЮЧНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Дисертаційна робота Захарченка Руслана Володимировича за змістом є закінченим науковим дослідженням, що містить нові наукові та практичні результати, важливі на сучасному етапі перспективного розвитку систем керування процесом сушіння зернових культур і цілком відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Вказані зауваження стосуються окремих недоліків у дисертації та в цілому не знижують її наукову та практичну цінність.

Основні наукові та практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження опубліковані з необхідною повнотою. Робота

пройшла достатню апробацію. Мова та стиль подання дисертації технічно задовільні.

Рівень наукових здобутків, практична значимість роботи повністю відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор Захарченко Руслан Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент: завідувач кафедри  
комп'ютерних систем управління  
Вінницького національного  
технічного університету,  
доктор технічних наук, професор

В. М. Дубовой



Підпис *Дубового В.М.*  
ПОСВІДЧУЮ  
Зав. канцелярією *[Signature]*