

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Соснін Костянтин Володимирович



УДК 681.5:664.723

**СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ КЕРУВАННІ СУШІННЯМ ЗЕРНА**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

Кіровоград – 2015

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано на кафедрі автоматизації та комп'ютерних систем Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Ткачов Віктор Васильович,
Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерних систем.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Купін Андрій Іванович,
Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж;

кандидат технічних наук, професор
Віхрова Лариса Григорівна,
Кіровоградський національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, декан факультету автоматики та енергетики.

Захист дисертації відбудеться «09» жовтня 2015 р. о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 23.073.02 у Кіровоградському національному технічному університеті за адресою: 25006, м. Кіровоград, просп. Університетський, 8.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Кіровоградського національного технічного університету за адресою: 25006, м. Кіровоград, просп. Університетський, 8.

Автореферат розісланий «__» _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.К. Дідик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні спостерігається підвищення врожайності та збільшення валового збору зерна, що сприяє зростанню важливої складової експорту країни. Процес сушіння зерна перед збереженням (очищення, сушіння) характеризується найбільшою кількістю складових параметрів. На 96% підприємств України використовуються шахтні сушарки. Тому забезпечення якісних показників зерна після сушіння у сушарках шахтного типу є актуальним науково-технічним завданням для України.

Зерно, що поступає до заготівельних підприємств, очищується, сушиться (до базисних норм) для подальшого зберігання та переробки. Час на збір врожаю обмежується декількома тижнями (місяць). За цей короткий термін зерно повинно бути очищено і якісно висушено. Якщо зерно пересушити, це призведе до зниження його ваги, збільшення розходу палива/енергії, збільшення собівартості продукції, а також до зниження працездатності технологічної лінії. Це супроводжується зниженням якості зерна і його вартості. Якщо зерно недосушити, це призведе до додаткових заходів при його збереженні, таким як: контролю температури, своєчасному охолодженню зерна і допоміжним економічним затратам. Діюча інструкція по сушінню та експлуатації сушарок повністю не визначає значень керуючих впливів (температура агента сушіння, час дії/експозиція, витрати зерна) в тій або іншій ситуації. Для заготівельного підприємства важливо не тільки виконання інструкції, а також відповідність зерна вимогам контракту після очищення, сушіння, зберігання.

При керуванні сушінням зерна завданням оператора є зниження вологості зерна і збереження хлібопекарських, продовольчих, кормових показників. Ефективність сушіння визначається відповідністю вологості після сушіння заданому значенню разом зі збереженням якісних показників. Сьогодні режим сушіння зерна у шахтних сушарках встановлюється оператором. Контроль процесу сушіння виконується на основі результатів лабораторного аналізу проб зерна (до и після сушіння), показань контролюючих приладів (температура), візуального контролю за працею агрегату та професійного досвіду оператора. Оскільки періодичність лабораторного аналізу знаходиться у інтервалі від одної до двох годин, виникає невизначеність оцінки стану сушіння зерна в цей міжконтрольний період. Особистий досвід оператора, його (органолептична) оцінка таких показників зерна як температура, якість оболонки, колір, запах, вологість допомагає йому зробити вибір керуючих впливів в умовах невизначеності. Таке керування, що засноване у значній мірі на суб'єктивному оцінюванню процесу сушіння і якості зерна оператором приводить к значним розбігам у питомих енерговитратах і якості зерна після сушіння в залежності від кваліфікації оператора.

Уміння кваліфікованих операторів при різних початкових якісних показниках зерна, що змінюються з року в рік, ефективно керувати сушінням, використовуючи свій досвід та професійні здібності, є обґрунтуванням використати апарат нечітких множин для моделювання процедури керування.

Подана робота спрямована на дослідження процесу керування сушінням зерна оператором, отримання математичної моделі шляхом виявлення взаємозв'язку значень параметрів процесу сушіння з якісними показниками зерна.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В основі дисертації покладені матеріали науково - дослідницьких робіт, які виконуються у Національному гірничому університеті відповідно до держбюджетної теми № 0115U002296 «Енергозберігаюче управління електромеханічними технологічними комплексами і системами гірничо-металургійної промисловості»; також роботу поєднано з тематичним планом науково-дослідних робіт Національного гірничого університету, відповідно до договорів про сумісну діяльність між кафедрою автоматизації та комп'ютерних систем з підприємствами Просянська філія ДП Сантрейд, ПрАТ «Новомиргородський елеватор».

Мета і задачі дослідження. Метою є підвищення ефективності сушіння зерна на підставі вдосконалення методів і моделей автоматизованого керування на основі застосування нечітких множин та регресії у складі системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень (ППР) сушіння зерна у сушарках шахтного типу.

Досягнення поставленої мети реалізується через формулювання та розв'язання наступних задач, а саме:

1. Проведення аналізу технологічного процесу сушіння зерна, аналізу методів контролю параметрів, процесу керування і математичних моделей конвективного сушіння зерна у сушарках шахтного типу.

2. Моделювання процесу керування сушінням зерна оператором на основі моделі нечітких множин, визначення та дослідження ефективності керування для автоматизації підтримки прийняття рішень з вибору величини керуючих впливів при сушінні зерна.

3. Обґрунтування науково-технічного рішення з оперативного контролю вологості, проведення дослідження впливу збурень при вимірюванні вологості потоку зерна у шахтній сушарці.

4. Запропонування технічної реалізації системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень сушіння зерна з підсистемою контролю вологості потоку зерна у сушарках шахтного типу, оцінювання показників ефективності від використання.

Об'єкт дослідження – процес керування сушінням зерна у сушарках шахтного типу.

Предмет дослідження – методи і моделі керування сушінням зерна у сушарках шахтного типу.

Методи дослідження. Аналіз та узагальнення сучасної науково-технічної літератури, технологічних інструкцій та досвіду організації процесу сушіння в умовах виробництва використані для визначення мети та задач досліджень. Метод нечітких множин при ідентифікації керування сушінням зерна використано для моделювання. Метод ситуаційного керування використано для розробки принципів керування, підтримки прийняття рішень при автоматизованому керуванні сушінням зерна. Метод комп'ютерного

імітаційного моделювання з використанням сучасного пакету інструментальних програм використано для розробки та дослідження моделі керування. Метод планування експерименту та методи математичної статистики використані в експериментальних дослідженнях в умовах виробництва при дослідженні впливу вологості та температури на діелектричну проникність; при визначенні відхилення у показаннях розробленої підсистеми контролю вологості потоку зерна та зразкового методу вимірювання вологості висушуванням до постійної ваги відповідно ГОСТ 13586.5–93. Метод регресійного аналізу використано при визначенні математичних залежностей діелектричної проникності від температури та вологості зерна.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше отримана недетермінована багатопараметрична математична модель сушіння зерна на основі нечітких множин. Вона розширюється у відповідності з призначенням зерна, керуючими нормативними документами та містить апостеріорні значення параметрів, що вимірюються приладами та оцінюються людиною, у тому числі якість оболонки, колір, запах зерна, використовує оцінку ефективності сушіння.

2. Набула подальшого розвитку імітаційна модель нечіткого виводу згідно алгоритму І.Мамдані на прикладі сушіння зерна пшениці у сушарці ДСП-32. Ця модель, на відміну від існуючих, використовує сумісно з вологістю апріорні значення якісних параметрів, які необхідні для врахування на заготівельному підприємстві, у тому числі, якість оболонки, колір, запах зерна, це дозволяє більш повно, для умов виробництва, прогнозувати значення вихідних параметрів процесу сушіння.

3. Набув подальшого розвитку метод оцінки ефективності процесу керування сушіння зерна через сумісне використання параметрів, що вимірюються та суб'єктивно оцінюються у лінгвістичному та чисельному вигляді на основі нечітких множин. Це дозволяє використовувати критерій ефективності (один параметр) для автоматизації навчання, вибору режиму сушіння в системі інтелектуальної підтримки прийняття рішень, що дозволяє більш швидко виконувати обробку даних, примати рішення щодо вибору значень керуючих впливів в умовах невизначеності.

4. Удосконалено залежності, що зв'язують діелектричну проникність з вологістю, температурою зерна пшениці і апроксимуються поліномами першого та другого ступеня регресійної моделі, яка адекватна по F – критерію на рівні значущості 0,05, при цьому забезпечується безперервність значень параметрів вологості і температури, що характеризують процес сушіння. Це дозволяє компенсувати вплив температури та підвищити кількість якісно просушеного зерна, ефективність керування шляхом оперативного контролю вологості потоку зерна у сушарці шахтного типу.

Практичне значення одержаних результатів

1. Розроблена система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при сушінні зерна, яка адаптується згідно сезонних особливостей, якості зерна та конструктивних особливостей сушарки на основі недетермінованої моделі нечітких множин.

2. Запропоновано алгоритм процедури прийняття рішень для вибору режиму сушіння, що враховує параметри якості зерна та ефективність сушіння зерна.

3. Розроблено спосіб відображення багатопараметричної оцінки на площині у вигляді кола. Правильна форма кола є свідомством того, що процедура керування відповідає цілі, це дозволяє людині підвищити оперативність прийняття рішення з вибору режиму сушіння.

4. Обґрунтовано спосіб інтегрального вимірювання вологості потоку зерна у сушарці шахтного типу ДСП-32 декількома електродами вимірювального перетворювача, що підвищує вірогідність оперативного контролю вологості потоку зерна.

5. Розроблено вимірювальний електрод датчика вологості, що дозволяє розташування електродів вимірювального перетворювача у середині сушарки шахтного типу, таким чином, щоб уникнути можливості накопичення сторонніх речей (рослинні залишки, каміння і т.п.) які вносять помилку до результату контролю вологості потоку зерна.

6. Отримані результати використані для підтримки прийняття рішень при сушінні зерна, при контролі вологості потоку зерна у сушарках шахтного типу на підприємствах ПрАТ “Новомиргородський елеватор” (Кіровоградська область), Прослянська філія ДП Сантрейд (Дніпропетровська область), ВАТ “Лебединський насіннєвий завод” (Черкаська область), ВАТ “Миргородський КХП-2” (Полтавська область) та ін.

Підвищення кількості якісно просушеного зерна досягнуто за рахунок використання інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень сушіння зерна з підсистемою контролю вологості потоку зерна, що дозволило для параметра «вологість після сушіння» зменшити більш ніж у два рази середнє квадратичне відхилення, збільшити з 0,56 до 0,87 відносну тривалість знаходження у заданому допуску (± 1.0 %). Економічний ефект складає 21 000 грн. при сушінні приблизно 5 тис. тон зерна.

7. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» при підготовці магістрів та спеціалістів спеціальностей 8(7).05020201 «Автоматизоване управління технологічними процесами», (7).05020101 «Комп’ютеризовані системи управління та автоматика».

Особистий внесок здобувача в одержаних наукових та практичних результатах, що викладені в дисертаційній роботі.

Наукові положення та результати, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Здобувач брав безпосередню участь у практичних дослідженнях і в роботах з впровадження отриманих результатів, а також самостійно виконав теоретичні дослідження. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві: [1] – у функціональній структурі інтегрованої автоматизованої системи керування комбінатом хлібопродуктів, розроблені функції автоматизованої системи керування технологічним процесом, у тому числі для процесу сушіння зерна; [2] – обґрунтовано метод вимірювання вологості зерна, обґрунтовані параметри що найбільш впливають

на діелектричну проникність зерна; [5] – здобувач обрав методику обробки даних для розрахунку помилки вимірювання вологості потоку зерна у порівнянні зі зразковим методом сушіння до постійної ваги. Відокремив складові економічного ефекту при упровадженні підсистеми контролю вологості потоку зерна; [6] – обґрунтовано використання апарату нечітких множин для моделювання керування сушінням зерна. Обґрунтовані лінгвістичні змінні процесу керування сушінням зерна. Запропонована класифікація параметрів сушіння зерна відповідно до складності вимірювання при сушінні технічними засобами. Надані приклади функцій належності з лінгвістичною відміткою. Розроблено алгоритм навчання процедурі сушіння зерна; [7, 8] – здобувач виконав опис сучасного стану процесу керування сушінням зерна у сушарках шахтного типу. Розроблена структура об'єкта керування. Подані приклади функцій належності з лінгвістичною відміткою. Подана оцінка ефективності керування у числовому та лінгвістичному вигляді; [10, 11] – зроблено аналітичний огляд. Надана параметрична схема об'єкта керування і перелік лінгвістичних змінних, терм-множин, графічна інтерпретація функцій належності. Складена база правил по сушінню зерна пшениці, виконано моделювання, наведені чисельні та аксонометричні уявлення результатів, зроблені висновки;

Автор висловлює щиру подяку за консультативну допомогу д.т.н. В.М. Куваєву, к.т.н. А.В. Просянику і В.Ф. Клабукову.

Апробація результатів досліджень. Основні положення дисертаційної роботи докладались на 4-ій міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи застосування геоінформаційних технологій у гірській справі» (м. Дніпропетровськ, 2002); галузевому семінарі Державної продовольчо-зернової корпорації України (м. Умань – 2013 р.); 19th International Drying Symposium (IDS-2014, м. Ліон, Франція, 2014); Международной научно-технической конференции «Проблемы ресурсо- и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК (ПРЭТ–2014, м. Иваново, Росія, 2014).

Публікації. За результатами наукових досліджень опубліковано 14 друкованих праць, з них 7 у наукових фахових виданнях, 1 стаття в журналі, що входить до наукометричної бази РІНЦ, 3 у збірниках праць науково-технічних конференцій, та 3 патенти України на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації складає 143 сторінки, з яких 9 сторінок містять 4 додатки. Дисертація містить 32 рисунки та 20 таблиць. Список використаних джерел містить 105 найменувань та викладений на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність досліджень, сформульовані мета і задачі досліджень, показано зв'язок з науковими програмами і темами, приведені основні наукові положення й результати які винесені на захист, а також відомості про практичне використання результатів роботи, їх апробацію і публікацію матеріалів досліджень.

У першому розділі проведено аналіз об'єкта керування, методів і моделей, існуючих систем керування, що використовуються для конвективного сушіння зерна у сушарках шахтного типу на підприємствах по збереженню зерна.

У технологічному процесі післязбиральної обробки зерна проаналізовано процес конвективного сушіння зерна у шахтних зерносушарках та виявлені наступні особливості:

- процес сушіння зерна є найбільш енерговитратним;
- поширеним типом сушарок для зерна на підприємствах України є сушарки шахтного типу;
- серед параметрів процесу сушіння зерна найбільш вагомим для ефективного керування, та складним з технічної точки зору є вологість зерна у потоці.

Завданням для сушіння зерна є зниження вологості при збереженні інших якісних показників зерна. У цілому, завдання на сушіння зерна розкладається на критерії для кожного параметра, які наведені у роботі. Для найбільш важливого параметру – «вологість після сушіння» критерій має вигляд:

$$\text{відх. } K_3 B_{вих} = |K_3 B_{вих} - K_3 B_{вих.ц}| \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $\text{відх. } K_3 B_{вих}$ – відхилення параметра «вологість після сушіння» від цільового значення; $K_3 B_{вих.ц}$ – цільове значення параметра «вологість після сушіння»; $K_3 B_{вих}$ – значення параметра «вологість після сушіння».

Проведено аналіз досліджень з обґрунтування періоду контролю значень параметрів для забезпечення оперативного реагування на зміни у процесі сушіння та отримання зерна заданої якості. Найбільш важливий параметр процесу сушіння – вологість зерна після сушіння – контролюється рідше у 3÷18 разів ніж це потрібно за рекомендаціями технологічних досліджень. Це обумовлює необхідність безперервного контролю вологості при автоматизації керування сушінням зерна.

Розглянуто переваги й недоліки різних математичних моделей сушіння зерна. Над підвищенням ефективності керування технологічного процесу сушіння зерна у шахтних сушарках працювали П.М.Платонов, В.І. Жидко, О.С. Бомко, М.В. Остапчук, Г.С. Зеленський, В.І. Алейніков, Т.М. Гросул, В.Д. Камінський, Г.М. Станкевич, В.А. Хобін, М.Т. Степанов, В.Р. Краусп, І.Е. Мільман, Л.В. Колесов, М.М. Андріанов, С.К. Манасян, Q. Zhang, S. Atthajariyakul, Н. Mansor.

Найбільший інтерес для практичного використання виявилася спроба описати керування сушінням зерна у спрощеній моделі нечіткого виводу. Проте, запропонована авторами модель сушіння, яка включала тільки три лінгвістичні змінні, не відобразила процес сушіння зерна на підприємстві, відсутнє обґрунтування ефективності сушіння. У результаті аналізу було обрано напрям створення багатопараметричної моделі на основі нечітких множин, яка найбільш повно враховує параметри, що вимірюються та суб'єктивно оцінюються для визначення ефективності сушіння.

Другий розділ присвячений моделюванню керування сушінням зерна у сушарках шахтного типу за допомогою методу нечітких множин.

Для забезпечення ефективного сушіння зерна співробітники лабораторії якості не ріже ніж кожні дві години відбирають проби зерна на аналіз. Частина параметрів якості зерна визначається за допомогою технічних засобів, а інша частина органолептичним методом. Якість оболонки, колір, запах зерна не вимірюються технічними засобами, а суб'єктивно оцінюються органами почуття. І ці ж якісні параметри використовують досвідчені оператори для керування сушінням зерна(рис.1). Оператор на основі результатів лабораторних аналізів якості зерна (раз у 2 години), показань штатної системи контролю стану обладнання і особистого контролю оцінює стан процесу сушіння. Обмеженість штатної системи контролю параметрів (тільки температура), тривалість лабораторного аналізу (більше години), обумовлюють вибір керуючого впливу оператором на підставі його особистої оцінки та досвіду. Необхідність оцінки стану процесу сушіння з суб'єктивною складовою людини обумовлюють використання нечітких множин для математичного опису.

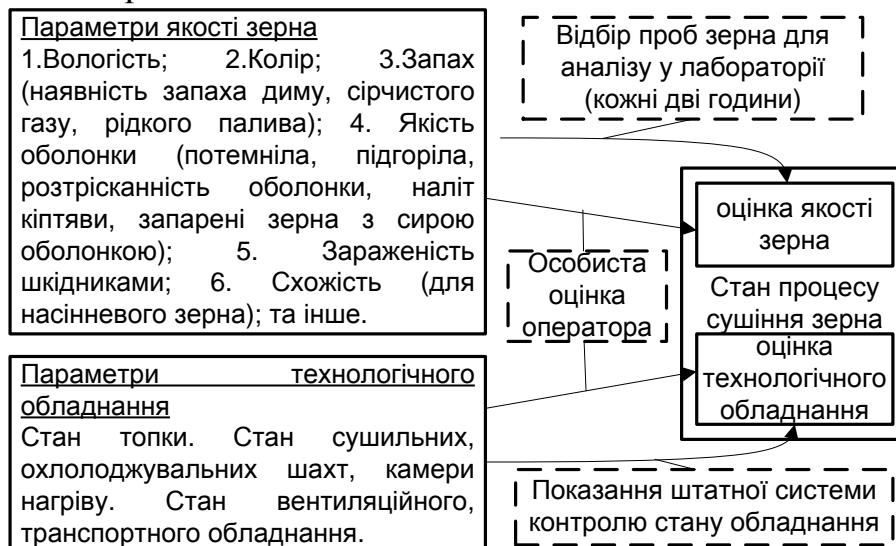


Рис. 1 Структура формування даних про стан процесу сушіння

Розглянуто найбільш поширену шахтну сушарку ДСП, як об'єкт керування. Розподілимо умовно параметри, які характеризують процес сушіння на групи. Збурення що контролюються - параметри що визначають якість матеріалу до сушіння розшифровуються наступним чином: K_3V_{BX} – вологість зерна до сушіння; K_3ZAP_{BX} – запах зерна, тобто наявність запаху диму, сірчистого газу, рідкого палива; $K_3Ц_{BX}$ – колір зерна; $K_3КО_{BX}$ – якість оболонки зерна (потемніла, підгоріла, розтрісканність оболонки, наліт кіптяви, запарені зерна з сирою оболонкою); K_3ZAP_{BX} – зараженість шкідниками; $K_3ПС_{BX}$ – домішка смітна; $K_3ПС1_{BX}$ – домішка смітна, у тому числі, зіпсовані зерна, наявність битих, обвалених зерен, з розкришливим ендоспермом; $K_3ПЗ_{BX}$ – домішка зернова; $K_3Н_{BX}$ – натура; $K_3ККЛ_{BX}$ – кількість сирої клейковини; $K_3ККЧ_{BX}$ – якість клейковини.

Керуючі впливи скорочено позначені: $T_{ар.1}$ – температура сушильного агента на вході до сушильної шахти першої зони; $T_{ар.2}$ – температура

сушильного агента на вході до сушильної шахти другої зони; C_3 – швидкість (витрати) зерна.

Вихідні параметри скорочено позначені: T_3 – температура зерна на виході другої зони нагріву; $T_{з.вих}$ – температура зерна після сушіння; $K_3V_{вих}$ – вологість зерна після сушіння; $відх.K_3ЗАП_{вих}$ – відхилення запаху зерна; $відх.K_3Ц_{вих}$ – відхилення кольору зерна; $відх.K_3КО_{вих}$ – відхилення якості оболонки зерна; $K_3ЗАР_{вих}$ – зараженість шкідниками; $K_3ПС_{вих}$ – домішка смітна; $K_3ПС1_{вих}$ – домішка смітна, у тому числі, зіпсовані зерна; $K_3ПЗ_{вих}$ – домішка зернова; $K_3Н_{вих}$ – натура; $K_3ККл_{вих}$ – кількість сирової клейковини; $K_3ККч_{вих}$ – якість клейковини.

Для оцінки показника ефективності сушіння використано апарат нечітких множин. Для всіх параметрів процесу сушіння запропоновано оцінювати належність до цільового значення. Функція належності параметра являє собою критерій який задає співробітник відповідальний за якість зерна на підприємстві (рис. 2, 3). Для параметра «вологість зерна після сушіння» ($K_3V_{вих}$) цільове значення 14,5 % с відхиленням $\pm 0.5\%$ відповідає ступеню належності 1. Іншим значенням параметра відповідає менший ступень належності до цільового значення. Крім чисельної оцінки ступеню належності, дана лінгвістична оцінка, що містить значення «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно».

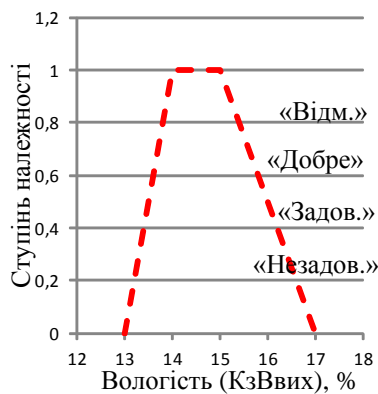


Рис.2. Функція належності параметра «вологість зерна» пшениці після сушіння до цільового значення з лінгвістичною оцінкою ефективності

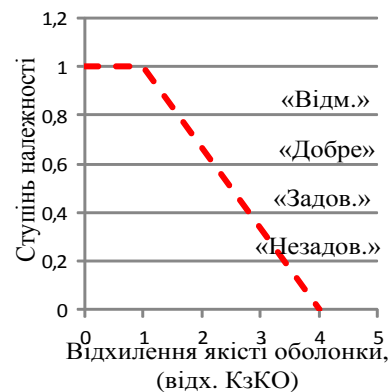


Рис.3. Функція належності параметра «відхилення якості оболонки зерна» пшениці після сушіння до цільового значення з лінгвістичною оцінкою ефективності

Для оцінки відхилення якості оболонки зерна введено лінгвістичні значення, що відкладені по осі абсцис: «відхилення якості оболонки відсутнє» – від 0 до 1, «відхилення якості оболонки одразу не виявляється, але виявляється при ретельному дослідженні (у лабораторії)» – від 1,1 до 2, «відхилення якості оболонки виявляється якщо звернути увагу» – від 2,1 до 3, «відхилення якості оболонки легко виявляється та визиває несхвальний відзив» - від 3,1 до 4, «відхилення якості оболонки звертає на себе увагу» - від 4,1 до 5. Значенню «відхилення якості оболонки після сушіння відсутнє» відповідає ступінь належності 1, також всім значенням ступеню належності дана лінгвістична оцінка (рис. 3).

Оцінка якості зерна після сушіння разом з оцінкою стану технологічного обладнання при сушінні складають оцінку стану процесу сушіння тобто оцінку ефективності. Оцінка ефективності сушіння зерна проводилась двома способами: при однаковій значущості параметрів застосовувалася лінгвістична оцінка (2), при різній значущості параметрів застосовувалася числова оцінка (3). Спосіб оцінки вибірки на основі лінгвістичної оцінки вимагає визначення функції належності для набору параметрів $z_1, z_2, z_3, \dots, z_j$. Потім визначається лінгвістична оцінка вибірки. Для оцінки «відмінно» ступінь належності від 0,81 до 1, для «добре» – $0,61 \div 0,8$, для оцінки «задовільно» – $0,41 \div 0,6$, для оцінки «незадовільно» – $0 \div 0,4$.

$$P(Z) = P(z_1, z_2, z_3, \dots, z_j) = \min\{\mu_1(z_1), \mu_2(z_2), \dots, \mu_j(z_j)\} \quad (2)$$

де $\mu_j(z_j)$ - ступінь належності параметра j до цільового значення, $P(z_1, z_2, z_3, \dots, z_j)$ - функція належності для параметрів $z_1, z_2, z_3, \dots, z_j$. При цьому найкращому результату відповідає максимальне значення $P(Z)$. Такий спосіб оцінки раціонально використати, коли будь який з параметрів однаково впливає на ефективність та погане значення одного не може бути виправлено добрим значенням іншого.

Способом оцінки ефективності керування, при різній значущості параметрів, є сумарне зважене відхилення від еталона.

$$D(Z) = \sum_{j=1}^r \alpha_j \cdot \mu_j(z_{\text{ет}}, z_j),$$

$$\mu_j(z_{\text{ет}}, z_j) = \mu_j(z_{\text{ет}}) - \mu_j(z_j), \quad (3)$$

де α_j - вагові коефіцієнти ознак ($0 \leq \alpha_j \leq 1; \sum \alpha_j = 1$); $\mu_j(z_{\text{ет}})$ - цільова ступінь належності для кожної j – й ознаки, $\mu_j(z_j)$ – ступінь належності для j – й ознаки, $D(Z)$ - оцінка по декількох параметрам. При цьому найкращий результат досягається при найменшому значенні оцінки $D(Z)$. Такий спосіб оцінки раціонально використовувати, коли погане значення одного з параметрів може бути виправлено добрим значенням іншого.

Дані для імітаційного моделювання брались з протоколів сушіння зерна у сушарці ДСП-32 Просянського елеватора. Було відібрано 5 вибірок, кожна з яких відображає сушіння зерна за зміну. Параметри ($T_{\text{аг},1}; T_{\text{аг},2}; T_3; K_3 V_{\text{вих}}; T_{3,\text{вих}}$) вимірювались технічними засобами у сушарці у потоці, надсилалися до комп'ютера для збереження (інтервал 5 хв.) з прив'язкою до часу для протоколу ходу технологічного процесу. Значення інших вихідних параметрів визначались у лабораторії з відібраних на сушарці проб зерна, заносилися до журналу.

Результати багатопараметричної оцінки сушіння зерна подані на площині (рис.4). Центр кола відповідає ступеню належності із значенням 0,2. Чим правильніша форма кола (також, чим більше площа), тим ближче вибірка до цілі керування. Багатопараметрична оцінка ситуації виконана по 15 параметрам. П'ять замкнутих кривих ліній – багатопараметрична оцінка п'яти вибірок (ситуацій). Використовуючи графічне відображення, оператор швидше визначає ситуації, що ближче до цілі керування.

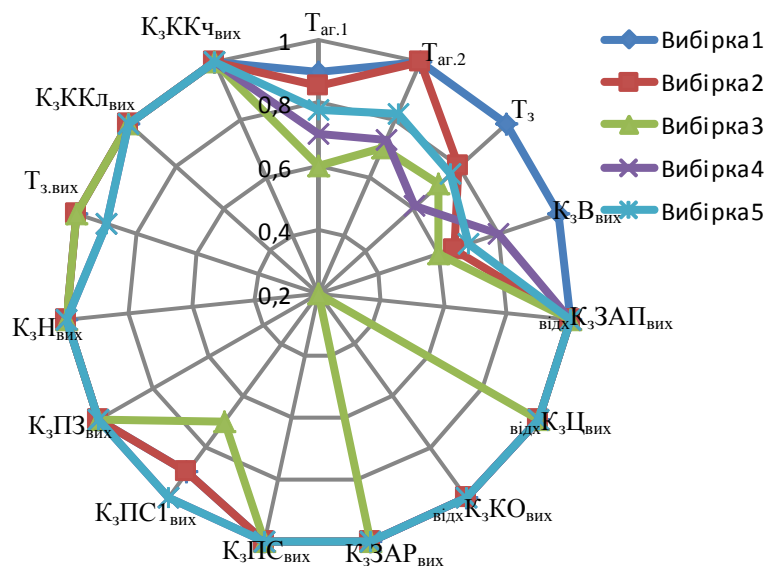


Рис.4. Графічне відображення функцій належності до цільового значення для вибірок (15 параметрів) процесу сушіння зерна

Результати оцінки вибірок зі значеннями керуючих параметрів надані у таблиці 1. Повний опис кожної вибірки, що містить вхідні, вихідні та керуючі параметри, оцінку ефективності, для зберігання у базі знань запропоновано надати у вигляді продукції. Продукція має вигляд: «умови застосування – дія». Оцінка ефективності стає критерієм для зберігання значень параметрів вибірки у базі знань. Оператор на основі значень вхідних збудуючих та цільових параметрів з бази знань вибирає значення керуючих параметрів з найкращою оцінкою ефективності.

Таблиця 1. Результати багатопараметричної ідентифікації

Номер вибірки	Значення керуючих параметрів	Оцінка вибірки	
		Числова оцінка $D(Z)$	Лінгвістична оцінка $P(Z)$
1	Tar,1=108(°C); Tar,2=143(°C); Cz=30(%)	0,01	Відмінно
2	Tar,1=107(°C); Tar,2=131(°C); Cz=35(%)	0,11	Добре
3	Tar,1=134(°C); Tar,2=153(°C); Cz=20(%)	0,27	Незадовільно
4	Tar,1=104(°C); Tar,2=124(°C); Cz=31(%)	0,14	Добре
5	Tar,1=106(°C); Tar,2=126(°C); Cz=29(%)	0,13	Добре

Виконані дослідження дозволили встановити науковий результат: в умовах неповноти інформації для побудови моделі керування сушінням зерна уперше запропоновано взаємозв'язок значень параметрів, які характеризують процес сушіння зерна з ефективністю сушіння, відобразити недетермінованою моделлю на основі нечітких множин. При цьому керування сушінням зерна оцінюється параметрами, що вимірюються та суб'єктивно оцінюються, у тому числі, якість оболонки, колір, запах, а не тільки вологість та температура, що дозволило підвищити ефективність сушіння зерна.

У третьому розділі досліджено вплив температури, вологості на діелектричну проникність зерна у високочастотному діапазоні, проведені дослідження розподілу вологості зерна у шахтній сушарці ДСП-32 при сушінні.

Оперативне прийняття рішення не можливе без рішення задачі оперативного (безперервного) контролю вологості потоку зерна. Сьогодні на всіх підприємствах регламентований метод вимірювання вологості шляхом сушіння до постійної ваги, при цьому час вимірювання складає не менше ніж годину. Застосовуються також портативні вологоміри, які мають наступні недоліки: 1) наявність фактора людини, який може проявитися у несвоєчасності вимірювання вологості зерна; 2) відібрана проба може характеризувати не потік зерна, а лише ту частину, яка поміщається у портативний вологомір. Обидва способи вимірювання вологості ставлять в залежність ефективність сушіння від кваліфікації оператора.

Для рішення задачі оперативного контролю вологості потоку зерна при сушінні було розроблено план активного експерименту. Лабораторні дослідження діелектричної проникності від вологості та температури показали, що залежність діелектричної проникності зерна пшениці від температури різна при різних значеннях вологості (рис.5).

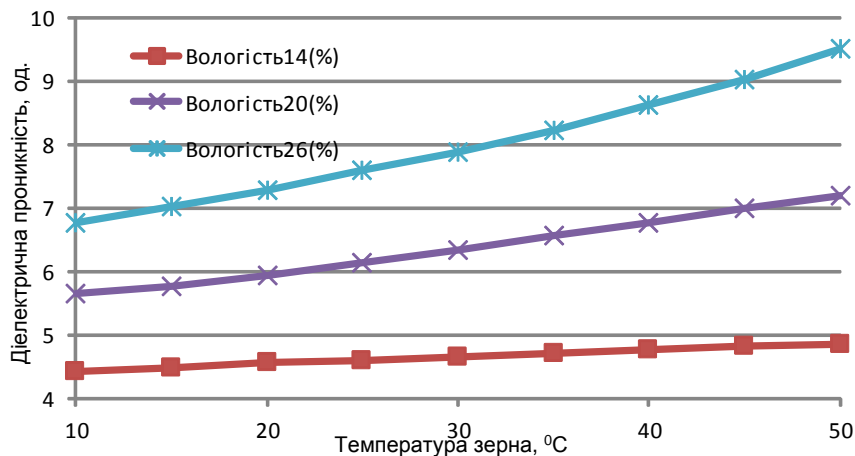


Рис. 5. Залежність діелектричної проникності від температури та вологості для зерна пшениці.

Вплив температури (Т) на діелектричну проникність(ε) при різній вологості можна виразити за допомогою системи аналітичних залежностей (4).

$$\begin{aligned} \varepsilon|_{14} &= k_{1.1}T + k_{0.1}; \\ \varepsilon|_{20} &= k_{1.2}T + k_{0.2}; \\ \varepsilon|_{26} &= k_{2.3}T^2 + k_{1.3}T + k_{0.3}. \end{aligned} \quad (4)$$

Перевірка адекватності моделі по F – критерію показала, що модель адекватна на рівні значущості $\alpha=0,05$.

На основі системи аналітичних залежностей розроблено метод компенсації впливу температури зерна в діапазоні від 10 °C до 50 °C на діелектричну проникність зерна. Застосовуючи метод компенсації впливу температури на діелектричну проникність до системи рівнянь (4), одержуємо наступне рівняння:

$$\varepsilon_{T_0} = m_2 \cdot \varepsilon_T^2 + m_1 \cdot \varepsilon_T + m_0, \quad (5)$$

де ε_{T_0} – значення діелектричної проникності при температурі $T_0=20$ °C; ε_T – значення діелектричної проникності при температурі $T = 10 - 50$ °C.

Залежність (5) дозволяє компенсувати вплив температури зерна на діелектричну проникність ε_T зерна пшениці. Отримані значення діелектричної проникності приведені до температури $T_0=20^{\circ}\text{C}$ для даної культури, потім використовуються для розрахунку значення вологості зерна за допомогою залежності (6)

$$KзВ = k_1 \cdot \varepsilon_{T_0} + k_0, \quad (6)$$

де $KзВ$ – вологість зерна; ε_{T_0} – значення діелектричної проникності при температурі $T_0=20^{\circ}\text{C}$.

Це дозволило сформулювати науковий результат: залежності діелектричної проникності від вологості та температури зерна пшениці апроксимуються поліномами першого та другого ступеня, при цьому забезпечується безперервність значень параметрів вологості та температури, що характеризує процес сушіння.

Проведено дослідження розподілу вологості потоку зерна на виході двоступінчастої зерносушарки шахтного типу ДСП-32. Виявлена нерівномірність розподілу вологості потоку зерна у корпусі шахти сушарки, а також між шахтами сушарки. За допомогою методів математичної статистики визначено, що ймовірність значення вологості потоку зерна між шахтами знаходиться в інтервалі $1.0 < \Delta KзВ < 3.5$ і дорівнює 0,95. Це обґрунтовує для вірогідного вимірювання вологості потоку зерна розміщувати електроди вимірювального перетворювача вологості у обох шахтах сушарки.

У четвертому розділі розглянуте питання технічної реалізації системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні сушінням зерна в умовах невизначеності; розроблена структура комплексу технічних засобів з автоматизації сушіння зерна, алгоритм вибору режиму сушіння з використанням оцінки ефективності у числовому, лінгвістичному вигляді; розроблена підсистема контролю вологості потоку зерна, розроблено вимірювальний електрод датчика вологості сипучих матеріалів; в умовах підприємства проведені випробування, надана оцінка економічного ефекту.

На основі результатів досліджень розроблена структура комплексу технічних засобів системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень сушіння зерна, яку показано на рис.6.

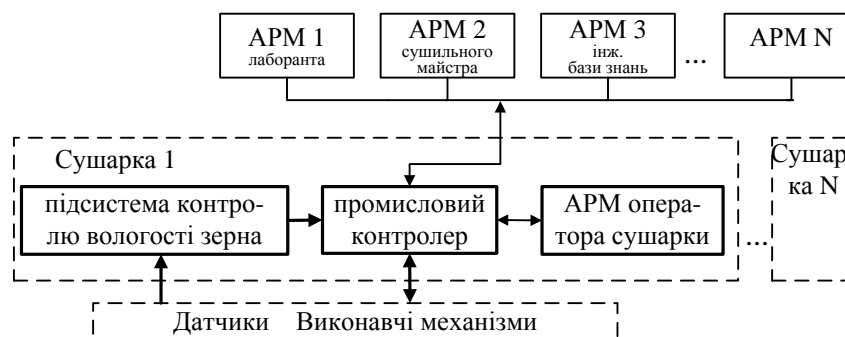


Рис. 6. Структура комплексу технічних засобів з автоматизації сушіння зерна

Розроблена структура містить на верхньому рівні комп'ютерну мережу з автоматизованими робочими місцями (АРМ) відповідальних співробітників за технологічний процес на підприємстві, базою знань. На нижньому рівні

розташовано промисловий контролер, до якого підключена підсистема контролю вологості зерна та температури. Передбачено два режими роботи системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень: навчання та підтримка прийняття рішень. При роботі у режимі навчання система оцінює ефективність процесу керування сушінням зерна. Типові правила (режими) сушіння формуються з врахуванням багатопараметричної оцінки ефективності керування та зберігаються у базі знань у вигляді продукцій. Передбачається, що на підприємстві для однієї зернової культури продукційна база знань містить декілька десятків продукцій. Збереження значень керуючих впливів (у режимі навчання) з оцінкою ефективності, спрощує поширення розробленої недетермінованої моделі нечітких множин на множину сушарок одного типу. Нижче надано приклад продукції зі слотів, які містять значення параметрів для недетермінованої моделі керування сушінням зерна.

Якщо [тип сушарки < ДСП, прямоточна >; культура<Пшениця>, призначення після сушіння <зберігання до 1 року>];

[якість зерна на вході: початкова вологість зерна < 18 %>, якість клейковини <від 45 до 75 одиниць ІДК>, якість/стан оболонки зерна<норма>, колір зерна <норма>, запах зерна<запах не відчувається, норма>, зараженість<норма>, домішка смітна <до 5%>, домішка зернова <до 5%>, натура<765 г/л>, температура зерна<20 °C>];

[цільові значення технологічних параметрів: межова температура нагріву зерна <50 °C>; межова температура агенту сушіння при двохступінчатому режимі зона 1 <130 °C>, зона 2 <150 °C>;

цільові значення якості зерна після сушіння: вологість < 14% $\leq (K_3 V_{\text{вих}})_{\text{ц}} \leq 15\%$ >, якість/стан оболонки зерна <норма>, колір зерна <норма>, запах зерна<запах не відчувається, норма>, зараженість<норма>, домішка смітна <до 5%>, домішка зернова <до 5%>, натура<765 г/л>, температура зерна<20 °C>].

То значення керуючих впливів: [температура агенту сушіння при двохступінчастому режимі зона 1 <108 °C>, зона 2 <143 °C>; витрати зерна < 30%>], Оцінка $P(Z)$ < відміно>, $D(Z)$ < 0.01>.

При роботі у режимі підтримки прийняття рішень, режим сушіння обирається оператором після вибору значень контролюємих параметрів режиму сушіння (найбільш важливими є зернова культура, вологість та температура зерна до сушіння, температура, вологість повітря, якість клейковини для пшениці і т.п.), цілових параметрів режиму сушіння (найбільш важливими є вологість після сушіння, температура нагрівання зерна і т.п.), цілової оцінки ефективності сушіння зерна у числовому та лінгвістичному вигляді. Спрощений алгоритм процедури вибору режиму сушіння подано на рис.7. Алгоритм дозволяє множину ситуацій процесу сушіння звести до меншої множини типових ситуацій використовуючи методу ситуаційного керування.

Розроблено вимірювальний електрод датчика вологості сипучих матеріалів для контролю вологості потоку зерна у шахтній сушарці, зондового типу (рис. 8). Перетворювач складається з вимірювального електроду(4), утримувача(1), ізолюючої пластини (3), охоронних електродів (2).

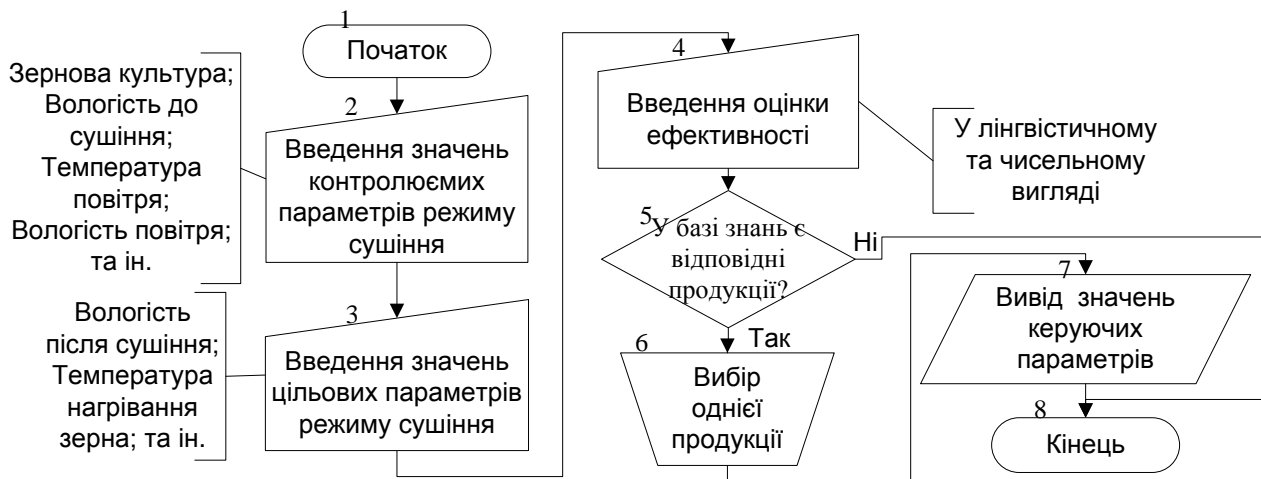


Рис. 7. Спрощений алгоритм процедури вибору режиму сушіння із бази знань

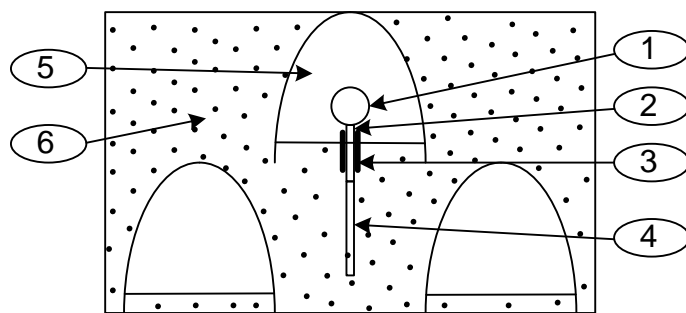


Рис. 8. Вимірювальний електрод датчика вологості сипучих матеріалів у потоці:
1– утримувач; 2– охоронні електроди; 3 – ізолююча пластина; 4 – вимірювальний електрод; 5 – короб сушарки; 6 – зерно

Розроблена конструкція вимірювального електроду, яка дозволяє розташування електродів вимірювального перетворювача у середині сушарки шахтного типу, таким чином, щоб уникнути можливості накопичення сторонніх речей (рослинні залишки, каміння і т.п.) які вносять помилку до результату контролю вологості потоку зерна.

Вимірювальний електрод (4) датчика вологості сипучого матеріалу у потоці підключається до вторинного перетворювача. З вторинного перетворювача на вимірювальний електрод (4) розташований всередині сушарці, подається високочастотний електричний сигнал. Ємність вимірювального електроду(4), змінюється в залежності від діелектричної проникливості сипучого матеріалу, яка є функцією вологості, температури, хімічного, гранулометричного складів. При цьому, на охоронні електроди (2) подається високочастотний сигнал, який рівний сигналу на вимірювальному електроді (4), що виключає вплив утримувача(1) на результат вимірювання вологості.

Результати промислового дослідження розробленої підсистеми контролю вологості при сушінні пшениці проводилися у порівнянні з зразковим методом висушування до постійної ваги відповідно до ГОСТ 135865-93. Для визначення помилки вимірювання вологості потоку зерна датчик вологості сипучих матеріалів підсистеми контролю вологості (ПКВ) встановлювався в зоні

охолодження шахтної сушарки. Проби зерна для виміру вологості в лабораторних умовах зразковим методом (Лаб.) відбиралися на виході сушарки. Результати промислового випробування підсистеми контролю вологості потоку зерна у шахтній сушарці подані на рис. 9, де t – час, $K_3V(\text{ПКВ})$ – показники вологості зерна, отримані ПКВ, $K_3V(\text{Лаб})$ – показники вологості зерна, які отримані в лабораторних умовах зразковим методом.

$$\Delta K_3V = K_3V(\text{ПКВ}) - K_3V(\text{Лаб}) \quad (7)$$

За допомогою методів математичної статистики визначено, що ймовірність відхилення (ΔK_3V) параметру «вологість зерна після сушіння», що не перевищує ± 0.5 (%), дорівнюється $P(|\Delta K_3V| < 0.5) = 0,94$.

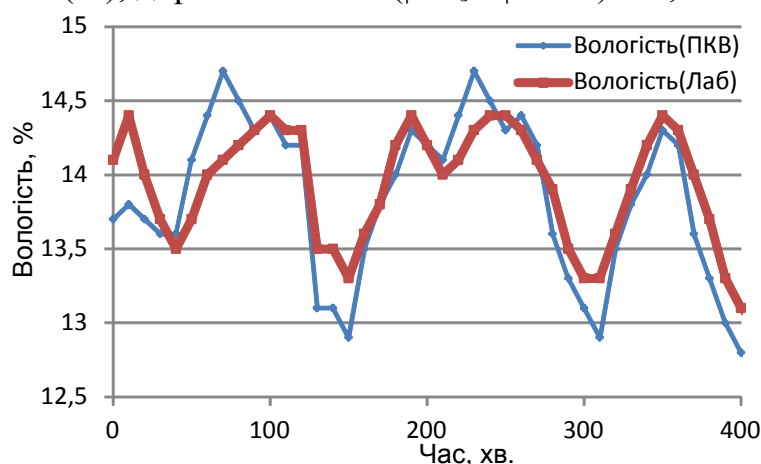


Рис. 9. Оцінка помилки вимірювання вологості потоку зерна у порівнянні з лабораторним(зразковим) методом

Дослідна експлуатація системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень з підсистемою контролю вологості потоку зерна підвищило ефективність (якість) сушіння, кількість якісно просушеного зерна. Для параметра «вологість після сушіння» зменшено більш ніж у два рази середнє квадратичне відхилення, збільшено з 0,56 до 0,87 відносно тривалість знаходження у заданому допуску (± 1.0 %). Отримано економічний ефект 21 000 грн. за рік, підтверджений актами впроваджень.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій вирішена актуальна наукова задача визначення взаємозв'язку значень параметрів процесу сушіння з якісними показниками зерна в умовах неможливості застосування детермінованої або ймовірнісної моделі, за рахунок вперше отриманої недетермінованої моделі, яка враховує апостеріорні значення параметрів, що контролюються при сушіння зерна на підприємстві у відповідності з нормативною документацією, в том числі, такі параметри як якість оболонки, колір, запах; розвитку методу оцінки ефективності процесу керування сушіння зерна шляхом оцінки параметрів, що вимірюються та суб'єктивно оцінюються у лінгвістичному та чисельному вигляді на основі нечітких множин; удосконалених залежностей, що зв'язують діелектричну проникність з

вологістю, температурою зерна пшениці і апроксимуються поліномами першого та другого ступеня регресійної моделі, реалізованих у системі інтелектуальної підтримки прийняття рішень при сушінні зерна, що підвищило ефективність сушіння зерна, кількість якісно просушеного зерна.

Наукові результати і технічні пропозиції з автоматизованого керування сушінням зерна підтверджені експлуатацією реалізованих систем.

Виконані у дисертаційній роботі дослідження дозволяють сформулювати висновки:

1. В умовах невизначеності, на прикладі сушіння зерна, прийняття рішення з вибору значень керуючих впливів забезпечується інтелектуальною системою підтримки прийняття рішень на основі моделі нечітких множин та підсистеми контролю вологості потоку зерна на основі регресійної моделі що підвищує ефективність, кількість якісно просушеного зерна.

2. Розроблено метод оцінки ефективності процесу керування сушінням зерна, це дозволяє враховувати параметри, що вимірюються та суб'єктивно оцінюються згідно нормативних документів процесу сушіння зерна, у тому числі, якість оболонки, колір, запах зерна. Це дозволяє використовувати критерій ефективності (один параметр) для автоматизації навчання, вибору режиму сушіння в системі інтелектуальної підтримки прийняття рішень, що дозволяє більш швидко виконувати обробку даних, приймати рішення щодо вибору значень керуючих впливів в умовах невизначеності.

3. Розроблена недетермінована багатопараметрична математична модель сушіння зерна на основі нечітких множин, використовує оцінку ефективності сушіння. Вона розширюється у відповідності з призначенням зерна, керуючими нормативними документами та містить апостеріорні значення параметрів, що дозволяє спростити ідентифікацію управління сушінням зерна.

4. Розроблена імітаційна модель нечіткого виводу згідно алгоритму І.Мамдані на прикладі сушіння зерна пшениці у сушарці ДСП-32. Ця модель, на відміну від існуючих, використовує сумісно з вологістю апіорні значення якісних параметрів, які необхідні для врахування на заготівельному підприємстві, у тому числі, якість оболонки, колір, запах зерна, це дозволяє більш повно, для умов виробництва, прогнозувати значення вихідних параметрів процесу сушіння.

5. Розроблена регресійна модель впливу вологості та температури зерна пшениці на діелектричну проникність (адекватна по F – критерію на рівні значущості 0,05), що підвищує оперативність контролю вологості потоку зерна для умов сушіння зерна у сушарках шахтного типу.

6. Дослідна експлуатація системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень сушіння зерна з підсистемою контролю вологості потоку зерна підвищила ефективність сушіння, кількість якісно просушеного зерна. Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах ПрАТ “Новомиргородський елеватор” (Кіровоградська область), Просяньська філія ДП Сантрейд (Дніпропетровська область), ВАТ ”Лебединський насінневий завод” (Черкаська область), ВАТ “Миргородський КХП-2” (Полтавська область) та ін. Для параметра «вологість після сушіння» зменшено

більш ніж у два рази середнє квадратичне відхилення, збільшено з 0,56 до 0,87 відносну тривалість знаходження у заданому допуску ($\pm 1.0\%$). Отримано економічний ефект 21 000 грн. за рік, підтверджений актами впроваджень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Просянык А.В. От локальных задач автоматизации к интегрированной АСУ комбината хлебопродуктов / А.В. Просянык, К.В. Соснин, В.Ф. Клабуков, П.И. Мельниченко // Хранение и переработка зерна. – 2002. – №4(34). – с.43–46.

2. Просянык А. В. Влагомер зерна в потоке – мал золотник, да дорог / Просянык А. В., Клабуков В.Ф., Соснин К.В. // Хранение и переработка зерна.– 2002. – №8(38).– с.44-46.

3. Соснин К. В. Проблемы и перспективы контроля влажности сыпучих материалов в потоке / Соснин К.В. // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003.-№17.-том2.– с. 321-324.

4. Соснин К. В. Алгоритмизация технологического процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках / Соснин К. В. // Конструювання, виробництво, експлуатація сільськогосподарських машин. Випуск №33. – Кіровоград КДТУ, 2003. – с. 168-175.

5. Просянык А. В. Влагометрическая подсистема зерна в потоке (результаты опытной эксплуатации) / А. В. Просянык, В. Ф. Клабуков, К. В. Соснин // Хранение и переработка зерна. – 2003. – №10(52) – с.44-46.

6. Соснин К.В. Автоматизация процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках на основе теории нечетких множеств / Соснин К.В., Просянык А.В. // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – №36, т.2. – с. 179–186.

7. Ткачев В.В. Моделирование управления сушкой зерна в шахтной зерносушилке / В.В. Ткачев, К.В. Соснин. // Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2014. – Вип. 46. – Том.1. – с. 223-229.

8. Ткачев В.В. Результаты моделирования управления сушкой зерна в шахтной сушилке. / В.В. Ткачев, К.В. Соснин // Ползуновский альманах. – АГТУ, 2014. – №2. – с. 87–92. (*Входить до наукометричної бази російського індексу наукового цитування (РІНЦ)*)

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Соснин К.В. Автоматизированная система контроля влажности сырья горно-металлургического комплекса / Соснин К.В.// Проблемы и перспективы применения геоинформационных технологий в горном деле. Доклады IV Международной научно-практической конференции. 7-9 октября 2002 г. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2002. – с. 95–97.

10. Sosnin K. Multiobjective identification of convecting drying of grain based on fuzzy sets / K. Sosnin, V. Tkachev, S.Us, M. Taradaichenko // Proceedings of the 19th International Drying Symposium, August 24-27, 2014. : Lyon, France. – (ISBN:978-2-7598-1631-6).

11. Ткачев В.В. Идентификация управления сушкой зерна в шахтных зерносушилках на основе нечетких множеств / В.В. Ткачев, С.А. Ус, К.В. Соснин // Международная научно-техническая конференция «Проблемы

ресурсо – и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК» (ПРЭТ-2014) (23-26 сентября 2014, Иваново, Россия): сборник трудов (секционные доклады) / Ивановский государственный химико-технологический университет. – Иваново, 2014. – с. 121-128. – (ISBN 978-5-9619-0492-4).

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

12. Пат. 66180 Україна, G 01 N 25/56. Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / В.Ф. Клабуков, К.В. Соснін, А.В. Просяник; власник ТОВ «Агропромавтоматизація». – 2003087532; заявл. 11.08.2003; опубл. 15.04.2004, Бюл. №4. – 2с. : іл.

13. Пат. 18777 Україна, МПК(2006) G 01 N 25/56. Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / В.Ф. Клабуков, К.В. Соснін, А.В. Просяник; власник ТОВ «Агропромавтоматизація». – u200506496; заявл. 01.07.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. №1. – 2с. : іл.

14. Пат 79660 Україна, МПК(2006), G 01 N 25/56, G 01 N 25/60. Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / В.Ф. Клабуков, К.В. Соснін, А.В. Просяник; власник ТОВ «Агропромавтоматизація». – a200506495 заявл. 01.07.2005, опубл. 10.07.2007, Бюл. №10. – 2с. : іл.

АНОТАЦІЯ

Соснін К.В. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні сушінням зерна. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування – Кіровоградський національний технічний університет МОН України, Кіровоград, 2015.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова задача визначення взаємозв'язку значень параметрів процесу сушіння з якісними показниками зерна в умовах неможливості застосування детермінованої або ймовірнісної моделі. Підвищена ефективність, кількість якісно просушеного зерна за рахунок вибору значень керуючих впливів за допомогою системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень, з підсистемою контролю вологості потоку зерна.

Проведено аналіз об'єкта керування, методів і моделей, що використовуються при керуванні сушінням зерна у сушарках шахтного типу. Побудована модель керування сушінням зерна на основі нечітких множин, де критерій ефективності враховує якісні параметри зерна, що вимірюються та суб'єктивно оцінюються, в тому числі, якість оболонки, колір та запах зерна. На основі експериментальних даних отримана регресійна модель, що пов'язує діелектричну проникність з вологістю та температурою зерна пшениці, апроксимується поліномами першого та другого ступеня, при цьому забезпечується непереривність значень параметрів у інтервалах характерних для сушіння зерна у сушарках шахтного типу.

Проведене впровадження підвищило ефективність сушіння, кількість якісно просушеного зерна у сушарках шахтного типу.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, нечіткі множини, функція належності, сушарка шахтного типу, вологість зерна, ефективність сушіння.

АННОТАЦІЯ

Соснин К.В. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при управленні сушкою зерна. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления – Кировоградский национальный технический университет Министерства образования и науки Украины, Кировоград, 2015.

В диссертационной работе решена задача выявления взаимосвязи значений параметров процесса сушки зерна с качественными показателями зерна в условиях невозможности использования недетермированной или вероятностной модели. Повышена эффективность, количество качественно высушенного зерна за счет выбора значений управляющих воздействий с помощью системы интеллектуальной поддержки принятия решений, включающей подсистему контроля влажности потока зерна.

Проведен анализ объекта управления, методов и моделей, используемых при управлении сушкой зерна в сушилках шахтного типа. Сформулирован критерий управления для сушки зерна. Выполнен анализ исследований периодичности контроля параметров для обеспечения оперативного реагирования на изменения процесса сушки и получения зерна заданного качества. Обоснован оперативный (непрерывный) контроль влажности потока зерна. Выполнен анализ методов контроля влажности сыпучих материалов. Рассмотрены преимущества и недостатки разных математических моделей сушки зерна. Обосновано создание многопараметрической модели на основе нечетких множеств, которая наиболее полно учитывает измеряемые и субъективно оцениваемые параметры для определения эффективности управления сушкой зерна.

Выполнено моделирование управления сушкой зерна, используя априорные и апостериорные данные.

Определены значения параметров модели управления процессом сушки зерна в шахтных зерносушилках методом идентификации на основании апостериорных данных. Модель управления процессом сушки основывается на функции принадлежности и учитывает параметры, в том числе, не измеряемые техническими средствами: цвет, запах, качество оболочки и т.д. Оценка эффективности управления сушкой зерна представлена в числовом и лингвистическом виде.

Выполнено моделирование управления сушкой зерна в шахтной сушилке при помощи процедуры нечеткого вывода Е. Мамдани. Знания оператора – априорные данные, представлены в виде набора правил. Модель управления учитывает параметры качества зерна, в том числе не измеряемые техническими средствами: цвет зерна, запах зерна, качество оболочки зерна.

Разработана регрессионная модель влияния влажности и температуры зерна пшеницы на диэлектрическую проницаемость, что позволяет повысить оперативность контроля влажности потока зерна в зерносушилках шахтного типа.

Разработана система интеллектуальной поддержки принятия решений, которая адаптируется в соответствии с сезонными особенностями, качеством зерна и конструктивными особенностями шахтной сушилки на основе недетерминированной модели нечетких множеств. Предложен алгоритм процедуры принятия решений для выбора режима сушки, который учитывает параметры качества зерна, оценку эффективности сушки.

Выполненное внедрение повысило эффективность сушки зерна, количество качественного высушенного зерна в сушилках шахтного типа.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, нечеткие множества, функция принадлежности, сушилка шахтного типа, влажность зерна, эффективность сушки зерна.

THE SUMMARY

Sosnin K.V. Intellectual decision support system for grain drying control.
– Manuscript.

The thesis for scientific degree of the Candidate of Technical sciences in speciality 05.13.07 – Control processes automation – Ukraine Ministry of Education and Science Kirovograd National Technical University, Kirovograd, 2015.

The thesis deals with topical scientific problem of determination of interrelation between parameters of the drying process and grain quality parameters in conditions of impossibility of application deterministic or probabilistic models. There were increased the effectiveness and the amount of qualitatively dried grain by selecting values of control actions with the help of system of intellectual decision-making support with subsystem of humidity control of grain flow.

There was carried out the analysis of control object, of methods and models that are used to control grain drying in shaft dryers. The model of grain drying control was based on fuzzy sets where the criterion of effectiveness includes grain quality parameters which are measured subjectively as well as shell quality, color and grain smell. The regression model was obtained on the basis of experimental data that link the dielectric constant with humidity and temperature of the wheat, and approximated by polynomials of the first and second degrees, thus continuity of parameter values is ensured in the range that is typical for grain drying in shaft type dryer.

Carried out implementation increased the effectiveness of drying process and the number of high quality dried grain in shaft type dryers.

Keywords: decision support system, fuzzy sets, membership function, shaft type grain dryer, grain moisture, effectiveness of grain drying.

СОСНІН Костянтин Володимирович

**СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ КЕРУВАННІ СУШІННЯМ ЗЕРНА**

(Автореферат)

Підписано до друку 01.09.2015. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Надруковано на приватному підприємстві «Постер принт»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру А01 № 056966 від 03.12.2009
49000, м. Дніпропетровськ, вул. Перемоги, буд. 204, кв.9