

УДК 631.365;681.542.4

МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА В ШАХТНІЙ СУШАРЦІ

М.І.Липунов, ст. наук. співр., С.В.Лобанов, інж.,
П.О.Косик, зав. сектору
ННЦ «ІМЕСГ»

Обґрунтовано метод оптимізації параметрів системи автоматичного регулювання вологості і температури зерна в шахтних сушарках з використанням імітаційного прогнозування зміни вологості та температури зерна в режимі реального часу.

Ключові слова: шахтна сушарка, зерно, вологість, температура, регулювання, енергозбереження.

Проблема. Частина зібраного врожаю зерна підлягає сушінню. Зменшення вологості 1 т зерна на 1% коштує понад 12 грн. [1]. При ручному управлінні режимами роботи шахтних зерносушарок зерно, звичайно, пересушують на 1-3% (з метою запобігання надходженню недосушеного зерна на зберігання). На теперішній час в Україні експлуатуються тисячі шахтних зерносушарок [2], які потребують оснащення системою автоматичного регулювання вологості зерна, що дозволить підвищити ефективність роботи обладнання, зменшити енерговитрати та поліпшити якість готової продукції. Шахтна зерносушарка є складним об'єктом управління з розподіленими параметрами. Оператор, який, згідно інструкцій, приймає рішення про режим сушіння, користується своїм досвідом та інтуїцією. Невисока ефективність інтуїтивного управління пояснюється тим, що причини та наслідки в складних системах розподілені в часі і просторі, тому оператору важко передбачити результат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для створення системи автоматичного управління недостатньо звичайне використання сучасних комп'ютерів та контролерів. Тому багаторічні дослідження процесів сушіння зерна з метою їх оптимізації [3-5] досі не знайшли застосування для автоматичного управління вітчизняними зерносушарками, а управління зводиться до стабілізації температурного режиму [6-7].

© М.І.Липунов, С.В.Лобанов, П.О.Косик.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 96. 2012.

Розвиток комп'ютерних та інформаційних технологій якісно змінює підходи до розробки систем автоматичного регулювання, розширює їх функціональні і експлуатаційні можливості.

Мета досліджень. Обґрунтувати метод автоматичного регулювання вологості і температури зерна в шахтній сушарці з урахуванням агротехнічних обмежень керуючих впливів на агрегати транспортування зерна та нагріву теплоносія.

Результати досліджень. В процесі сушіння зерна спостерігаються непередбачувані зміни властивостей сировини та параметрів збурюючих впливів на технологічні властивості об'єкта управління, тому якість регулювання підвищують використанням принципу адаптації. Основу алгоритмів адаптації складає отримання змінних у часі характеристик об'єкта, які зв'язані з його параметрами, та налаштування регулюючих пристроїв, при яких властивості замкненої системи підтримуються незмінними або близькими до потрібних. Контуру адаптації здійснює ідентифікацію об'єкта, розрахунок параметрів динамічних налаштувань системи управління, їх встановлення та коригування з урахуванням параметрів об'єкта та засобів автоматизації.

Функції контуру адаптації може виконувати імітаційна модель процесу сушіння зерна в режимі реального часу. Алгоритм роботи імітаційної моделі (рис. 1) відображає взаємодію параметрів вологості зерна на вході та виході з сушарки при регулюванні інтервалу часу між випусками порцій зерна та обмеженні температури максимального нагріву зерна, визначає продуктивність шахтної зерносушарки та маршрут руху порцій просушеного зерна [8]. В схемі алгоритму використано наступні позначення: t_E – час перебування зерна в сушильній камері (с); t_B – інтервал часу між включеннями випускного механізму (с); t_{TB} – поточне значення таймера витримки інтервалу t_B (с); t_{II} – поточне значення поправки для інтервалу t_B (с); Δt – квант дискретизації t_{II} (с); τ_{CA} , τ_T , τ_W – задані інтервали часу (с) між опитуваннями регуляторів відповідно: температури сушильного агента, температури зерна, вологості зерна; t_{zCA} , t_{zW} , t_{zT} – поточні значення (с) таймерів затримки опитування регуляторів відповідно: температури сушильного агента, вологості зерна, температури зерна; W_K , W_{II} , W_B – вологість зерна (%) відповідно: кондиційна, початкова, вихідна; ΔW – розрахункове зменшення вологості зерна ($\Delta W = W_{II} - W_K$); T_{CA} , T_z – поточна температура сушильного агента і зерна ($^{\circ}\text{C}$); $\max t_B$, $\max T_z$, $\max T_{CA}$, $\max t_E$ – максимально допустимі значення для параметрів відповідно: t_B , T_z , T_{CA} , t_E ; Q_T – поточне значення витрат пального теплогенератором (M^3/c); ΔQ_T –

квант дискретизації Q_T (m^3/c). Алгоритм передбачає: подачу зерна на вхід сушильної камери шахтної сушарки, в якій зерно під дією гравітації переміщується до випускного апарата, що встановлений на виході шахтної сушарки; вимірювання температури зерна на вході в сушильну камеру; направлення сушильного агента крізь зерно в сушильній камері; вимірювання температури сушильного агента; вимірювання вологості та температури зерна на виході з сушильної камери; регулювання температури зерна в сушильній камері шляхом зміни температури сушильного агента. Регулювання експозиції сушіння зернової маси здійснюється шляхом зміни режиму роботи випускного апарата. В результаті порівняння вологості зерна на виході з сушильної камери з кондиційною вологістю, відбувається направлення зерна кондиційної вологості у бункер готової продукції, а недосушеного зерна – на рециркуляцію. За результатами вимірювань вологості зерна на вході в сушильну камеру шахтної сушарки і за результатами вимірювань температури зерна на вході в сушильну камеру, проводять прогнозування параметрів вологостей та температур по висоті сушильної камери з урахуванням поточних параметрів температури сушильного агента та продуктивності сушарки.

Вимірювання вологості та температури зерна безпосередньо перед завантаженням в сушильну камеру шахтної сушарки дозволяє, використовуючи параметри сушильної камери та технологічного процесу, забезпечити прогнозування зміни цих параметрів в процесі руху зерна в сушильній камері від входу до виходу. Порівняння максимального значення прогнозованих кінцевих вологостей зерна з величиною кондиційної вологості зерна дозволяє визначити необхідну зміну продуктивності шахтної сушарки. Порівняння максимального значення прогнозованих кінцевих температур зерна з заданою величиною температури зерна дозволяє визначити необхідну зміну температури сушильного агента з метою виключення перегріву окремих зернових мас. Вимірювання вологості та температури зерна безпосередньо при виході із сушильної камери дозволяє, у випадку відхилення кінцевої вологості або температури від заданого значення, здійснювати корегування достовірності прогнозів вологості та температури зерна за висотою сушильної камери. Прогнозування зміни вологості та температури зерна на початку процесу сушіння дають можливість зменшити транспортне запізнення в каналах управління експозицією сушіння та управління температурою сушильного агента, що ефективно знижує дисперсію вологості зерна на виході з сушарки, забезпечує стійкість

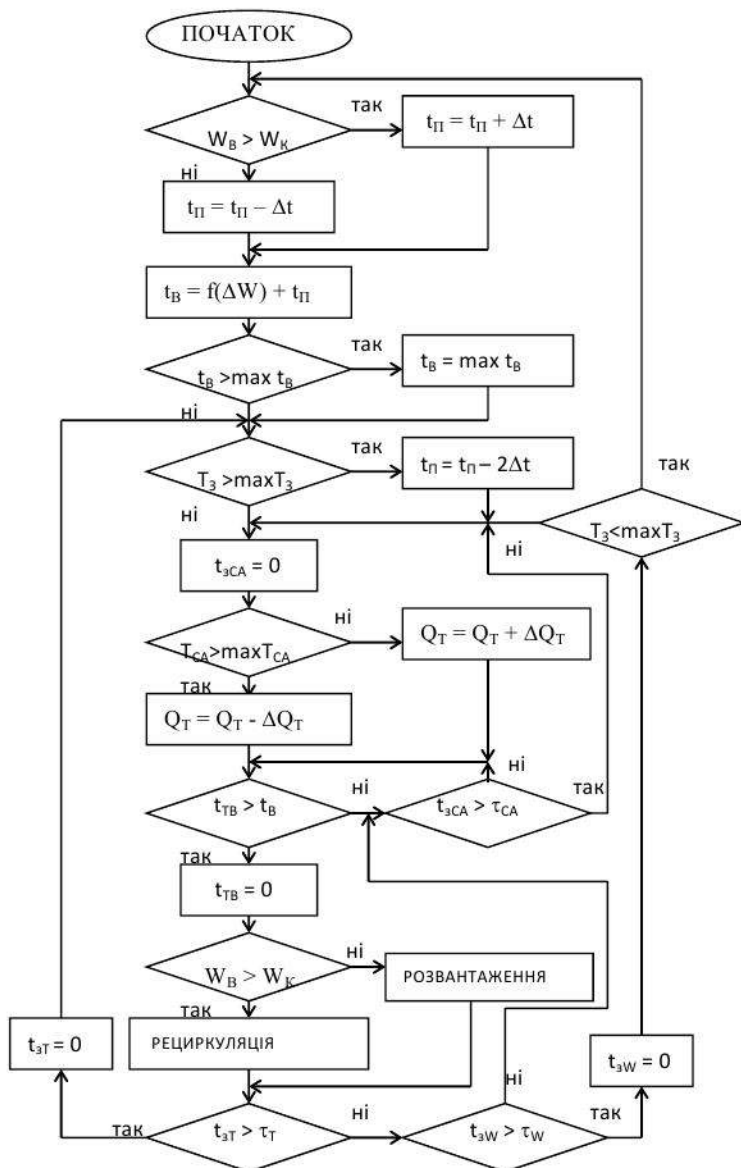


Рис. 1. Алгоритм роботи імітаційної моделі процесу сушіння зерна в шахтній сушарці

системи управління, поліпшує якість сушіння зерна, зменшує обсяг рециркуляції зерна, підвищує продуктивність сушарки та зменшує її енерговитрати за рахунок мінімізації перерегулювання максимальної температури нагріву зерна і вологості готового продукту.

В залежності від поточного становища параметрів процесу реалізується відповідний механізм подій: порівняння поточного значення параметра вологості з величиною, яка задана; корекція поточного значення поправки для інтервалу часу між включеннями випускного механізму; обчислення діючої величини інтервалу часу між включеннями випускного механізму; слідування за виконанням умов технологічних обмежень крайніх параметрів; організація роботи таймерів затримок для синхронізації циклів та погодження дій; активізування наступних ітерацій після ідентифікації вхідних відліків, їх фільтрації та масштабування.

На рисунку 2 приведена схема, яка пояснює метод регулювання температури і вологості зерна в шахтній сушарці [9], згідно розробленого алгоритму (рис. 1). Сире зерно 1 подають на вхід сушильної камери 2. В сушильній камері 2 зерно здійснює гравітаційний рух від входу 1 до виходу 3. Просушене зерно 3 вивантажують через випускний апарат 4, який знаходиться на виході шахтної сушарки. Продуктивність шахтної сушарки змінюють виконавчим механізмом 7 випускного апарата 4.

Сушильний агент подають від теплогенератора у сушильну камеру 2 через дифузор 5. Температуру сушильного агента в дифузорі 5 контролюють датчиком температури теплоносія 8, а змінюють регулюючим пристроєм теплогенератора 6. Температуру зерна на вході в сушильну камеру та на виході з сушильної камери контролюють датчиками температури зерна відповідно 9, 10. Початкову та кінцеву вологості зерна контролюють датчиками вологості зерна відповідно 11, 12. Обробку сигналів датчиків 8, 9, 10, 11, 12 та формування команд управління виконавчими механізмами 6, 7 здійснюють у цифровому обчислювальному пристрої 13.

Початкову вологість W_n (% абс.) та початкову температуру T_n (°C) зерна на вході в сушильну камеру вимірюють датчиками 9 та 11 через однакові проміжки часу Δt (с), наприклад кожен хвилину, запам'ятовують в пам'яті обчислювального пристрою 13 та використовують для визначення прогнозів змін вологостей і температур зерна впродовж його сушіння.

Для функціонування імітаційної моделі (рис.1) розроблено пакет аналітичних виразів (1-8) [8] з автоматичного обчислення прогнозів

вологості та температури зерна. Розрахункову продуктивність сушарки Q_p ($\text{м}^3/\text{с}$) визначають за залежністю:

$$Q_p = V_{CK} / t_p, \quad (1)$$

де V_{CK} – обсяг зерна в сушильній камері (м^3) визначають за виразом:

$$V_{CK} = S H, \quad (2)$$

де S – переріз сушильної камери (м^2); H – висота сушильної камери (м). t_p – прогноз експозиції сушіння (с) даної зернової маси від початкової вологості W_n до прогнозу кінцевої вологості W_{kn} (%) визначають за виразом:

$$t_p = \Delta t N, \quad (3)$$

де N – кількість ітерацій зменшення початкової вологості W_n зерна до величини прогнозу кінцевої вологості W_{kn} визначають за виразом:

$$W_{kn} = W_n - \sum_{j=1}^N \Delta W_j, \quad (4)$$

де ΔW_j – прогноз зменшення вологості (%) j -ї зернової маси за поточний проміжок часу Δt визначають за виразом:

$$\Delta W_j = \left(W_{j-1} - \frac{300}{T_j + 3} \right) \frac{\Delta t}{K_w}, \quad (5)$$

де W_{j-1} – прогноз вологості (%) j -ї зернової маси станом за попередній проміжок часу Δt ; K_w – емпіричний поправочний коефіцієнт розрахунку прогнозу вологості; T_j – прогноз поточної температури ($^{\circ}\text{C}$) j -ї зернової маси визначають за виразом:

$$T_j = T_{j-1} + \Delta T_j, \quad (6)$$

де T_{j-1} – прогноз температури ($^{\circ}\text{C}$) j -ї зернової маси станом на попередній проміжок часу Δt ; ΔT_j – прогноз зміни температури ($^{\circ}\text{C}$) j -ї зернової маси за поточний проміжок часу Δt , який визначають за виразом:

$$\Delta T_j = \frac{(T_{Ca} - T_{j-1}) \Delta t}{(\Delta W_j + 0,1) K_T}, \quad (7)$$

де T_{Ca} – температура сушильного агента ($^{\circ}\text{C}$) на поточний проміжок часу Δt ; K_T – емпіричний поправочний коефіцієнт розрахунку прогнозу температури.

Відповідно до відхилення прогнозу кінцевої вологості W_{kn} даної зернової маси від виміряної кінцевої вологості W_{kn} цієї зернової маси на виході сушильної камери корегують поправочний коефіцієнт K_w у

виразі (4) в межах від 2100 до 4800 для забезпечення адекватності прогнозів вологості зерна по висоті H сушильної камери з дискретністю відстані ΔH між прогнозами, яка визначається з виразів (1,2):

$$\Delta H = Q_p \Delta t / S. \quad (8)$$

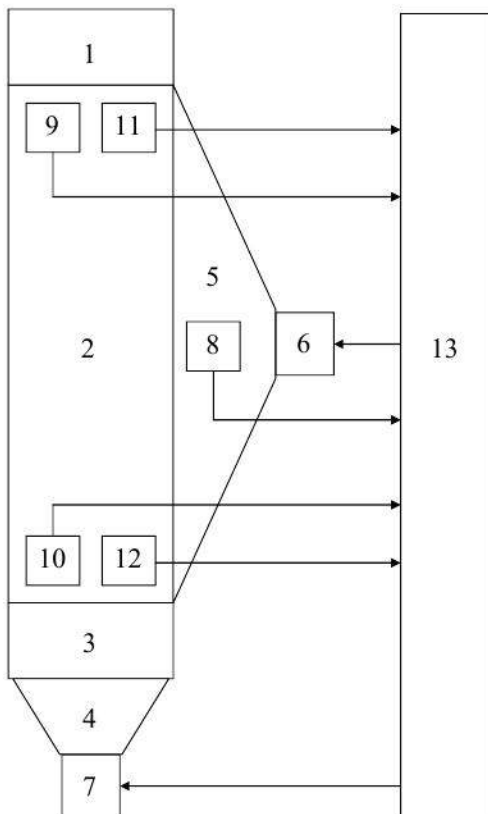


Рис. 2. Схема методу регулювання температури і вологості зерна в шахтній сушарці: 1 – надсушильний бункер; 2 – сушильна камера; 3 – охолоджувальна камера; 4 – випускний апарат; 5 – дифузор подавання сушильного агента; 6,7 – виконавчі механізми теплогенератора та випускного апарата; 8,9,10 – датчики температури; 11,12 – датчики вологості зерна; 13 – цифровий обчислювальний пристрій

Відповідно до відхилення прогнозу кінцевої температури $T_{кп}$ даної зернової маси від виміряної кінцевої температури $T_{кв}$ цієї зернової

маси на виході сушильної камери коригують поправочний коефіцієнт K_T у виразі (7) в межах від $25 \cdot 10^3$ до $70 \cdot 10^3$ для забезпечення адекватності прогнозів температури зерна.

В результаті імітаційних експериментів встановлена стійкість роботи системи у всьому діапазоні технологічного регламенту. Межі дискретизації переміщення зернової маси ΔH по висоті H сушильної камери складають 0,3-0,8 м. Крок стабілізації вологості абсолютною величиною 0,2% забезпечує зону нечутливості системи управління до незначних збурень кінцевої вологості зерна. Межі відслідковування моделлю транспортного запізнення у об'єкті управління складають від 2000 с до 5000 с. Точність виконання обмежень агротехнічних вимог спостерігалась не гірше похибки первинних вимірювальних перетворювачів вологості (0,2%) та температури (1°C) зерна, закладених в імітаційну модель. Це підтверджує адекватність алгоритму реалізації імітаційної моделі на основі прогнозів технологічних параметрів за виразами (1-8).

Висновки. Обґрунтовано енергоощадний метод регулювання вологості зерна в шахтній сушарці, який базується на прогнозуванні зміни вологості та температури зерна на початку процесу його сушіння, що дозволяє зменшити транспортне запізнення в каналах управління експозицією сушіння та управління температурою сушильного агента, ефективно знижує дисперсію вологості зерна на виході з сушарки, забезпечує стійкість системи управління, поліпшує якість сушіння зерна, зменшує обсяг рециркуляції зерна, підвищує продуктивність сушарки та зменшує її енерговитрати. Результати роботи можуть бути використані для модернізації діючих шахтних зерносушарок.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Кошицька Н.А., Фещенко В.П. Екологічні аспекти переробки ріпаку. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – 2011. – Вип. – №1(20) – С. 436-440.
2. Звіт про науково-дослідну роботу “ Розробити наукові передумови створення енергозберігаючих методів сушіння зерна та обґрунтувати параметри системи управління продуктивністю шахтної зерносушарки, (40.04-041/02Ф), Т. 2, Глевах: ННЦ “ІМЕСГ” НААН, 2010. – 78 с.
3. Краусл В.Р. Автоматизация послеуборочной обработки зерна. – М.: Машгиз, 1975. – 263 с.
4. Хобин В.А. Совершенствование систем автоматического управле-

- ния режимами работы зерносушилок как основа повышения их эффективности //Хранение и перераб. зерна. – 2005. - №4 – С.41-44.
5. *Степанов М.Т.* Гарантующе управління процесами сушіння зерна в шахтних прямооточних зерносушарках: автореф. канд. техн. наук: 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів/ . ОНАХТ, Одеса: 2005.-21 с.
 6. *Андреанов Н. М.* Оптимизация режимов сушки зерна. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 4-й Международной научно-технической конференции (12-13 мая 2004 г. Москва, ГНУ ВИЭСХ) / ВНСХ – Москва 2004 – Т.2 Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике. – С 200-207.
 7. *Просьянык А.В.* АСУП хранения и переработки зерна. Реальность и перспективы / А.В. Просьянык, П.И. Мельниченко //Хранение и перераб. зерна 2006.-№3. – С.36-39.
 8. *Липунов Н.И.* Практическая оптимизация производительности шахтной зерносушилки // Сборник докладов 6-й Международной научно-технической конференции, Россия, Москва, ГНУ ВИЭСХ, 13-14 мая 2008 г., –С.231-236.
 9. *Патент №95366*, України, МПК F26B25/22. Спосіб автоматичного регулювання вологості зерна в шахтній сушарці. Липунов М.І. (Україна), Опубл. 25.07.2011. Бюл. №14.

МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАЖНОСТІ ЗЕРНА В ШАХТНОЇ СУШИЛКЕ

Обосновано метод оптимізації параметрів системи автоматичного регулювання вологості та температури зерна в шахтних сушилках з використанням імітаційного прогнозування змінності вологості та температури зерна в режимі реального часу.

Ключевые слова: шахтня сушилка, зерно, вологість, температура, регулювання, енергосбереження.

METHOD FOR REGULATION OF GRAIN MOISTURE IN VERTICAL DRIERS

Substantiated is a method of optimization of parameters of a automatic control system for grain temperature and moisture in vertical driers with the use of simulation prognostication of changes in grain moisture and temperature online.

Key words: vertical drier, grain, moisture, temperature, regulation, energy-saving.