УДК 631.362.5

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СУШАРКИ ДЛЯ ЗЕРНОВОЇ ТА ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ

Анатолій РУСІН, Руслан ГОРДОВИЙ, Микола ДЕМИТЕР

Здобувачі вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Обґрунтовано актуальність оптимізації режимів роботи сушарки для зернової та олійної сировини з огляду на суттєву відмінність вимог до температурних режимів сушіння цих видів сировини. Показано, що олійна сировина (соняшник, ріпак, соя) через підвищений вміст жиру чутливіша до перегріву - це спричиняє окиснення олії, втрату посівних якостей і навіть ризик самозаймання, тому допустима температура теплоагента для неї суттєво нижча, ніж для зернових культур. Розглянуто структурну схему адаптивного керування режимами сушіння з автоматичною ідентифікацією типу сировини та зворотним зв'язком за вологістю й температурою матеріалу. Наведено залежність допустимої температури теплоагента від початкової вологості для зернової та олійної сировини. Запропоновано напрями оптимізації режимів роботи сушарки для зниження питомих енерговитрат за одночасного збереження якості обох видів сировини.*

Ключові слова: *зерносушарка, режими сушіння, олійна сировина, зерно, температура теплоагента, енерговитрати, якість сушіння.*

Сушарки для зернової та олійної сировини експлуатують в умовах, коли одна й та сама установка послідовно обробляє партії різних культур - зернові (пшениця, кукурудза, ячмінь) та олійні (соняшник, ріпак, соя). Проте режими сушіння цих видів сировини суттєво відрізняються: підвищений вміст жиру в насінні олійних культур робить їх значно чутливішими до теплового впливу, ніж зернові культури. Перегрів олійної сировини спричиняє окиснення та прогіркання олії, зниження схожості насіння, а за надмірної концентрації жиру

та високої температури - і ризик самозаймання в шарі продукту, що є відомою причиною пожеж на елеваторах під час сушіння соняшнику [2, 5].

Аналіз практики сушіння показує, що допустима температура теплоагента для зернових культур може сягати 90–110 °С залежно від початкової вологості й цільового призначення партії, тоді як для олійних культур цей показник, як правило, не перевищує 50–80 °С, а сою сушать у ще м'якішому режимі з обмеженням температури нагріву самого зерна до 25–30 °С [3, 4]. Використання уніфікованих (однакових для всіх культур) режимів роботи сушарки призводить або до невиправданого зниження продуктивності при сушінні зерна, або до ризику пошкодження олійної сировини [1].

Для узгодження цих вимог доцільне застосування адаптивної системи керування режимами роботи сушарки, що включає ідентифікацію типу сировини, датчики вологості й температури матеріалу та контур зворотного зв'язку для автоматичного коригування температури теплоагента й витрати повітря (рис. 1).

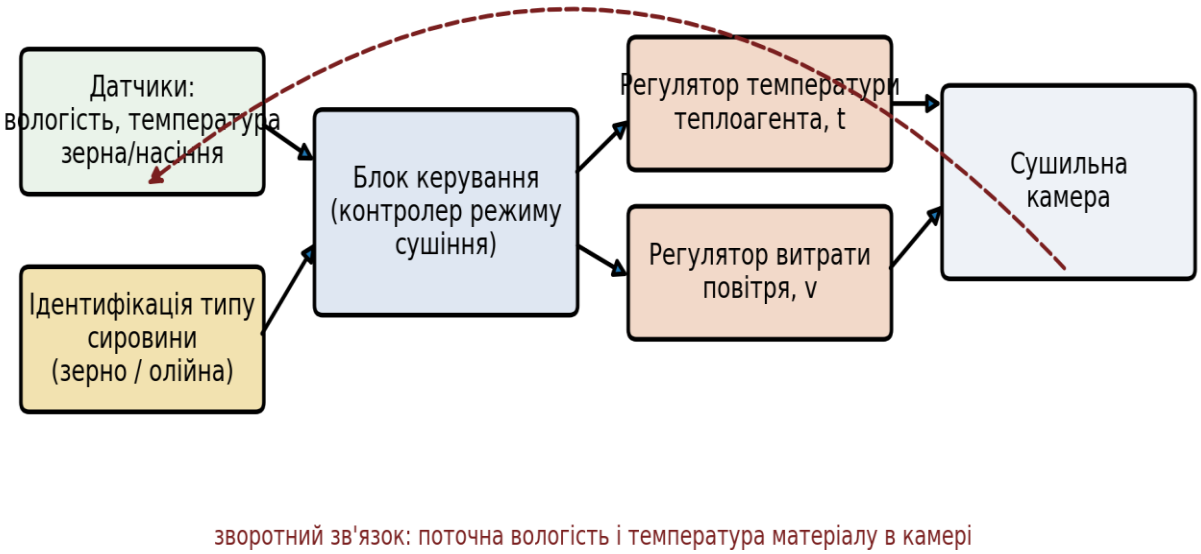


Рисунок 1. Структурна схема адаптивного керування режимами сушіння зернової та олійної сировини

Кінетику сушіння для обох видів сировини описують рівнянням тонкого шару, у якому константа швидкості сушіння залежить від температури теплоагента та властивостей матеріалу:

$$k = k_0 \cdot \exp(-Ea / (R \cdot T)), \quad (1)$$

де k - константа швидкості сушіння, год$^{-1}$; k_0 - передекспоненційний множник; Ea - енергія активації процесу вологовіддачі, залежна від виду сировини, Дж/моль; R - універсальна газова стала, Дж/(моль·К); Т - абсолютна температура теплоагента, К.

Допустиму температуру теплоагента з урахуванням початкової вологості сировини визначають за емпіричною залежністю:

$$t_{доп} = t_0 - a \cdot (W_0 - 14), \quad (2)$$

де $t_{доп}$ - допустима температура теплоагента, °С; t_0 - базова допустима температура за вологості 14%, °С (різна для зерна й олійної сировини); а - емпіричний коефіцієнт зниження температури на 1% надлишкової вологості; W_0 - початкова вологість сировини, %. Характер цієї залежності для зернової та олійної сировини ілюструє рисунок 2.

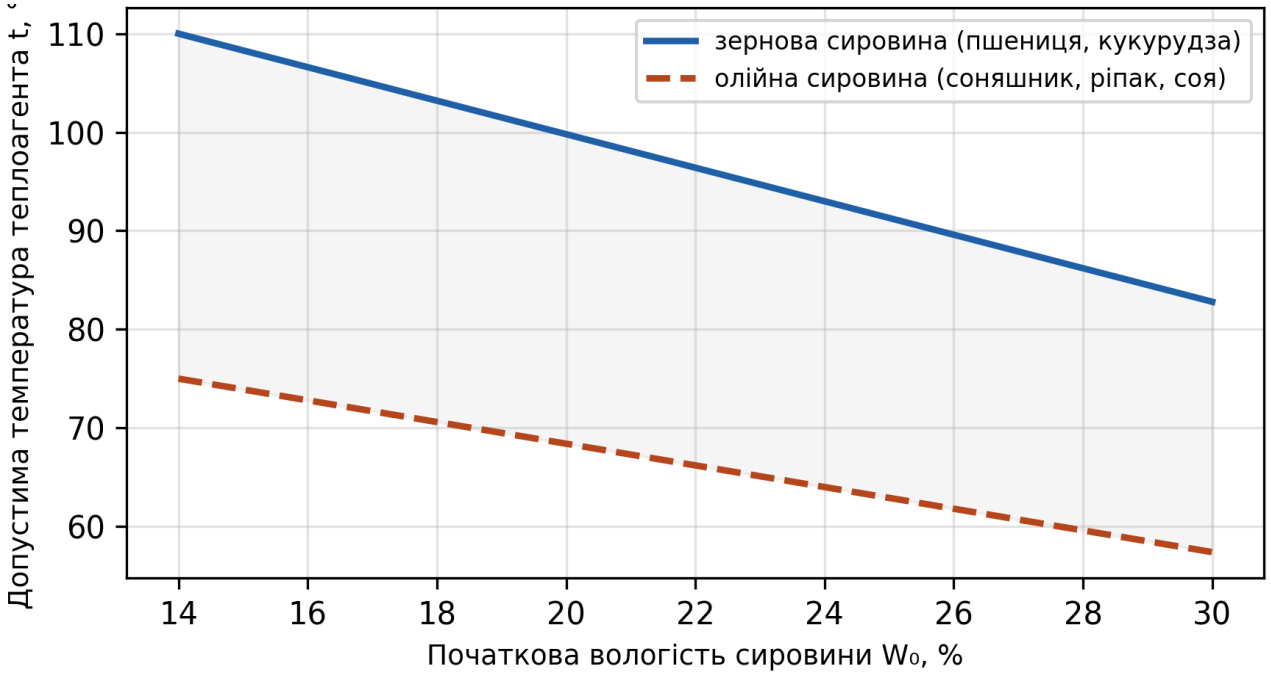


Рисунок 2. Допустима температура теплоагента залежно від вологості для зернової та олійної сировини

Як видно з наведених залежностей, різниця допустимої температури теплоагента між зерновою та олійною сировиною становить 25–35 °С у всьому дослідженому діапазоні вологості, причому зі зростанням вологості абсолютна різниця дещо зменшується, але залишається технологічно значущою. Це

підтверджує необхідність диференційованого підходу до вибору режимів сушіння залежно від типу сировини, що надходить на обробку.

Перспективними напрямами оптимізації режимів роботи сушарки для зернової та олійної сировини є: автоматична ідентифікація типу сировини на завантаженні (за оптичними або ємнісними датчиками) з автоматичним перемиканням програми сушіння; застосування двоступеневих режимів з проміжним відлежуванням (temperingом) для олійних культур, що дає змогу вирівняти вологість по об'єму насінини без додаткового нагріву; постійний контроль температури самого продукту (а не лише теплоагента) з аварійним відключенням нагріву в разі перевищення критичного значення; використання зниженої швидкості подачі теплоагента для олійної сировини за одночасного збільшення часу сушіння для компенсації нижчої температури.

Таким чином, оптимізація режимів роботи сушарки для зернової та олійної сировини потребує диференційованого підходу до вибору температури теплоагента, швидкості повітря та тривалості сушіння з урахуванням підвищеної чутливості олійних культур до теплового впливу. Впровадження адаптивної системи керування з автоматичною ідентифікацією типу сировини дає змогу поєднати високу продуктивність сушіння зерна з безпечними, енергоефективними режимами обробки олійної сировини в межах однієї установки.

Список використаних джерел

1. Matin A., Brandić I., Špelić K., Tomić I., Pavlović A., Matin B., Krička T., Galić A. Experimental Modelling of Sunflower Seed Moisture Content During Controlled Drying Using Machine Learning Methods. Agriculture. 2026. Vol. 16, No. 6. Article 695. DOI: 10.3390/agriculture16060695.

2. Qurrota A'yuni D., Sasongko S. B., Djaeni M., Kumoro A. C., Subagio A. The Improvement of Corn Grain Drying Using Air Dehumidification: Energy Consumption Evaluation and Techno-Economic Analysis. AIMS Agriculture and Food. 2025. Vol. 10, No. 3. P. 638–661. DOI: 10.3934/agrfood.2025032.

3. Myhan R., Markowski M. Generalized Mathematical Model of the Grain Drying Process. Processes. 2022. Vol. 10, No. 12. Article 2749. DOI: 10.3390/pr10122749.

4. Nurba D., Mardjan S. S., Wulandani D., Nelwan L. O., Subrata I. D. M. Aeration System Optimization for a Deep Bed Dryer for Paddy Grain Using Computational Fluid Analysis and the AHP-TOPSIS Method. Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 2025. Vol. 12, No. 2. P. 308–322. DOI: 10.15302/j-fase-2024577.

5. Arsenoaia V. N., Roșca G. R., Cârlescu P., Băetu M., Rațu R., Velișcu I., Țenu I. Drying Process Modeling and Quality Assessments Regarding an Innovative Seed Dryer. Agriculture. 2023. Vol. 13, No. 2. Article 328. DOI: 10.3390/agriculture13020328.

Abstract: *The paper substantiates the relevance of optimising the operating modes of a dryer for grain and oilseed raw material, given the substantial difference in drying-temperature requirements between these materials. It is shown that oilseed raw material (sunflower, rapeseed, soybean), owing to its higher fat content, is more sensitive to overheating - causing oil oxidation, loss of sowing quality and even a risk of self-ignition - so the allowable drying-agent temperature is considerably lower than for grain crops. A structural scheme of adaptive control of drying modes with automatic raw-material type identification and feedback on material moisture and temperature is considered. The dependence of allowable drying-agent temperature on initial moisture content for grain and oilseed raw material is presented. Directions for optimising dryer operating modes are proposed to reduce specific energy consumption while preserving the quality of both types of raw material.*

Keywords: *grain dryer, drying modes, oilseed raw material, grain, drying-agent temperature, energy consumption, drying quality.*

Науковий керівник:

Горбенко О.А.

Канд. техн. наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет