deck oscillation frequency and amplitude on the cleaning efficiency for different crops is determined. Directions for design improvement are proposed, including optimisation of the sieve-deck oscillatory motion parameters and automatic control of operating modes depending on the properties of the initial material.

Keywords: *seed, cleaning, calibration, air-screen machine, indent cylinder separator, sieve, separation efficiency, vibration.*

Науковий керівник:

Горбенко О.А.

Канд. техн. наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 631.362.5

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗЕРНОСУШАРКИ

В’ячеслав ПАНАСОВ, Сергій ПАНАСОВ, Ілля СКАЧКОВ

Здобувачі вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Обґрунтовано актуальність математичного моделювання процесу сушіння зерна для обґрунтованого вибору конструктивно-технологічних параметрів зерносушарок з огляду на високу енергоємність цієї операції та її вирішальний вплив на якість і збережуваність зерна. Розглянуто конструктивно-технологічну схему шахтної зерносушарки з окремими зонами сушіння та охолодження. Наведено математичну модель кінетики сушіння на основі рівняння тонкого шару, що описує зміну вологості зерна в часі залежно від температури теплоагента. Показано вплив температури сушильного агента на тривалість досягнення кондиційної вологості зерна. Запропоновано напрями оптимізації конструктивно-технологічних параметрів зерносушарки — режиму подачі теплоагента, товщини шару зерна та швидкості його*

переміщення — для зниження питомих енерговитрат за збереження посівних і продовольчих якостей зерна.

Ключові слова: *зерносушарка, сушіння зерна, математична модель, оптимізація, вологість, енерговитрати, конструктивно-технологічні параметри.*

Сушіння є однією з найважливіших та найбільш енергоємних операцій післязбиральної обробки зерна, що забезпечує зниження його вологості до кондиційного рівня, придатного для тривалого зберігання, та запобігає самозігріванню, пліснявінню й втраті посівних якостей. Складність процесу сушіння зумовлена одночасним перебігом тепло- і масообмінних процесів між зерном та сушильним агентом, тому обґрунтований вибір конструктивно-технологічних параметрів зерносушарки потребує застосування математичного моделювання кінетики сушіння [1, 2].

За конструктивним виконанням зерносушарки поділяють на шахтні, барабанні, конвеєрні (стрічкові), сушарки з псевдозрідженим шаром та рециркуляційні. В Україні найпоширенішими є шахтні зерносушарки завдяки простоті конструкції та можливості обробки великих обсягів зерна [4, 5]. За схемою руху теплоагента відносно шару зерна розрізняють прямоточну, протитечійну та перехресну схеми сушіння, кожна з яких має особливості щодо рівномірності сушіння та енергоефективності [3].

Конструктивно-технологічна схема шахтної зерносушарки включає бункер вологого зерна, шахту з окремими зонами сушіння та охолодження, теплогенератор для підготовки сушильного агента та систему вивантаження сухого зерна (рис. 1). Основними керованими параметрами процесу є температура теплоагента t, швидкість подачі v, товщина шару зерна та тривалість перебування зерна в зоні сушіння.

Кінетику сушіння зерна описують рівнянням тонкого шару:

$$W(\tau) = Wp + (W_0 - Wp) \cdot e^{(-k \cdot \tau)}, \quad (1)$$

де $W(\tau)$ - вологість зерна в момент часу τ, %; W_0 - початкова вологість зерна, %; Wp - рівноважна вологість зерна за даних умов сушіння, %; k - константа

швидкості сушіння, год⁻¹, яка залежить від температури і швидкості теплоагента; τ - тривалість сушіння, год.

Питомі витрати теплоти на сушіння визначають за формулою:

$$q = Q / m_{вол}, \quad (2)$$

де q - питомі витрати теплоти, МДж/кг випаруваної вологи; Q - загальні витрати теплоти на сушіння, МДж; $m_{вол}$ - маса випаруваної вологи, кг.

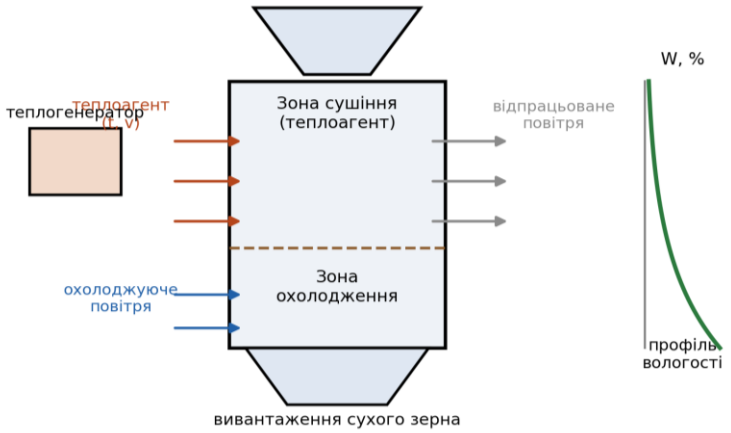


Рисунок 1. Конструктивно-технологічна схема шахтної зерносушарки з зонами сушіння та охолодження

Розрахункові криві сушіння зерна за різної температури теплоагента наведено на рисунку 2.

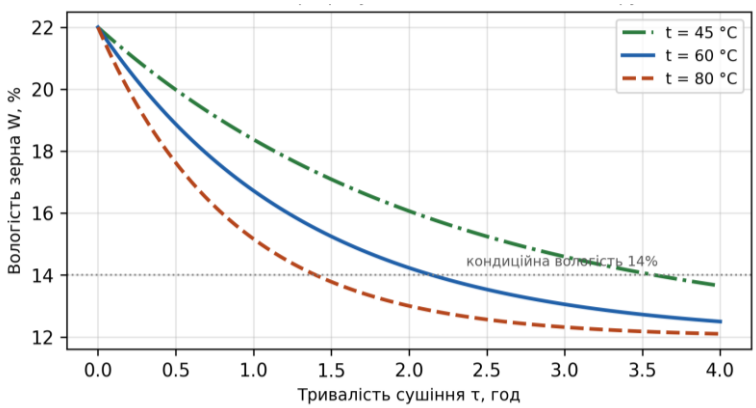


Рисунок 2. Криві сушіння зерна за різної температури теплоагента (розрахунок за моделлю тонкого шару)

Як видно з розрахункових залежностей, підвищення температури теплоагента з 45 до 80 °C суттєво скорочує тривалість сушіння, необхідну для досягнення кондиційної вологості 14%. Проте надмірне підвищення температури теплоагента спричиняє перегрів зерна, що може призвести до

зниження схожості насіннєвого матеріалу та погіршення хлібопекарських властивостей продовольчого зерна, тому вибір раціональної температури має враховувати цільове призначення партії зерна та обмеження, встановлені технологічними регламентами.

Перспективними напрямами оптимізації конструктивно-технологічних параметрів зерносушарки є: застосування ступінчастих (змінних за висотою шахти) режимів температури теплоагента, що дає змогу інтенсифікувати сушіння на початкових етапах і знизити температурне навантаження на завершальних; впровадження рециркуляції відпрацьованого сушильного агента для часткового повернення теплоти в процес; оптимізація товщини шару зерна та швидкості його руху в шахті для забезпечення рівномірності сушіння по перерізу; застосування автоматизованої системи контролю вологості та температури зерна в реальному часі з коригуванням режимів роботи теплогенератора.

Таким чином, математичне моделювання кінетики сушіння зерна на основі рівняння тонкого шару дає змогу обґрунтовано підбирати конструктивно-технологічні параметри зерносушарки - температуру теплоагента, товщину шару зерна, тривалість сушіння - з урахуванням допустимого температурного навантаження на зерно. Використання розрахункових моделей на етапі проєктування чи модернізації зерносушарок дає змогу знизити питомі енерговитрати на сушіння без погіршення якості готового зерна.

Список використаних джерел

1. Arsenoaia V. N., Roșca G. R., Cârlescu P., Băetu M., Rațu R., Velește 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.

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

3. Li X., Yang K., Wang Y., Du X. Simulation Study on Coupled Heat and Moisture Transfer in Grain Drying Process Based on Discrete Element and Finite Element Method. Drying Technology. 2023. Vol. 41, No. 12. P. 2027–2041. DOI: 10.1080/07373937.2023.2213767.

4. Jimoh K. A., Hashim N., Shamsudin R., Man H. C., Jahari M., Onwude D. I. Recent Advances in the Drying Process of Grains. Food Engineering Reviews. 2023. Vol. 15, No. 3. P. 548–576. DOI: 10.1007/s12393-023-09333-7.

5. Yu P., Zhu W., Shen C., Qiao Y., Zhang W., Zhu Y., Gong J., Cai J. Current Status of Grain Drying Technology and Equipment Development: A Review. Foods. 2025. Vol. 14, No. 14. Article 2426. DOI: 10.3390/foods14142426.

Abstract: *The paper substantiates the relevance of mathematical modelling of the grain drying process for a well-founded selection of the design and technological parameters of grain dryers, given the high energy intensity of this operation and its decisive effect on grain quality and storability. A structural-technological scheme of a shaft-type grain dryer with separate drying and cooling zones is considered. A mathematical model of drying kinetics based on the thin-layer equation is presented, describing the change in grain moisture content over time depending on the drying-agent temperature. The effect of drying-agent temperature on the time required to reach the conditioned grain moisture content is shown. Directions for optimising the design and technological parameters of the grain dryer are proposed — the drying-agent supply mode, grain layer thickness and its movement speed — to reduce specific energy consumption while preserving the sowing and food-grade qualities of the grain.*

Keywords: *grain dryer, grain drying, mathematical model, optimization, moisture content, energy consumption, design and technological parameters.*

Науковий керівник:

Горбенко О.А.

Канд. техн. наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет