

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**

*XI Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди
117-ї річниці від дня народження
доктора технічних наук, професора,
віцепрезидента УАСГН
КРАМАРОВА
Володимира Савовича
(1906-1987)*

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

*22-23 лютого 2024 року
м. Київ*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2024. 505 с.

Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference dedicated to the 117th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 22–23, 2024, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2024. 505 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.

аналітичних [1] і експериментальних досліджень [5] спираючись на положення загальної теорії переносу теплоти і маси [4].

Відповідно до загальних положень теорії сушіння на механізм переносу теплоти і маси суттєвий вплив має форма зв'язку вологи з матеріалом, структура матеріалу, умови нагрівання і сушіння. В залежності від інтенсивності протікання процесів механізм переносу вологи суттєво змінюється. При температурі матеріалу нижче 50°C явище переносу вологи зумовлене в основному молекулярними процесами [1], а процеси молярного переносу (типу фільтрації) значного впливу на процес не мають і ними можна нехтувати. За таких умов, відповідно до теорії О.В. Ликова перенос теплоти і маси здійснюється під дією двох термодинамічних сил: градієнта температури ∇t і градієнта вологості ∇U . Система диференціальних рівнянь тепло- і масопереносу записується у вигляді [1-4]:

$$\begin{aligned} \frac{dt}{d\tau} &= \alpha_T \nabla^2 t + \varepsilon^* r \frac{C_m}{C_q} \frac{dU}{d\tau} \\ \frac{dU}{d\tau} &= \alpha_m \nabla^2 U + \alpha_m \delta_T \nabla^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{де } \alpha_q = \frac{\lambda_q}{C_q \gamma_0}; \quad \alpha_m = \frac{\lambda_m}{C_m \gamma_0}.$$

λ_q, λ_m – коефіцієнти теплопровідності і масопровідності; C_T, C_m – питома теплоємність і масоємність; γ – щільність сухої речовини; r, ε^* – відповідно питома теплота пароутворення і критерій фазового переходу; T, U – температура і вологовміст матеріалу.

Сушіння вологих качанів кукурудзи за даними [1, 3] відбувається на протязі двох періодів: сталої і падаючої швидкості сушіння. Причому, в період сталої швидкості сушіння зерна вологість стрижня залишається більшою за зерно на протязі всього терміну процесу сушіння. Співвідношення між вологістю (%) стрижня, зерна і качана кукурудзи визначається із співвідношень [1-3]:

$$\omega_c = 2,2\omega_z - 15, \quad (2)$$

$$\omega_k = 1,3\omega_z - 4 \quad (3)$$

Інтенсивність масообміну в період постійної швидкості сушіння пропонується визначати за формулою аналогічною закону Дальтона [1]:

$$q_m = g_m \alpha_m (P_{\Pi} - P_C), \quad (4)$$

де P_{Π}, P_C - парціальний тиск пари над поверхнею зерна та в оточуючому середовищі, Па.

В період падаючої швидкості сушіння [3, 4]:

$$Q_m = g_m \beta \gamma_0 (U_{\Pi} - U_p) \quad (5)$$

де β - коефіцієнт масообміну; U_{Π}, U_p - відповідно вологовміст поверхні матеріалу і рівноважний вологовміст.

Інтенсивність теплообміну визначається співвідношенням [1]:

$$q_q = \alpha_q (t_c - t_n), \quad (6)$$

де α_q – коефіцієнт теплообміну; t_c, t_n – температура сушильного агента і поверхні матеріалу, °C.

Між коефіцієнтами теплообміну і масообміну існує зв'язок, який за умов турбулентності визначається співвідношенням О. Кришера, або Льюїса:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{C_p}{\gamma} \quad (7)$$

де C_p – теплоємність середовища при сталому тиску.

Для визначення коефіцієнтів тепло- і масообміну в процесах сушіння запропоновано багато формул, які узагальнені в роботі [1, 3, 4] і представлені у вигляді:

$$Nu = 2 + A Re^n Pr^{0,33} Gu^{0,175}, \quad (8)$$

де A і n – константи, що залежать від виду матеріалу і гідродинамічного режиму сушіння; Re – критерій Рейнольдса; Pr – критерій Прандля; Gu – критерій Гухмана.

Коефіцієнт сушіння визначається із співвідношення:

$$K = \frac{N}{W_{np} - W_p} = \chi N \quad (9)$$

де N – швидкість сушіння в першому періоді.

Для визначення відносного коефіцієнта χ пропонують вираз:

$$\chi = 1,5/W_0, \quad (10)$$

де W_0 – початкова вологість тіла.

Для наближеного опису кінетики сушіння в роботах по сушінню зерна часто використовується формула загального часу сушіння [1]:

$$\tau = \frac{W_0 - W_p}{N} + \frac{1}{\chi N} [1 + 2,3 \lg \chi (W - W_p)]. \quad (11)$$

Узагальнюючи данні багатьох дослідників В. Уковим отримані такі формули для розрахунків параметрів процесу сушіння качанів в камерних зерносушарках [1, 3, 5]:

$$\frac{W_1 - W_2}{\tau} = \frac{4,3 \cdot 10^4 C_1 C_2 V^{0,7}}{H^{0,4} \rho (100 - W_1)} \quad (12)$$

Рівняння (12) зв'язує швидкість сушіння і $(W_1 - W_2)/\tau$, та експозицію сушіння (τ) і дозволяє визначити їх залежність від висоти шару качанів H , їх щільності (ρ) та швидкості сушильного агента (V).

В роботі [1, 4, 6] для визначення кінетики сушіння шматкових матеріалів в шарі, що рухається, застосовані рівняння теплового балансу для об'єму кулі, яка рухається в протитечії:

$$\frac{dW}{d\tau} = a W_0 F_m K_f \frac{d\delta}{d\tau}, \quad (13)$$

де a – коефіцієнт, що враховує часткове видалення вологи за рахунок її міграції; F_m – поверхня матеріалу; F_f – співвідношення поверхні нагріву і випаровування; δ – товщина сухого шару шматка.

Підводячи підсумки основних методів математичного опису процесів сушіння зернових матеріалів, що застосовуються в сучасній практиці наукових досліджень можна зробити висновок про те, що більшість моделей використовують за базове рівняння кінетики О.В. Ликова з емпіричним визначенням коефіцієнта сушіння і поняття приведеної швидкості сушки. При цьому найбільш придатним є емпірично-теоретичний підхід коли всі

властивості матеріалу можна враховувати коефіцієнтами рівнянь балансу теплоти і вологи, а кінетику процесу описувати кінетичним рівнянням.

Список використаних джерел

1. Котов Б.І. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентилявання, охолодження): [колект. монографія]. Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва". Київ ; Ніжин : Лисенко М. М. 2017. 551 с.

2. Shvidia, V.O., Stepanenko, S.P., Kotov B.I., Spirin A.V., & Kucheruk V.Yu. (2022) Influence of vacuum on drying of seeds of grain crops Herald of Karaganda University. "Physics" series. № 3(107)/2022– p. 90-98. <https://doi:10.31489/2022PH3/90-98>

3. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Solomka O.V., Popyk P.S., Shvidia V.O., & Stepanenko S.P. (2019) Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment INMATEH - Agricultural Engineering . Jan-Mar 2019, Vol. 57 Issue 1, p141-146. 6p. https://doi.org/10.35633/inmateh_57_15

4. Kotov B., Spirin A., Kalinichenko R., Bandura V., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation. *Research in Agricultural Engineering*, 65 (2019), nr. 1, 20–24. <https://doi.org/10.17221/73/2017-RAE>.

5. Rogovskii I.L., Stepanenko S.P., Novitskii A.V., & Rebenko V.I. (2020) The mathematical modeling of changes in grain moisture and heat loss on adsorption drying from parameters of grain dryer. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 548 (2020) 082057. 2020. Vol. 13. pp.1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082057>

6. Калініченко Р. А., Войтюк В. Д. Енергоефективні режими роботи машин для високоінтенсивної термообробки зернових матеріалів. Ніжин: Вид. центр НДУ ім. Гоголя, 2017. 261 с.