УДК 631.365

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ У ПРОТИТЕЧІЄВОМУ РЕЖИМІ

Котов Б.І.[1], д.т.н., проф.,
Степаненко С.П.[2], д.т.н., с.н.с.,
Калініченко Р.А.[3], к.т.н., доц.
[1]*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна.*
[2]*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, смт. Глеваха, Київська обл., Україна.*
[3]*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин, Україна.*

Дослідження проведено з метою визначення особливостей процесу сушіння качанів кукурудзи у шарі, що відрізняється від “елементарного”, аналізу закономірностей переміщення “фронту” сушіння та для порівняльного аналізу і визначення переваг процесу сушіння в шарі.

Результати досліджень сушіння качанів кукурудзи вихідної вологості 28% (вологовміст 21,8 кг/кг) при температурі сушильного агента 55°С і його швидкість на вході в шар 1,0 м/с.

За даними експериментів проводився аналіз процесу сушіння товстого шару качанів кукурудзи, що дозволив встановити наступне:

- рівноважний вологовміст при сушінні качанів кукурудзи на середніх температурах (40°С) дорівнює за даними акад. Л.В. Погорелого U_P = 8,5 кг вл./кг сух. мат.;
- на висоті шару більш 0,25 м установлене збільшення вологовмісту матеріалу до 40,4 кг/кг, що перевищує початковий вологовміст на 3,7 кг/кг чи на 9,2 %;
- критичний вологовміст матеріалу по висоті шару в процесі сушіння змінювалося від 22,2 кг/кг до 21,3 кг/кг і середньому склало 21,76 кг/кг.
- для визначення критичного вологовмісту застосували графічний метод, вважаючи шукану точку перетинання кривої сушіння з прямою лінією, що відповідає області постійної швидкості сушіння. Такий метод дозволяє уникнути графічного чи чисельного диференціювання для постійної залежності швидкості сушіння $N = \frac{dU}{d\tau}$ від вологовмісту U.

З графіків розподілу вологовмісту (рис.1) в шарі качанів кукурудзи видно, що в режимі протитечії характерно експоненціальне розподілення вологи при сушінні до кондиційного вологовмісту 0,163

кг/кг. При сушінні до рівноважного значення, що дорівнює (0,009 кг/кг) розподіл вологи дещо відрізняється від експоненціального. Тому при обробці даних дослідів використовувалось рівняння [1]:

$$V_ф = K_c L \frac{U_{кр} - 0,1}{U_p - U_{кр}} \quad (1)$$

де L – величина постійного фронту сушіння.

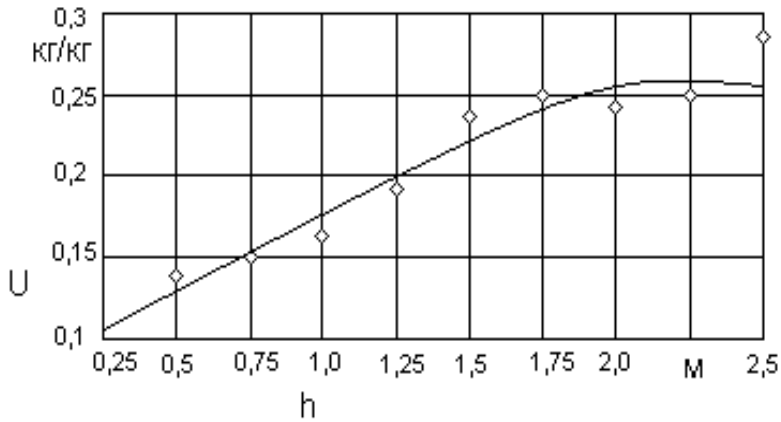

Рис. 1. Розподіл вологовмісту в шарі качанів кукурудзи в процесі сушіння з протитечієвим режимом

Зволоження верхніх шарів качанів кукурудзи можливо враховувати введенням до виразу (1) коефіцієнту зволоження $К_у$ значення якого при вологості качанів кукурудзи (30%) дорівнює $К_у$= 1,096:

$$V_ф = K_c L \frac{U_{кр} - 0,1}{U_p K_y - U_{кр}} \quad (2)$$

Розрахунки, отримані на основі аналізу експериментальних даних процесу сушіння качанів кукурудзи в нерухомому і рухомому шарах за формулою (2) показують, що швидкість переміщення зони сушіння в нерухомому шарі дорівнює $V_ф$ = 0,0851 м/год, а в рухомому шарі $V_ф$ = 0,0757 м/год, тобто у рухомому шарі більш ефективне.

Встановлено, що в режимі протитечії при досягненні кондиційного вологовмісту в першій касеті процес сушіння більш “економний” і змінюється, оскільки перша касета видаляється з установки та заміщується другою касетою, що переміщується зверху до низу. В другій касеті процес сушіння відображається від вологості u_2 до $u_к$ по експоненті b-c. Час сушіння другої касети складає $\tau_к = \tau_2 - \tau_1$, визначається із співвідношення [1]:

$$\tau_к = \frac{1}{K_c} \ln \frac{U_2 - 0,1 \quad U_p}{U_к - U_p} \quad (3)$$

Особливістю протитечієвого режиму сушіння є те, що процес сушіння, починаючи з другої касети, здійснюється від вологовмісту U_2, величина якої менша за початковий вологовміст U_1 тобто, при сушінні нижнього шару відбувається підсушування шару, який знаходиться над

ним. Процес сушіння окремих касет характеризується дискретним зміненям вологості матеріалу при вилучені нижньої касети.

Швидкість переміщення фронту сушіння визначається через тангенс кута нахилу кривих сушіння перерахованих у вигляді залежності змінення вологовмісту від часу сушіння ($tg\alpha_c$) і тангенса кута нахилу кривих розподілу вологовмісту за висотою шару ($tg\alpha_ф$):

$$V_ф = \frac{du/_{d\tau}}{gradu} = \frac{tg\alpha_c}{tg\alpha_{cp}} \quad (4)$$

Середню швидкість переміщення фронту сушіння можливо визначити, знаючи час за який висушено n – касет з качанами. Встановлено, що розподіл вологовмісту качанів кукурудзи в режимі протитечії може бути апроксимовано експоненціальною залежністю, що підтверджує правильність теоретичних посилань. Максимальне розходження не перевищує 12%.

Обробка даних проведених дослідів по визначенню розподілу температури сушильного агента при сушінні в режимі протитечії показує, що розподіл температури може бути апроксимовано експоненціальною залежністю у вигляді:

$$t = t_к - (t_o - t_к) \quad e^{-\frac{h}{L}} \quad (5)$$

де t_o, $t_к$ – відповідно початкове (вхідне) і кінцеве значення температури; L - стала фронту сушіння.

Рівняння (5) можливо використовувати при визначенні раціональних режимів сушіння качанів кукурудзи, визначивши залежність показника від режимних параметрів процесу.

Величина постійної фронту сушіння в нашому випадку є величиною зворотною відношенню $p = K_c/V_ф$, яка визначає розподіл вологовмісту за висотою зони сушіння. Відповідно до [2] величина L може бути визначена на основі експериментальних даних за формулою:

$$L = h_к \quad \left(ln\frac{U_н - U_к}{U_н - U_2}\right)^{-1} \quad (6)$$

де $u_к$– кондиційний вологовміст $u_к = 0{,}16$ кг/кг.

Знаючи величини $V_ф$ та L можливо визначити максимальну швидкість сушіння качанів кукурудзи – кінетичний еквівалент швидкості сушіння в періоді постійної швидкості. Величину коефіцієнта сушіння K_c визначимо за формулою [3]:

$$K_c = \frac{1}{\tau_к} \quad ln\frac{U_2 - U_p}{U_к - U_p} \quad (7)$$

де $\tau_к$ – час заміни касети при зниженні вологовмісту качанів кукурудзи з U_2 до U_1, за умови, що U_1 – відповідає кондиційній вологості $U_к$= 0,16 кг/кг.

Отримані залежності підтримують правильність припущень і результати теоретичного аналізу і дозволять проводити порівняльний аналіз процесів протитечієвого сушіння качанів кукурудзи з використанням детермінованих і статистичної моделей.

Застосування протитечійного режиму взаємодії фаз (качани – сушильний агент) при сушіння качанів кукурудзи в щільному шарі дозволяє зменшити затрати енергії на 20-22% в порівнянні з традиційним способом сушіння в нерухомому шарі при цьому найбільш ефективно реалізується “висхідний” температурний режим сушіння – безперервне підвищення температури при знижені вологовмісту качанів, що позитивно впливає на якість насіння та дозволяє максимально відпрацювати сушильний агент при реалізації “м’яких” режимів.

Встановлено, що найбільш ефективне застосування протитечієвого режиму має місце при сушінні качанів кукурудзи в шарі висотою 2-2,5 м при їх вологовмісті 27-30%. При збільшенні вологості качанів вище 40% сушіння в рухомому протитечієвому шарі мало ефективне.

Список використаних джерел

1. Котов Б. І. Моделювання технологічних процесів в типових об’єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (сепарація, сушіння, активне вентилювання, охолодження) / Б.І.Котов, Р.А.Калініченко, С.П.Степанеко, В.О.Швидя, В.О. Лісецький.- Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М. -2017.– 552 с.

2. Котов Б. І., Кирницький С. Р. Результати порівняльного аналізу технологічної ефективності сушіння качанів кукурудзи у прямотечії і протитечії // “Бюллетень наукових праць Прибужжя”, № 2, 2004. – С. 32-42.

3. Valentyna Bandura, Boris Kotov, Sergey Gyrych, Volodymyr Gricshenko, Roman Kalinichenko, Oksana Lysenko (2021) IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE DYNAMICS OF EXTRACTION OF OIL MATERIALS IN THE ELECTRIC FIELD OF HIGH FREQUENCY. Journal of Agricultural Science 1 XXXII 2021 8–16. DOI: 10.15159/jas.21.01