

МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 631.56:633

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСА ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА

Ялпачик В.Ф., д.т.н.,

Стручаєв М.І., к.т.н.,

Верхоланцева В.О., аспірант*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – у статті представлено функціонально – параметричну схему процесу охолодження зерна.

Ключові слова – атмосферне повітря, теплоємність, вологе повітря, тепло- і вологообмін, зберігання, зерно, охолодження, холодне повітря, вологомісткість.

Постановка проблеми. У багатьох технологічних процесах, а також у техніці й побуті, при сушінні і зволоженні матеріалу, опаленні приміщень, при пневматичному приводі механізмів як робоче тіло застосовується повітря. При розрахунку вказаних процесів необхідно знати властивості і параметри атмосферного повітря, яке завжди містить деяку кількість вологи.

Таким чином, атмосферне повітря являє собою суміш сухого повітря і водяної пари, будучи так званим вологим повітрям. При охолодженні повітря нижче температури точки роси відбувається конденсація водяної пари. У природних умовах прикладом подібного явища є утворення туману[1, 2].

Аналіз останніх досліджень. Виходячи з самої природи зерна та можливих втрат врожаю виникає необхідність у захисті його від активного впливу факторів абіотичного середовища, а також у створенні таких умов протягом зберігання, які б попереджували інтенсивний обмін речовин у клітинах зерна. Проблемою зберігання зерна займалися багато вітчизняних і зарубіжних дослідників. Аналіз розроблених ними способів зберігання, у тому числі застосування рециркуляції зернових сумішей з різним співвідношенням сухого і вологого зерна, показує широку спрямованість виконаних досліджень, але потребує більш детальнішого дослідження, тому проблема

© Ялпачик В.Ф., д.т.н., професор, Стручаєв М.І., к.т.н., доцент, Верхоланцева В.О., аспірант

* Науковий керівник – д.т.н., професор Ялпачик В.Ф.

залишається актуальною і в даний час. Вирішити це завдання успішно можна тільки із застосуванням відповідних методів підготовки продукту та закладання і збереження його у необхідних умовах. Зокрема, при наявності необхідної технічної бази, а, саме, сховищ для зберігання із необхідним устаткуванням, збудованих з урахуванням особливих властивостей зерна[3, 4].

Постановка завдання. Метою даної роботи є аналіз процесу охолодження зерна з точки зору планування експериментальних досліджень.

Основна частина. Системний аналіз передбачає, перш за все, декомпозицію та спрощення процесу з метою виділення найбільш суттєвих особливостей об'єкту. При моделюванні технологічного процесу його показують різними схемами: функціональними, параметричними та операторними. Найбільш інформативною є параметрична схема, що дає уяву про всі фактори, які характеризують технологічний процес охолодження.

Через шар зерна пропускають охолоджене атмосферне повітря.

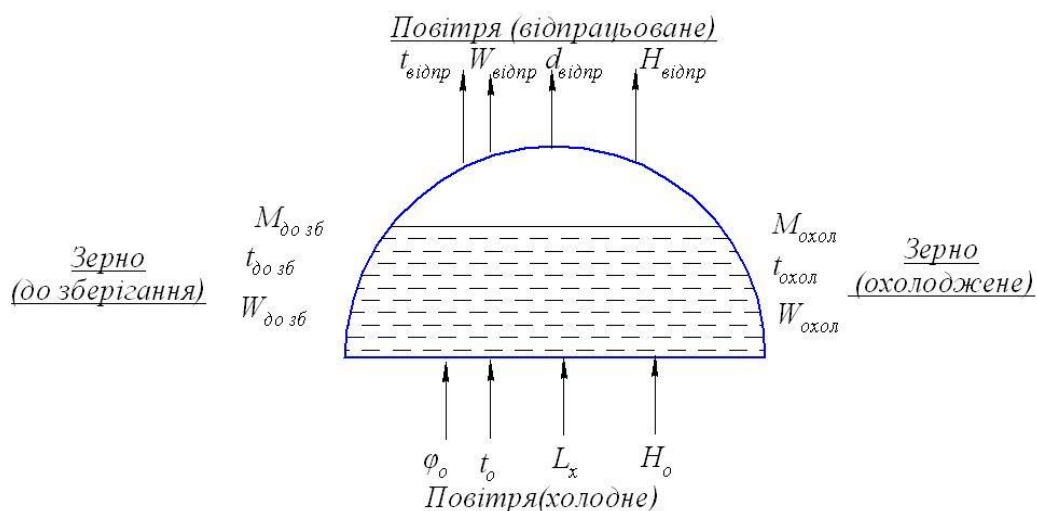


Рис. 1 Функціонально – параметрична схема

У процесі охолодження зерна з нього випаровується частина вологи[5, 6, 7].

Витрата вологи (кг / с), що видаляється при охолодженні

$$W_{ox} = M_{охол} \frac{(W_{до зб} - W_{охол})}{(1 - W_{до зб})}, \quad (1)$$

де $M_{охол}$ - маса охолодженого зерна, кг;

$W_{охол}$ - вологість охолодженого зерна, $\frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(зерна)}}$

$W_{до зб}$ - вологість до зберігання зерна, $\frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(зерна)}}$

Витрата повітря для охолодження зерна.

$$L_x = \frac{W_x}{d_{відпр} - d_o}, \quad (2)$$

де L_x - витрата холодного повітря, кг/с;

W_x - вологість холодного повітря;

$d_{відпр}$ - вологомісткість відпрацьованого повітря з камери,

$$\frac{\text{кг(пару)}}{\text{кг(сухого повітря)}};$$

d_o - вологомісткість повітря на вході в камеру, $\frac{\text{кг(пару)}}{\text{кг(повітря)}}$;

Тепловий баланс охолоджувача зерна.

$$L(H_{відпр} - H_{дозб}) = Q_{дод.теп.} + W \cdot C_v \cdot t_{хол.пов.} - M_{дозб} \cdot C_{дозб} \cdot (t_{дозб} - t_{охол}), \quad (3)$$

де L_x - витрата холодного повітря, кг/с;

$H_{відпр}$ - ентальпія відпрацьованого повітря, кДж/кг;

$H_{дозб}$ - ентальпія повітря до зберігання, кДж/кг;

$Q_{дод.теп.}$ - додатковий теплоприток (через стіни, підлогу, стелю, обладнання), кДж/с;

W - кількість ваги, що випаровується із зерна, кг/с;

C_v - теплоємність води, кДж/(кг·°С);

$t_{хол.пов.}$ - температура холодного повітря, °С;

$M_{дозб}$ - маса холодного зерна, кг;

$C_{дозб}$ - теплоємність холодного зерна, кДж/(кг·°С);

$t_{дозб}$ - температура зерна до зберігання, °С;

$t_{охол}$ - температура охолодженого зерна, °С;

Коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолоджуваному зерносклаві.

$$\Delta_x = C_v \cdot t_{дозб} + q_{м.х.} - q_{дод.теп.}, \quad (4)$$

де Δ_x - коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолоджуваному зерносклаві;

C_v - теплоємність води, кДж/(кг·°С);

$t_{дозб}$ - температура зерна до зберігання, °С;

$q_{м.х.}$ - питома кількість теплоти, що віддається охолоджуваним зерном, кДж/кг;

$q_{\text{дод.тепл.}}$ - питомі притоки теплоти (через стіни, підлогу, стелю, устаткування, інфільтрація), кДж/кг;

$$q_{\text{м.х.}} = M_{\text{відпр}} \cdot C_3 (t_{\text{відпр}} - t_{\text{охол}}) \quad (5)$$

де $M_{\text{дозб}}$ - маса зерна, кг;

C_3 - теплоємність зерна, кДж/(кг·°С);

Рівняння тепло- і вологообміну, яке описує зміни параметрів охолоджуючого вологого повітря

$$H = H_{\text{дозб}} + \Delta_x \cdot (d - d_{\text{відпр}}), \quad (6)$$

де H - поточне значення ентальпій вихідного повітря, кДж/кг;

$H_{\text{дозб}}$ - ентальпія повітря на вході, кДж/кг;

Δ_x - коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолодженому зерносховищі, кДж/(кг вологи);

d - поточне значення вологомiсткостi повітря, $\frac{\text{кг(вод.пара)}}{\text{кг(повітря)}}$;

$d_{\text{дозб}}$ - вологомiсткiсть вiдпрацьованого повітря, $\frac{\text{кг(вод.пара)}}{\text{кг(повітря)}}$;

Пiдставимо (4) i (5) у рiвняння (6),

$$H = H_{\text{дозб}} + [C_v \cdot t_{\text{дозб}} + M_{\text{дозб}} \cdot C_3 (t_{\text{дозб}} - t_{\text{охол}}) - q_{\text{дод.тепл.}}] \cdot (d - d_{\text{відпр}}) \quad (7)$$

Питому кількість теплоти, що відводиться від охолоджуваного матеріалу висловимо через рівняння конвективного теплообміну Ньютона-Рихмана

$$q_{\text{м.х.}} = \alpha \cdot (t_{\text{дозб}} - t_{\text{охол}}), \quad (8)$$

α - коефіцієнт тепловiддачi, Вт/м²·с

Висловимо α через критерії подiбностi G_r (критерій Грассгофа), P_r (критерій Прандтля), N_u (критерій Нуссельта), R_e (критерій Рейнольдса).

Критерій Грассгофа

$$G_r = \frac{\beta \cdot g \cdot d^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}, \quad (9)$$

де $\beta = \frac{1}{T}$ - об'ємний коефіцієнт теплового розширення, 1/°С ;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;
 d - діаметр зерна, м ;
 Δt - різниця температур, $^{\circ}\text{C}$;
 ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, $\text{м}^2/\text{с}$.

Критерій Прандтля

$$P_r = \frac{\nu}{a}, \quad (10)$$

де a - коефіцієнт теплопровідності, $\text{м}^2/\text{с}$.

Критерій Нуссельта

$$N_u = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (11)$$

λ - коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Критерій Рейнольдса

$$R_e = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (12)$$

w - швидкість повітря, м/с .

Критеріальне рівняння

$$N_u = 0,15 R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25}, \quad (13)$$

Звідки

$$\alpha = \frac{N_u \cdot \lambda}{d} = \frac{\left[0,15 \cdot R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25} \right] \cdot \lambda}{d}, \quad (14)$$

Остаточне рівняння тепло і вологообміну, яке описує зміни параметрів охолоджуючого вологого повітря приймає вигляд:

$$H = H_{\text{дооб}} + \left(C_s \cdot t_{\text{дооб}} + \frac{\left[0,15 \cdot R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25} \right] \cdot \lambda}{d} \cdot (t_{\text{дооб}} - t_{\text{видпр}}) - g_{\text{доп.мел.}} \right) \cdot (d - d_{\text{видпр}}) \quad (15)$$

На підставі цього рівняння можна розрахувати, представити в графіках, порівняти експериментальні дані з теоретичними.

Висновки. Внаслідок проведеного аналізу було складено рівняння тепло – і вологообміну, завдяки якому можливо розрахувати зміни, які відбуваються під час зберігання зерна.

Література:

1. *Кутателадзе С.С.* Основы теории теплообмена. / С.С. Кутателадзе – М.: Атомиздат, 1979. – 415с.

2. *Рогов И.А.* Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы). / И.А. Рогов, В.Е. Куцаков, В.И. Филиппов, С.В. Фролов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1999.- 176с.:ил.- (Учебники и учеб.пособия для высших учебных заведений).

3. *Тихонов Н. И.* Хранение зерна [Текст] : учеб. пособие / Н. И. Тихонов, А. М. Беляков; ФГОУ ДПОС «ВИПККА», Каф. инновац. технологий. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2006. – 108 с.

4. Применение искусственно охлажденного воздуха при хранении зерна за рубежом. Баум А. Е. Серия «Элеваторная промышленность», М., ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1977, 28с.

5. *Баскалов А.П.* Теплотехника : Учебник для вузов / А.П. Баскалов, Б.В. Берг, О.К. Витти и др.; Под ред. А.П. Баскалова. – М.: Энергоиздат, 1982.- 264с.

6. *Бондарев В.А.* Теплотехника. / В.А. Бондарев, А.Е. Процкий, Р.Н. Гринкевич – изд.2-е, испр. и доп. Минск, “Вышэйшая школа”, 1976.

7. Спосіб вентилявання сільськогосподарської продукції у сховищах: пат. 72101 UA. / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздєв. – Заяв. 03.01.2012; опубл. 10.08.2012 Бюл. №15.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА

Ялпачик В.Ф., Стручаев Н.И., Верхованцева В.А.

Аннотация – в статье представлена функционально - параметрическая схема процесса охлаждения зерна.

PLANNING EXPERIMENTAL STUDY OF GRAIN COOLING

Yalpachik V., Struchaev N., Vercholantseva V.

Summary

In the article presents a functional - parametric circuit cooling process grain.