

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ ШАРУ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ

Ялпачик В.Ф. д.т.н., проф., **Кюрчев С.В.** к.т.н., доц.,
Стручасв М.І. к.т.н., доц. **Верхоланцева В.О.** асистент
(Таврійський державний агротехнологічний університет)

У статті представлено ефективний спосіб зберігання зерна, а саме розглянуто процес охолодження шару зерна пшениці при зберіганні у металевому зерносховищі. В результаті аналізу наведені 2 етапи технології зберігання зерна із застосуванням охолодження.

Постановка задачі. За останні роки країна отримує досить високі валові збори зерна, однак помітно скоротилися його державні закупівлі, знизилася роль заготівельних елеваторів. Зерно нерідко зберігається безпосередньо в господарствах у виробника в очікуванні сезонного підвищення цін. Через слабку оснащеності технічної бази господарств, а часом, незнання технологій зберігання мають місце нераціональне формування партій зерна, зниження його якості і втрати зерна при зберіганні [5].

З метою більш широкого дослідження процесу охолодження зерна у зерносховищі та скорочення обсягів експериментальних робіт було проведено відповідні теоретичні дослідження процесу. Технологічна ефективність процесу охолодження залежить від багатьох факторів, які можуть бути розбиті на дві групи: фактори, що обумовлені технологічними властивостями зерна, а також фактори, що залежать від режиму роботи та параметрів охолодження та умов його експлуатації [1].

Мета досліджень. Авторами розроблена математична модель охолодження зерна, яка дає змогу визначити кількість теплоти, яка проходить від зерна через граничний шар. Встановлено, що процес передачі теплоти від зерна к охолоджену повітрі можливо робити на 2 етапи.

Основні матеріали досліджень. Механізм процесу передачі

теплоти від зерна до охолодженого повітря при прийнятій технології охолодження можна розділити на 2 етапи. На першому етапі при працюючій холодильній установці і при примусовій подачі охолоджуючого повітря заснованим способом відводу теплоти від зерна можна вважати конвективну тепловіддачу з поверхні зернівки. На другому етапі при вимкненій холодильній машині і вентиляторі, подающем охолоджене повітря теплова енергія передається за рахунок теплопровідності шару зерна, який можна розглядати, як двокомпонентну пористе середовище, яке складається з скелетної структури дотичних між собою зерен і парогазового середовища заповнює простір між зернами [3,4].

На першому етапі при подачі охолоджуючого повітря вентилятором (рис. 1) розподіл температур підпорядковується диференціальному рівнянню енергії:

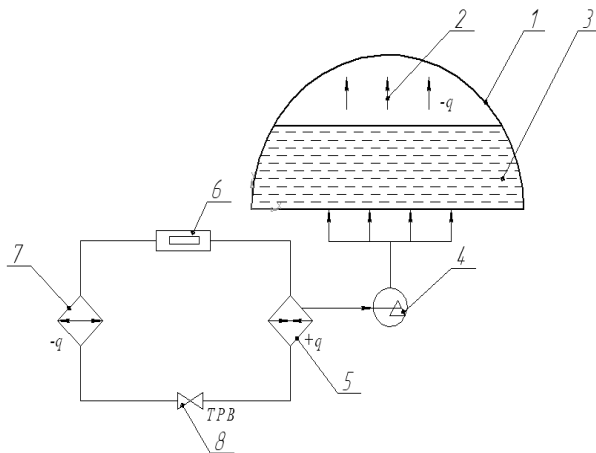


Рис. 1. Схема вентилятора з охолоджувачем, які працюють (конвективна тепловіддача): 1 – зерносховище; 2 – охоложене повітря; 3 – зерно; 4 – вентилятор; 5 – випарник; 6 – компресор; 7 – конденсатор; 8 – вентиль.

Наведемо диференціальне рівняння енергії:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + W_x \frac{\partial t}{\partial x} + W_y \frac{\partial t}{\partial y} + W_z \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

де $\frac{\partial t}{\partial \tau}$ – зміна температури за часом; W_x, W_y, W_z – швидкість потоку парогазового середовища по осях x, y, z ; $\frac{\partial t}{\partial x}, \frac{\partial t}{\partial y}, \frac{\partial t}{\partial z}$ – градієнт температури в прикордонному шарі в точці зіткнення охолоджуючого повітря з поверхнею зерна; λ – коефіцієнт теплопровідності $\frac{Вт}{м \cdot К}$; ρ – насипна щільність, $\frac{кг}{м^3}$; c – питома масова теплоємність, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$; $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$ – друга похідна зміни температури по осях x, y, z .

Другу похідну зміни температури можна представити у вигляді, наприклад для осі x :

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right), \text{ тобто вона визначає інтенсивність зміни градієнта}$$

температури по осях або інтенсивність зміни теплового потоку в цьому напрямку.

Для представлення диференціального рівняння теплообміну врахуємо, що все передане від зерна кількість теплоти проходить через граничний шар. Тобто щільність теплового потоку за рахунок теплопровідності зернівки і за рахунок конвективного теплообміну повинні бути рівні (2):

$$q_{\text{теплопров}} = q_{\text{конвек}} \text{ або } -\lambda_{\text{зерн}} \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right) = \alpha (t_{\text{зерн}} - t_{\text{охол.пов}}) \quad (2)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні зерна до охолодженого повітря, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$.

На другому етапі при непрацюючому вентиляторі (рис.2) теплота підводиться до шару зерна теплопровідністю можна представити диференціальним рівнянням підведення теплової енергії має вигляд:

$$dq_x + dq_y + dq_z = -\lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \cdot dV \cdot d\tau, \quad (3)$$

де dq_x, dq_y, dq_z – складові теплового потоку по осях x, y, z ;
 dV – елементарний об'єм шару зерна, m^3 ; $d\tau$ – зміна часу, c .

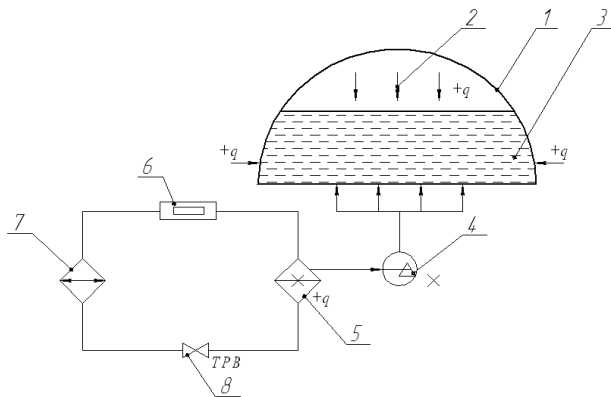


Рис. 2. Схема вентилятора з охолоджувачем не працюють (передача теплоти за рахунок теплопровідності): 1 – зерносховище; 2 – охоложене повітря; 3 – зерно; 4 – вентилятор; 5 – випарник; 6 – компресор; 7 – конденсатор; 8 – вентиль.

Відповідно до закону збереження енергії кількість підведеної з навколишнього середовища енергії дорівнюватиме кількості енергії накопиченої шаром зерна, тобто

$$dQ = -\rho \cdot c \cdot dV \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} \cdot d\tau, \quad (4)$$

де $\frac{\partial t}{\partial \tau}$ – швидкість зміни температури зерна в часі.

У шарі зерна здійснюється три різні механізми передачі теплоти: 1 - теплопровідність зернівок, 2 - молекулярний перенесення теплоти в порах, 3 - фазовий перехід (випаровування вологи з зерна до повітря за рахунок низького парціального тиску парів води в повітрі) [2,4,6].

При вирішенні завдань, пов'язаних з перебуванням температурного поля, необхідно мати на увазі диференціальне рівняння теплопровідності.

Теплопровідність всієї двокомпонентної системи може бути представлена у вигляді:

$$\lambda_{сист} = \left[c_k^2 + (1 - c_k)^2 \cdot V_k + 2V_k \cdot c_k (1 - c_k) \right] / (V_k \cdot c_k + 1 - c_k) \cdot \lambda_{каркаса} \quad (5)$$

де c_k – емпіричний коефіцієнт; V_k – відношення коефіцієнта теплопровідності пароповітряної суміші до коефіцієнта теплопровідності каркаса.

Теплопровідність парогазової суміші дорівнює сумі теплопровідності повітря $\lambda_{повіт}$ і теплопровідності водяної пари $\lambda_{пара}$, викликаної дифузійним перенесенням пари у вологому повітрі

$$\lambda_{н.з} = \lambda_{повіт} + \lambda_{пара}, \quad (6)$$

Значення визначимо для каналу пористості між зерновками (рис.3)



Рис. 3. Канал пористості між зерновками

Наведемо рівняння для визначення теплопровідності:

$$\lambda_{пара} = \frac{D \cdot M \cdot r}{R \cdot T} \int \frac{p}{p - p_n} \cdot \frac{d \cdot p_n}{dT}, \quad (7)$$

де D – коефіцієнт дифузії пари в повітрі для необмеженого простору, $\text{м}^2/\text{с}$; M – молекулярна маса, пара $\text{кг}/\text{моль}$; R – універсальна газова постійна, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{моль})$; T – температура пара, К; p – сумарний тиск пари і повітря, Па; p_n – парціальний тиск пари, Па; r – теплота пароутворення рідини, $\text{Дж}/\text{кг}$.

При заповненні пір повітрям відносна вологість його коливається в зазначений період з липня – грудень від 37- 85%, тому кількість випарувалася із зерна вологи буде різна. Для його визначення скористаємося Н-d діаграмою вологого повітря Л.К. Рамзіна.

По Н-d діаграмі можна визначити відносну вологість φ (%), вологовміст d ($\frac{\text{г}}{\text{кг}}$); ентальпія H ($\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$); температура t ($^{\circ}\text{C}$); парціальний тиск парів води p_n (мм.рт.ст.).

Визначивши $p_{\text{парц.вод}}$ за таблицями води і водяного пара можливо знайти приховану теплоту пароутворення r ($\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$), при $p_{\text{парц.вод}} = 0,002 \text{ МПа}$, то $r = 2459,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Тому можливо спрогнозувати зміни на протязі періоду зберігання зерна (по кожному місяцю окремо) за допомогою рівнянь теплообміну.

Висновки. Запропоновану математичну модель можна використовувати при розрахунках теплообміну процесу охолодження зерна, що дозволить розрахувати періодичність роботи холодильної машини і дуттєвого вентилятора в металевому зерносховище.

Список літератури

1. 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.

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

3. Кюрчев С.В. Конструктивные особенности установки для охлаждения и сушки зерна активным вентилированием С.В. Кюрчев, В.А. Верхоланцева // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип.5, Т.1. – С. 108 – 113. Режим доступу:<http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>.

4. Спосіб вентилявання сільськогосподарської продукції в сховищах: пат. 72101 UA. / В.О. Верхоланцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 03.01.2012; опубл. 10.08.2012Бюл. №15.

5. 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.

6. Ялпачик В.Ф. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження зерна / В.Ф. Ялпачик, М.І. Стручаєв, В.О. Верхоланцева // Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2013. – Вип.15, Т.1 – С. 11-20.

Аннотация

" Исследование процесса теплообмена при охлаждении слоя зерна пшеницы "

Ялпачик В.Ф. докт., проф., Кюрчев С.В. к.т.н., доц.,

Стручаев Н.И. к.т.н., доц. Верхоланцева В.А., ассистент

В статье представлен эффективный способ хранения зерна, а именно рассмотрен процесс охлаждения слоя зерна пшеницы при хранении в металлическом зернохранилище. В результате анализа приведены 2 этапа технологии хранения зерна с применением охлаждения.

Annotation

" Investigation of the process of heat exchange with the cooling layer of wheat "

Yalpachik V., Kiurchev S., Struchaev N., Vercholantseva V.

The paper presents an effective way to store grain, namely through the process of cooling the layer of wheat in storage in the metallic silos. The analysis shows the two stage technology for storage of grain with cooling.