

EXERGIC ANALYSIS OF IRRADIATION PLANTS IN ENCLOSED ECOSYSTEMS

B. Kovalyshyn

Annotation: *The analysis application exergic analysis for exposure of plants under the closed ecosystems. The model of radiation energy distribution in buildings of artificial climate.*

Keywords: *radiation, energy, exergy, artificial climate, plant*

УДК 631.365.22.001

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ОБ'ЄМІ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ЗА ВЕНТИЛЮВАННЯ ПОВІТРЯМ ІЗ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В. П. КОВБАСА, доктор технічних наук, професор
Р. А. КАЛІНІЧЕНКО, кандидат технічних наук, доцент

О. Д. КУРГАНСЬКИЙ, аспірант*

*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*

e-mail: rkalinichenko@ukr.net

Анотація. *В статті розглянуто математичну модель процесів тепломасообміну в об'ємі зернової маси за вентилявання повітрям із змінними параметрами (температурою і вологовмістом). Шляхом реалізації розглянутої математичної моделі в середовищі Mathematica досліджено вплив періодично змінних параметрів повітря на кінетику охолодження і низькотемпературного сушіння зернової маси.*

Ключові слова: *тепломасообмін, активне вентилявання, математична модель*

Післязбиральна обробка і зберігання зерна є важливим етапом в загальному процесі його виробництва, що дозволяє не тільки кількісно і якісно зберегти вирощений урожай, але і забезпечити отримання максимального прибутку від його реалізації за найбільш вигідної кон'юнктури ринку.

Найбільша частина енерговитрат на виробництво зерна концентрується на стадіях післязбиральної обробки, яка включає сушіння, очищення і зберігання. З них переважна частина енерговитрат припадає на сушіння, а в деяких випадках вона складає до 50% від всіх затрат на виробництво[1].

Для забезпечення можливості тривалого зберігання зерна без погіршення його якості, зерно потрібно довести до кондиційного стану з нав-

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Г. А. Голуб

© В. П. Ковбаса, Р. А. Калініченко, О. Д. Курганський, 2016

колишнім середовищем не тільки за вологістю, а й за температурою. В переважній більшості аграрних підприємств для сушіння зерна використовують складні у конструктивному відношенні високотемпературні сушарки, з невисоким термічним КПД і достатньо великою пропускною здатністю. Вартість таких сушарок висока і виходячи з умов рентабельності вони повинні використовуватись якомога інтенсивніше.

Практика експлуатації різного типу шахтних прямоточних і рециркуляційних зерносушарок показує, що продуктивність їх охолоджуючих камер у планових тонах охолодженого зерна значно менша продуктивності зерносушарки в планових тонах просушеного зерна [2], що знижує ефективність всього процесу. Одним із шляхів вирішення проблеми енергоефективності термічного сушіння і охолодження зерна є активне вентилявання зернових мас.

Активне вентилявання – це примусове продування атмосферним або підігрітим повітрям зернової маси, що знаходиться у нерухомому, щільному шарі, товщина шару, як правило, від 0,5 до 2 м. В процесі вентилявання вологість і температура зернової маси поступово змінюються. Інтенсивність зміни властивостей зернової маси залежить від технологічних параметрів повітря – температури, вологовмісту і його витрати на одиницю зернової маси.

Залежно від параметрів повітря, що подається, застосування активного вентилявання в процесі обробки і зберігання зерна дозволяє [3]:

- підсушити зерно, прискорити процес його післязбирального дозрівання, підвищити енергію проростання і схожість, покращити хлібопекарські властивості;
- охолодити зерно до температури, що забезпечує тривале кількісне і якісне зберігання;
- вирівняти температуру зернового насипу для запобігання і ліквідації осередків самозігрівання;
- видалити застояне повітря в зерновій масі, створити умови несприятливі для розвитку шкідників хлібних запасів і мікроорганізмів;
- виключити необхідність переміщення зернових партій, що зводить до мінімуму травмування і втрати сухої маси.

Доцільність використання установок активного вентилявання, а також вибір режимів термообробки зернового насипу залежить від конкретних господарських умов (валовий збір зерна, вологість зерна, погодні умови, можливість використання установки для активного вентилявання за подальшого зберігання зерна і т.д.). Для того, щоб з урахуванням заданих умов вибрати ефективну схему проведення процесу термообробки активним вентиляванням, необхідно враховувати режимні параметри повітря, що нагнітається у зернову масу (температуру, вологовміст, питомі витрати).

Наявні в літературі рекомендації щодо використання активного вентилявання для різних видів термообробки зерна носять загальний характер і для кожного конкретного випадку режимні параметри роботи установок для активного вентилявання потрібно уточнювати.

Якщо з невеликою інтенсивністю активним вентиляванням зернової маси охолоджувати зерно, вологість якого близька до кондиційної, то можна вважати, що процес теплопровідності не залежить від масообміну[4]. За таких умов задача розрахунку процесу охолодження зернової маси зводиться до класичної задачі Анцеліуса-Нусельта[5], але застосування цих розв'язків можливе лише для вузького класу задач термообробки зерна. Ступінчастий, чисельний метод розрахунку тепломасообмінних процесів у зерновій масі [6] найбільш універсальний і забезпечує достатню точність для вирішення деяких інженерних задач, але його використання вимагає знання дослідником мов програмування, для підлаштування алгоритмів і параметрів розрахунку до кожної конкретної задачі різних видів термообробки. В дослідженні [7], за чисельного вирішення рівнянь тепло- і масообміну не враховувались змінні в часі параметри повітря, що подається в шар зерноматеріалу.

Мета досліджень – розробити спосіб визначення раціональних режимів термообробки (охолодження, досушування) зерна активним вентиляванням, у разі заданих технологічних показників процесу на основі математичних моделей, які описують процеси тепло- і масообміну у зерновій масі, що забезпечать зменшення енергоємності процесу доведення зерна до кондиційного стану за вологістю і температурою.

Матеріали та методика досліджень. Зерновий насип у щільному шарі як об'єкт контролю є складною динамічною системою. У випадку, коли інформаційними параметрами насипу є температура і вологість, виникає необхідність знаходження розподілу температури і вологості за повним об'ємом цього насипу, що призводить до використання систем складних диференціальних рівнянь тепло- і вологопереносу.

Результати досліджень. Аналітичне вирішення системи диференціальних рівнянь, що описують тепло- і масообмін в товстому шарі матеріалу за змінного режиму досі не отримано. Тому, для вирішення прикладних задач використовують спрощені механізми тепло- і масообміну між матеріалом і повітрям (волога в зерні знаходиться у рідкому стані, тепло- і масообмін відбувається між повітрям і зерном, температурний градієнт всередині окремих зерен занадто малий, теплообмін між повітрям і зерном відбувається конвективно). Але навіть використання спрощених механізмів призводить до опису процесу тепло- і масообміну системою диференціальних рівнянь в частинних похідних (1-4), аналітичне вирішення якої пов'язане з відомими математичними труднощами[6]:

$$\frac{\partial t(\tau, x)}{\partial \tau} + 3600 \cdot V \frac{\partial t(\tau, x)}{\partial x} = - \frac{\gamma_3 \cdot C_3}{\gamma_6 \cdot C_6} \cdot \frac{\partial \theta(\tau, x)}{\varepsilon \cdot \partial \tau} - \frac{\gamma_3 r'}{\gamma_6 C_6 \varepsilon} \frac{\partial U(\tau, x)}{\partial \tau} \cdot \frac{1}{100} \quad (1)$$

$$\frac{\partial U(\tau, x)}{\partial \tau} = - \frac{\gamma_6}{10 \cdot \gamma_3} \cdot \left(\frac{\partial d(\tau, x)}{\partial \tau} + 3600 \cdot V \frac{\partial d(\tau, x)}{\partial x} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial t(\tau, x)}{\partial \tau} + 3600 \cdot V \frac{\partial t(\tau, x)}{\partial x} = - \frac{a_q \cdot \gamma_3}{\gamma_6 C_6 \cdot \varepsilon} \cdot (t(\tau, x) - \theta(\tau, x)); \quad (3)$$

$$\frac{\partial U(\tau, x)}{\partial \tau} = -K \cdot (U(\tau, x) - U_p) \quad (4)$$

де t – температура сушильного агенту, °C;
 d – вологовміст сушильного агенту, г/кг сухого повітря;
 U – вологість зерна, %;
 θ – температура зерна, °C;
 V – швидкість сушильного агенту, м/с;
 c_3, c_b – теплоємність зерна і повітря, кДж/кг·°C;
 ε – порозність зернового шару;
 \dot{r} – прихована теплота пароутворення, кДж/кг;
 α_q – коефіцієнт тепловіддачі, ккал/кг·год °C;
 γ_3 – об'ємна маса зерна, кг/м³;
 γ_b – питома вага повітря, кг/м³;
 K – коефіцієнт сушіння; 1/год;
 U_r – рівноважна вологість зерна, кг/кг с.р.;
 x – просторова координата, м;
 τ – час, год.

У рівнянні (4) рівноважна вологість зерна U_r залежить від параметрів повітря, яким продувається шар зерна.

Інформація про стан атмосферного повітря, що використовують для визначення його придатності для охолодження або досушування зерна, може бути отримана на основі прямого вимірювання температури t і відносної вологості φ та подальшого розрахунку за отриманими даними абсолютного вологовмісту d . Величина d може бути визначена із $I-d$ діаграми або розрахована за співвідношенням:

$$d = 622 \frac{\varphi \cdot P_n(t)}{755 - \varphi \cdot P_n(t)} \quad (5)$$

де $P_n(t)$ – пружність водяної пари у стані насичення за температури t .

Величину $P_n(t)$ можна визначити із емпіричного співвідношення:

$$P_n(t) = 10^{0.622 + \frac{7.5t}{238+t}} \quad (6)$$

За добу температура і відносна вологість атмосферного повітря змінюється за періодичними законами:

$$t = t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)] \quad (7)$$

$$\varphi = \varphi_0 - \varphi_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)] \quad (8)$$

де t_0, φ_0 – відповідно середні температура і відносна вологість атмосферного повітря;

$\omega = 2\pi/24$, $t_m = \frac{t_{max} - t_{min}}{2}$, $\varphi_m = \frac{\varphi_{max} - \varphi_{min}}{2}$ – амплітуди коливань температури і відносної вологості повітря;

$t_{max}, t_{min}, \varphi_{max}, \varphi_{min}$ – максимальні і мінімальні значення температур і вологості повітря за добу;

τ – час;

τ_0 – зсув у часі моменту початку вентилявання насипу від моменту добового максимуму температури повітря (мінімуму відносної вологості).

Знаючи величину t та d можна визначити значення рівноважної вологості за визначеною емпіричною залежністю:

$$U_r = b \cdot d \quad (9)$$

де $b = 3.9328 - 0.0888t$.

Значення коефіцієнта сушіння K в рівнянні (4) для низькотемпературної термообробки розраховували за залежністю (відповідно до [7]):

$$K = 0.025 \frac{\bar{\theta} + t_0}{2} \quad (10)$$

де $\bar{\theta}$ – середня температура зерна, $^{\circ}\text{C}$.

Підставимо (9) в (4) отримаємо:

$$\frac{\partial U(\tau, x)}{\partial \tau} = -K \cdot (U(\tau, x) - b \cdot d(\tau, x)) \quad (11)$$

Для чисельного розв'язку системи (1)-(3),(11) у математичному пакеті Mathematica, визначимо крайові умови з урахуванням добових періодичних змін параметрів (5)-(8) атмосферного повітря:

$$U(0, x) = U_0, \quad \theta(0, x) = \theta_0, \quad t(\tau, 0) = t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)]$$

$$d(\tau, 0) = \frac{622 \cdot (\varphi_0 - \varphi_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)]) \cdot 10^{\frac{0.622 + \frac{7.5 \cdot (t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)])}{238 + (t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)])}}{745 - (\varphi_0 - \varphi_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)]) \cdot 10^{\frac{0.622 + \frac{7.5 \cdot (t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)])}{238 + (t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)])}}}}}{10^{\frac{0.622 + \frac{7.5 \cdot (t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)])}{238 + (t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)])}}{238 + (t_0 + t_m \cos[\omega(\tau + \tau_0)])}}}} \quad (12)$$

Графічна інтерпретація чисельного розв'язку системи (1)-(3), (11) в математичному пакеті Mathematica з крайовими умовами (12) зображена на рис.1–рис.4., витрати повітря становлять $L = 384 \text{ м}^3/\text{год}/\text{т}$ ($V = 0.08 \text{ м}/\text{с}$).

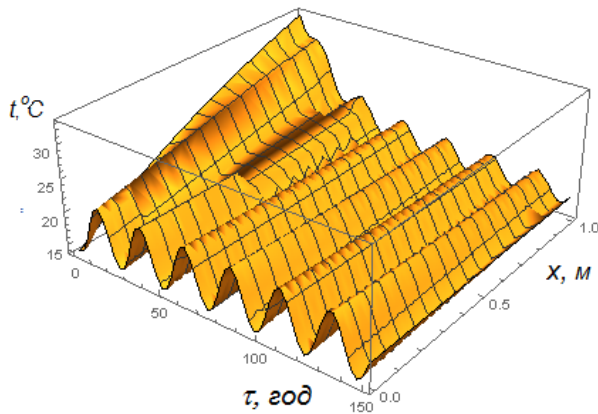


Рис.1. Зміна температури повітря в шарі зерна в часі і за висотою шару

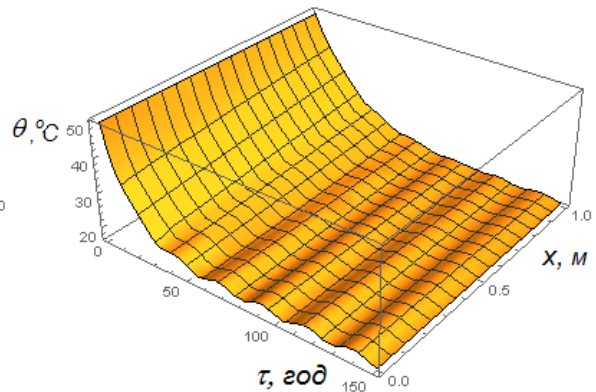


Рис.2. Зміна температури зерна в часі і за висотою шару

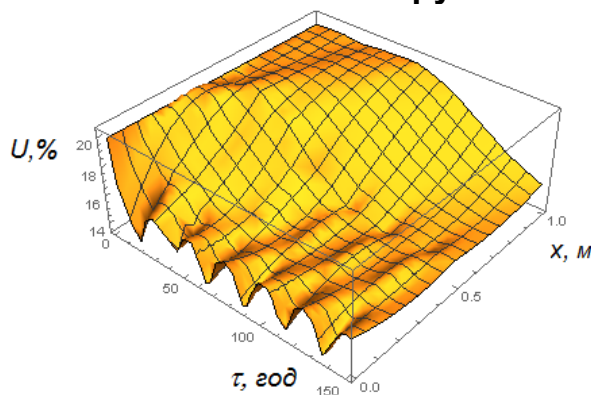


Рис.3. Зміна вологості зерна в часі і за висотою шару

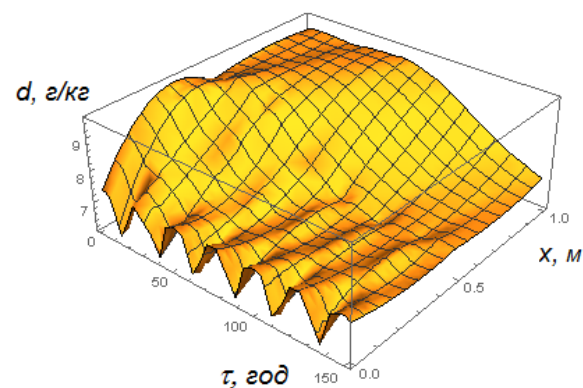


Рис.4. Зміна вологовмісту повітря в шарі зерна в часі і за висотою шару

Висновки

Запропонований метод комп'ютерного моделювання процесу термообробки зерна у щільному шарі активним вентиляванням із врахуванням змінних параметрів повітря яким продувається зерно, дозволяє визначити режими і параметри обладнання для охолодження і досушування зернової маси в залежності від конкретних параметрів кліматичних і виробничих умов.

Список літератури

1. Станкевич Г. Н. Проблеми сушіння – проблеми міжнародні. / Г. Н. Станкевич // Зернові продукти і комбікорми. – 2002.–№2. –С.5-7.
2. Корчемний М. О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. / М. О. Корчемний, В. С. Федорейко, В. П. Щербань – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 900с.
3. Дринча В. М. Основные концептуальные положения активного вентилирования зерна. / В. М. Дринча, Б. Д. Цыдендоржиев // Энергосбережение в АПК. – Вестник ОрелГАУ. – 2010.–№1(22). – С.35–38.
4. Курганський О. Д. Аналіз способів охолодження зернового матеріалу. / О. Д. Курганський, Б. І. Котов // Техніка, енергетика, транспорт АПК. –2016. – №2(94). – С.32-36.

5. Лобанов И. Е. Точное аналитическое решение задачи о полном распределении температур вплоть до концов регенератора с высокотеплопроводной насадкой с произвольно распределённой начальной температурой (задача Анцелиуса-Нуссельта) и его следствия / И. Е. Лобанов // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота, 2009. – № 12 (31): в 2-х ч. Ч. I. – С. 54-66.

6. Методические рекомендации по математическому моделированию процесса сушки и охлаждения зерна в установках плотного слоя. / [А. В. Дёмин, Ю. В. Есаков, И. Э. Мильман и др.]. – М.: ВИЭСХ, 1977.– 42с.

7. Анискин В. И. Моделирование процесса низкотемпературной сушки зерна в слое с помощью ЭВМ. / В. И. Анискин, Г. С. Окунь, И. И. Верцман. //Сб. науч. тр. – М.: ВИМ, 1988.–№115.–С. 25-29.

References

1. Stankevych H.N. (2002). Problemy sushinnia – problemy mizhnarodni. [The problems drying services - the problems of international]. Zernovi produkty i kombikormy, 2, 5–7.

2. Korchemnyi M. O., Fedoreiko V. S., Shcherban V. (2001). Enerhozberezhennia v ahropromyslovomu kompleksi. [Energy conservation in agricultural complex]. Ternopil, Ukraina: Pidruchnykyiposibnyky, 900.

3. Dryncha V. M., Tsyndendorzhyev B. D. (2010). Osnovnye kontseptualnye polozheniia aktyvnoho ventilyrovaniia zerna. [The basic conceptual provisions of active ventilation grains] Enerhosberezhenniie v APK. Vestnyk OreIHAU, 1(22), 35–38.

4. Kurhanskyi O. D. Kotov B. I. (2016). Analiz sposobiv okholodzhennia zernovoho materialu. [Analysis of methods cooling the grain material] Tekhnika, enerhetyka, transport APK. Vinnytsia, 2(94), 32–36.

5. Lobanov Y. E. (2009). Tochnoe analytycheskoe reshenye zadachy o polnom raspredelenyy temperatur v plot do kontsov reheneratora s vusokoteploprovodnoi nasadkoi s proyzvolno raspredelyonnoi nachalnoi temperaturoi (zadachaAntselyusa-Nusselta) y ehosledstviia [The exact analytical solution of the problem of the full temperature distribution up to the end of the regenerator with a highly conducting nozzle with randomly distributed initial temperature (task Antseliusa-Nusselt) and its consequences] Almanakh sovremennoi nauky y obrazovaniia. Tambov: Hramota, 12 (31), 54–66.

6. Dyomin A. V., Esakovlu.V., Mylman Y. Э. y dr. (1977) Metodycheskye rekomendatsyy po matematycheskom modelyrovany i protsessa sushky y okhlazhdenyi zerna v ustanovkakh plotnoho sloia. [Methodical recommendations on mathematical modeling of the process drying and cooling of grain plants in dense layer] Moscow, VIIESKh,42.

7. Anyskyn V.Y.,Okun H.S., Vertsman Y.Y. (1988). Modelyrovanye protsessa nyzkotemperaturnoi sushky zerna v sloe s pomoshchiu ЭVM.[Simulation of lowtemperature drying process grains in layer by the computer]. Moscow, VYM, 115, 25–29.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В ОБЪЕМЕ ЗЕРНОВОЙ МАССЫ ПРИ ВЕНТИЛИРОВАНИИ ВОЗДУХОМ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В. П Ковбаса,

**Р. А. Калиниченко,
А. Д. Курганский**

Аннотация. В статье рассмотрена математическая модель процессов теплообмена в объеме зерновой массы при вентилировании воздухом с переменными параметрами (температурой и влажностью). Путем реализации рассматриваемой математической модели в среде Mathematica исследовано влияние периодически меняющихся параметров воздуха на кинетику охлаждения и низкотемпературной сушки зерновой массы.

Ключевые слова: теплообмен, активное вентилирование, математическая модель

COMPUTER SIMULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER TO THE EXTENT GRAIN MASS VENTING AIR WITH VARIABLE PARAMETERS

**V. Kovbasa,
R. Kalinichenko,
A. Kurgansky**

Annotation. In the article the mathematical model of heat and mass transfer processes in the volume of grain mass venting air from the variable parameters (temperature and moisture content). By implementation of a mathematical model in the environment of Mathematica study the effect of periodically changing the air cooling parameters on the kinetics and low-temperature drying of grain mass.

Keywords: heat and mass transfer, active ventilation, mathematical model

УДК 621.3.066.5/6:636

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

В. В. КОРОБСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
С. О. ЛАПШИН, аспірант*

**Національний університет біоресурсів
і природокористування України**

e-mail: kor-vlad-2002@mail.ru

Анотація. Наведено результати проведення аналізу дослідження надійності електричних апаратів, як складної системи. Визначена

* * Науковий керівник – доктор технічних наук, доцент А. В. Жильцов

© В.В. Коробський, С.О.Лапшин, 2016