

УДК 635.82; 631.333.92

**О.І. Кепко, доц., канд. техн. наук, А.В. Войтік, доц., канд. техн. наук,
О.С. Пушка, доц., канд. техн. наук, І.О. Лісовий, канд. техн. наук**
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
E-mail: kepko@meta.ua

Статична математична модель теплового балансу зерносушарки

З метою оптимізації роботи зерносушарок, які працюють в багатофакторному середовищі запропонована математична модель процесу сушіння високовологого насіння баштанних культур. Використання статичної імітаційної математичної моделі теплового балансу дає можливість розрахунковим шляхом обирати режими роботи сушарки при відомих входних параметрах системи.
сушарка, зерносушарка, тепловий баланс, насіння, теплоносії

О.І. Кепко, доц., канд. техн. наук, А.В. Войтик, доц., канд. техн. наук, А.С. Пушка, доц., канд. техн. наук, И.А. Лисовой, канд. техн. наук
Уманский национальный университет садоводства, г.Умань, Украина
Статическая математическая модель теплового баланса зерносушилки

С целью оптимизации работы зерносушилок, которые работают в многофакторной среде, предложена математическая модель процесса сушки высоковлажных семян бахчевых культур. Использование статической математической модели теплового баланса дает возможность расчетным путем выбирать режимы работы сушилки при известных входных параметрах системы.
сушилка, зерносушилка, тепловой баланс, зерно, теплоноситель

Постановка проблеми. В зв'язку з постійним зростанням цін на енергоносії технологічні установки, в яких мають місце теплові процеси, потребують особливої уваги, що пов'язано з високою часткою енерговитрат у структурі собівартості продукції.

При розробці сучасних технологій виділяють кілька основних і допоміжних напрямків. Один з цих напрямків розглядає питання оптимізації роботи зерносушарок які працюють в багатофакторному середовищі. Компромiсним рішенням в цьому питанні може бути мінімізація витрат енергії при збереженні рівня прибутковості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цікавим об'єктом для дослідження з точки зору багатофакторності середовища є сушарка високовологого насіння баштанних культур (ВНБК) основною особливістю (ВНБК) якої є власне багатофакторне середовище, яке об'єднане поняттям мікроклімату, який має місце в зоні сушіння насіння баштанних культур, і система теплозабезпечення є невід'ємною складовою цього середовища при цьому моделювання режимів роботи цієї системи при умові складності останнього стає фактором не тільки бажаним, а під час і необхідним.

Моделювання теплових процесів є процес доволі складний, особливо у взаємозв'язку з іншими параметрами і системами зерносушарок [2, 5, 6, 9]. Запропонована статична модель є універсальною і підходить для любого типу сушарок, зокрема каскадного [4, 10] та касетного типів [11]. Умовою більш адекватного моделювання є правильна ідентифікація параметрів об'єкту, що в свою чергу підвищує точність та стійкість систем автоматичного управління [7, 8].

Запропонована статична модель описує роботу системи «сушильний агент – насіння» шляхом оптимізації процесу сушіння за рахунок математичного моделювання більш повного використання тепла і економії енергії.

Принцип роботи запропонованої системи описаний в роботі [3].

Постановка завдання. Метою написання статті є необхідність підвищення енергоефективності роботи зерносушарок шляхом моделювання теплових режимів.

Результати досліджень. Фактори, які підлягають контролю та регулюванню, складають систему, в яку входять температура теплоносія і насіння та їх вологість, площа шару насіння, витрата теплоносія та насіння. Основними факторами, які здійснюють вплив на систему, є фактори навколишнього середовища та вхідні параметри теплоносія та насіння.

В процесі сушки параметри, що впливають на процес потребують оптимального вибору роботи зерносушарки (контрольовані параметри). Наприклад, процес сушіння можна регулювати зміною температури теплоносія на вході в сушарку, зміною площі контакту насіння з теплоносієм, подачі теплоносія або насіння. В той же час на параметри сушіння будуть впливати і неконтрольовані параметри, такі як початкова вологість насіння та температура зовнішнього повітря.

Необхідно знайти такий варіант, який при заданих умовах забезпечив би досягнення екстремального (мінімального) значення втрат теплової енергії.

Оптимальна величина витрат енергії в сушарці, тобто набір значень змінних x_{ik} , які мінімізують значення цільової функції [1]:

$$f(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{kij} x_{kij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де i, I – номер секції та кількість секцій сушарки;

k, K – порядковий номер періоду та кількість періодів роботи (розігрів, сушіння);

j, J – параметр, що регулюється, та кількість параметрів (керованих змінних), що регулюються;

x_{ik} – витрати енергії в i -й секції k -го періоду сушки для підтримання j -го параметру.

Введемо граничні умови. Враховуючи, що при розігріванні сушарки («введення в режим») регулювання температури теплоносія та насіннєвого матеріалу за технологічними умовами не проводиться ($K=1$) і, позначивши через: $j=1$ – параметр температури сушильного агента; $j=2$ – температури насіння; $j=3$ – вологовміст сушильного агента; $j=4$ – вологовміст насіння, визначимо, що:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{1ij} = 0, \quad (K=1), \quad (2)$$

Початок, закінчення і тривалість сушіння в кожній секції запишемо як:

$$\sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{ki}; \quad \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{(k+1)i} \quad \Delta i_k = \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{ki} - \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{(k+1)i}, \quad k = 1,$$

де λ_{ki} – коефіцієнт-зв'язка (булева змінна).

Враховуючи черговість проходження секцій (по вологості насіння) –

$$\sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{Ii} > \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{2i} \dots \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{Ki}$$

Виходячи з моделі функціонування та цільової функції ефективність виконання технологічного процесу сушіння оцінюється за питомою енергоємністю процесу, швидкістю сушіння насіння та його кінцевою вологістю. Для обґрунтування параметрів сушарки ВНК необхідно мати дані про зміну температури, вологовмісту сушильного агенту і насіннєвого матеріалу в процесі сушіння [3].

Введемо обмеження: густина повітря не залежить від температури і тиску в середині сушарки; час переміщення повітря в сушарці та насіннєвого матеріалу побічно враховується показником їх подачі; кінцева температура насіння $\leq 48^\circ\text{C}$; діапазон зміни температури сушильного агенту $50 \dots 90^\circ\text{C}$; витрата насіння $15 \dots 40$ кг/год; витрата сушильного агенту $0,5 \dots 1,5$ кг/с. Виділимо дві основні складові моделі – тепловий баланс та баланс вологи.

Розглянемо тепловий баланс. Виходячи з теорії тепломасообміну між об'єктом сушіння і сушильним агентом отримано математичні моделі, які описують їх параметри на виході із зерносушарки.

Тепловий баланс сушильного агенту:

$$Q_{н.су.а} = Q_{нас} + Q_{тв}, \quad (3)$$

де $Q_{н.су.а}$ – тепло яке витрачається на нагрів сушильного агенту, Вт;

$Q_{нас}$ – тепло яке передається від сушильного агенту до насіння, Вт;

$Q_{тв}$ – тепловтрати сушильного агенту, Вт;

Тепловий баланс насіння:

$$Q_{н.нас} + Q_{нас} = Q_{вол}, \quad (4)$$

де $Q_{н.нас}$ – тепло яке витрачається на нагрів насіння, Вт;

$Q_{вол}$ – втрати теплоти на випаровування вологи (на сушіння), Вт.

Привівши рівняння (3) і (4) до нуля, складемо систему рівнянь, яка буде мати вигляд:

$$\begin{cases} Q_{н.су.а} - Q_{нас} - Q_{тв} = 0 \\ Q_{н.нас} + Q_{нас} - Q_{вол} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Розклавши елементи рівняння на складові [3], система рівнянь (5) отримає вигляд:

$$\begin{cases} G_v \cdot C_p (t_1 - t_2) - \alpha \cdot f_F (\bar{t} - \bar{\Theta}) - k_T \cdot \Sigma F (\bar{t} - t_B) = 0 \\ G_z \cdot C_z (\Theta_1 - \Theta_2) + \alpha \cdot f_F (\bar{t} - \bar{\Theta}) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F (a \cdot \bar{\Theta} - c - b \cdot \bar{d}) \cdot r' = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

або

$$\left\{ \begin{array}{l} G_v \cdot C_p (t_1 - t_2) - \alpha \cdot f_F [0,5(t_1 + t_2) - 0,5(\Theta_1 + \Theta_2)] - k_T \cdot \Sigma F (0,5(t_1 + t_2) - t_B) = 0 \\ G_z \cdot C_z (\Theta_1 - \Theta_2) + \alpha \cdot f_F [0,5(t_1 + t_2) - 0,5(\Theta_1 + \Theta_2)] - \\ - \beta \cdot \Psi \cdot f_F [0,5a(\Theta_1 + \Theta_2) - c - 0,5b(d_1 + d_2)] \cdot r' = 0 \end{array} \right. , (7)$$

де C_p – питома ізобарна теплоємність сушильного агента, Дж/кг $^{\circ}$ С;
 t_1 і t_2 – температура сушильного агента, відповідно, на вході та виході з сушарки,
 $^{\circ}$ С;

G_v – витрата сушильного агента, кг/с;

α – коефіцієнт теплообміну між насінням та сушильним агентом, Вт/м 2 $^{\circ}$ С;

f_F – площа поверхні насіння, що знаходиться в сушарці, м 2 ;

\bar{t} – середня температура сушильного агента $\bar{t} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2)$, $^{\circ}$ С;

$\bar{\Theta}$ – середня температура насіння $\bar{\Theta} = 0,5 \cdot (\Theta_1 + \Theta_2)$, $^{\circ}$ С;

Θ_1 і Θ_2 – початкова і кінцева температура насіння, $^{\circ}$ С;

k_T – коефіцієнт теплопередачі від сушильного агента до зовнішнього середовища, Вт/м 2 $^{\circ}$ С;

ΣF – сумарна площа стінок сушильної камери, м 2 ;

t_B – температура повітря в приміщенні де встановлено сушарку, $^{\circ}$ С;

C_z – питома теплоємність насіння, Дж/кг $^{\circ}$ С;

G_z – витрата насіння, кг/с;

β – коефіцієнт масообміну, кг/м 2 \cdot Па \cdot с;

a, b, c – сталі розмірні коефіцієнти з розмірністю: Па/ $^{\circ}$ С, Па \cdot кг/г, Па, відповідно;

\bar{d} – середній вологовміст сушильного агента, $\bar{d} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2)$, г/кг (сухої речовини);

d_1 і d_2 – початковий та кінцевий вологовміст сушильного агента, г/кг (сухої речовини);

r' – прихована теплота пароутворення, Дж/кг;

ψ – коефіцієнт, що враховує зниження швидкості випаровування вологи при її перерозподілі під дією поступового прогріву внутрішніх шарів насіння до максимально допустимої температури нагріву білкової частки зародка.

В даному вигляді модель дозволяє визначити значення температур теплоносія (повітря) та насіння на вході та виході з сушарки в залежності від, наприклад, витрати насіння та повітря через сушарку або від температури повітря на вході. При проведенні відповідних перетворень та внесенні доповнень можна визначити і інші параметри системи.

Приклад застосування імітаційної моделі системи (7) коли необхідно визначити залежність температури повітря та насіння на виході із сушарки при зміні витрати насіння наведений на рис. 1. Моделювання проводилось при сталих значеннях $t_1 = 50^{\circ}$ С, $\Theta_1 = 22^{\circ}$ С, $G_v = 1,04$ кг/с.

На рис. 2 показано варіант застосування моделі коли необхідно визначити залежність температури повітря та насіння на виході із сушарки при зміні витрати теплоносія. Моделювання проводилося при сталих значеннях $t_1 = 50^{\circ}$ С, $\Theta_1 = 22^{\circ}$ С, $G_z = 25$ кг/год.

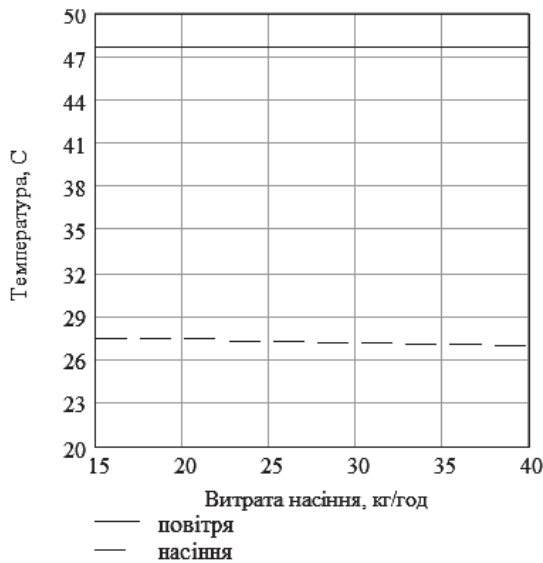


Рисунок 1 – Залежність температури повітря та насіння на виході з сушарки від витрати насіння

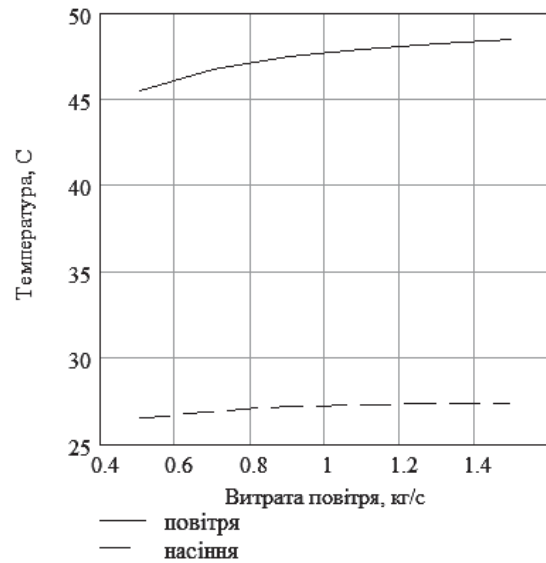


Рисунок 2 – Залежність температури повітря та насіння на виході з сушарки від витрати повітря

Розв'язавши систему (7) відносно t_2 та Θ_2 і змінюючи температуру повітря на вході в сушарку, можна вибрати режим сушіння (рис. 3), орієнтуючись на максимально-допустиму температуру нагріву насіння ($\Theta_2 \leq 48^\circ\text{C}$).

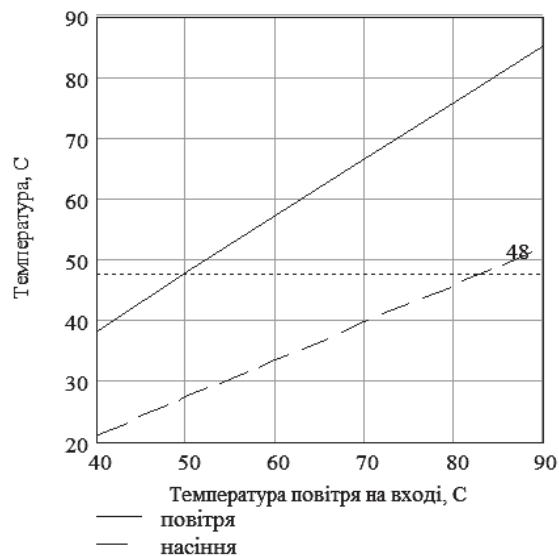


Рисунок 3 – Залежність температури повітря та насіння на виході з сушарки від температури повітря на вході

Таким чином, температуру насіння на виході з сушарки можна регулювати за допомогою зміни витрати насіння, теплоносія або його температури.

Висновки. Дослідження, проведені за допомогою статичної імітаційної математичної моделі теплового балансу системи, показують, що зміна витрати насіння та теплоносія впливає на температуру насіння в значно меншій мірі, чим зміна температури теплоносія на вході в сушарку.

Баланс вологи системи моделюється аналогічним чином.

Використання даних моделей дає можливість розрахунковим шляхом обирати режими роботи сушарки при відомих вхідних параметрах системи.

Список літератури

1. Голуб, Г.А. Інженерія виробництва гливи [Текст] / Г.А. Голуб, О.М. Гайденко, О.І. Кепко. – Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. – 448 с.
2. Детермінована математична модель руху насіння по каскадах зерносушарки каскадного типу [Текст] / М.М. Петренко, І.О. Скриннік, Д.В. Богатирьов [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2007. – Вип. 37. – С. 299-304.
3. Добрицький, О.О. Підвищення ефективності технологічного процесу сушіння та розробка конструкції сушарки високоволоного насіння баштанних культур : автореферат... канд. техн. наук, спец.: 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» [Текст] / Добрицький О.О.; М-во аграр. політики та продовольства Укр. Луганський нац. аграр. ун-т. – Луганськ, 2011. – 24 с.
4. Експериментальні дослідження впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на показники її роботи [Текст] / М.М. Петренко, І.О. Скриннік, Д.В. Богатирьов [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2006. – Вип. 36. – С. 29-34.
5. Модель зміни шпаруватості псевдорозрідження шару насіння на каскадах зерносушарки [Текст] / М.М. Петренко, І.О. Скриннік, М.О. Скриннік [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2008. – Вип. 38. – С. 258-264.
6. Модель переносу тепла в зерносушарці каскадного типу від каскаду до шару насіння [Текст] / М.М. Петренко, Т.Г. Сабірзянов, І.О. Скриннік [та ін.] // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2008. – Вип. 20. – С. 293-298.
7. Пат. UA 10346U Україна № 200503610 / Зерносушильна установка касетного типу: деклараційний патент UA 10346 U Україна / М.М. Петренко, І.О. Скриннік, Заявл. 18.04.2005; Опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11. – 4 с.
8. Петренко, М.М. Зерносушильна установка касетного типу для сушіння зернових культур [Текст] / М.М. Петренко, І.О. Скриннік // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2004. – Вип. 15. – С. 318-323.
9. Петренко, М.М. Визначення швидкості фільтрації та гідравлічного опору на каскадах сіток зерносушарки касетного типу / М.М. Петренко, І.О. Скриннік, Д.В. Богатирьов // Праці. Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь, 2005. – Вип. 34. – С. 160-165.
10. Результати експериментальних досліджень впливу основних параметрів на процес сушіння зернових культур у зерносушарці каскадного типу [Текст] / М.М. Петренко, І.О. Скриннік, Д.В. Богатирьов [та ін.] // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2007. – Вип. 3., Т. 12. – С. 53-59.
11. Науково-технологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдорозрідження [Текст] : монографія / М.М. Петренко, В.М. Сало, Д.В. Богатирьов [та ін.] – Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. – 212 с.

Oleg Kepko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Andriy Voytik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Olexsandr Pushka, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Ivan Lisoviy, PhD tech. sci.
Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Mathematical model of static dryer heat balance

In connection with constant growth of prices for energy sources, processing units, where there are thermal processes, require special attention due to the high share of energy consumption in the cost structure of products.

In the development of modern technology there are several main and auxiliary directions. One of these areas considers the issues of optimizing the operation of grain dryers operating in multi-factor environment. A compromise solution in this matter may be the minimization of energy consumption while maintaining the level of profitability.

Interesting object to study from the point of view of the multifactorial environment is dryer high wet seeds of gourds, the main feature of which is actually a multifactorial environment that incorporates the concept of a microclimate, which takes place in the drying zone of the seed and system of heat supply is an integral component of this environment the simulation of this system under the condition of complexity becomes a factor not only desirable and needed.

The proposed static model describes the system work of "drying agent – seeds" by optimizing the drying process due to the mathematical modeling of more complete use of heat and energy savings.

Factors which are subject to control and regulation, constitute a system, which includes the coolant temperature and seeds and their moisture content, size of the seed layer, the flow rate of the coolant and seeds. The main factors that influence the system are the environmental factors and input parameters of the coolant and seeds.

In the drying process parameters influencing the process require optimal operation of the dryer (control parameters). For example, the drying process can be regulated by changing the temperature of the coolant at the inlet to the dryer, the change of the area of contact of seeds with coolant, coolant supply or the seeds. At the same time on the drying parameters will be affected by uncontrolled parameters, such as initial seed moisture content and open air temperature.

You need to find the option that within specified conditions would ensure the achievement of the extremal (minimum) values of the heat losses.

On the basis of the operational model and the objective function, the efficiency of the process of drying is measured at a specific energy consumption of the process, the speed of drying of seeds and final moisture content. For study parameters of the dryer it is necessary to have data on changes in temperature, moisture content of the drying agent and seed during the drying process.

A mathematical model of the drying process allows to determine the dependence of air temperature and seed at the outlet of the dryer when you change the amount of seed and determine the dependence of the air temperature and seed at the exit of the dryer when you change the coolant flow. If the proposed model will be solved for the temperature at the outlet of the dryer and the final drying temperature, changing the temperature of the air entering the dryer, you can choose the drying mode, focusing on the maximum allowable heating temperature of the seeds.

Studies conducted using the static simulation of the mathematical model of the heat balance, show that the change of consumption of the seeds and the coolant affect the temperature of the seed to a much lesser extent than changing the temperature of the coolant at the inlet to the dryer. The use of these models allows by calculation select the modes of operation of the dryer with the known input parameters of the system.

drier, grain drier, thermal balance, seeds, heat carrier

Одержано 18.05.17

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

Ю.О. Ковальчук, доц., канд. техн. наук, О.С. Пушка, доц., канд. техн. наук, А.В. Войтік, доц., канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

E-mail: temp1405@mail.ru

Вплив поглинаючих покриттів на глибину лазерної обробки деталей сільськогосподарської техніки зі сталі 45

Досліджено вплив поглинаючих покриттів на глибину лазерної обробки з метою підвищення міцності та зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки зі сталі 45. Визначено, що найкращі результати мають місце у випадку застосування покриттів, що містять оксиди алюмінію та цинку, а також сажу у вигляді аерозолі, що призводить до значного збільшення глибини зони лазерного впливу. Правильний підбір поглинаючих покриттів забезпечить суттєве зростання коефіцієнта корисної дії лазера.

метод поверхневої лазерної обробки, лазерне зміцнення, гартування, сталь 45, зносостійкість, деталі сільськогосподарської техніки

© Ю.О. Ковальчук, О.С. Пушка, А.В. Войтік, 2017