

APPLICATION OF MODERN IN THE REPAIR AND REHABILITATION WORKS WILL BE CARRIED OUT

O. Okushko,
P. Kovtun

Abstract. *In the article the analysis of modern methods of repair and repair of equipment and equipment in repair shops is carried out. It is proposed to use electrostatic processing methods, which, due to the increase in requirements for the quality of the restoration of electrical equipment, as well as their technical and economic indicators, can not be replaced by other technologies, which allows more economical use of fuel and energy resources, electricity costs, creation of environmentally friendly technologies and protection the environment and so on.*

Keywords: *technology, repair, equipment, repair workshop, energy, electric field, processing, coating*

УДК 631.563.5:633.1

ДО ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ ДИНАМІКИ ТИПОВИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В. О. ГРИЩЕНКО, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
E-mail: vlgr@nubip.edu.ua

Анотація. *Визначено актуальність наявної математичної моделі типового об'єкта сільськогосподарського призначення з біологічним наповненням («дихаюча продукція», рослини, тварини), технологічні параметри якого змінюються як у часі, так і за координатою. Визначено типову систему диференціальних рівнянь у частинних похідних, яка з певними припущеннями достатньо точно описує процеси теплообміну повітряного потоку з елементами об'єкта.*

На прикладі процесу охолодження рослинного продукту в насипу активним вентиляванням повітрям з меншою, ніж продукт, температурою, подано наближені аналітичні розв'язки системи рівнянь у частинних похідних, які визначають динаміку об'єкта зі змінними за висотою насипу параметрами. Показано, що при застосуванні ступінчастого методу розрахунку безперервних процесів на основі математичного опису процесу в елементарному шарі можна точно описувати реальний процес охолодження дисперсного продукту, використовуючи чарунковий принцип побудови

© В. О. Грищенко, 2018

динамічної моделі. Розроблено в MATLAB/Simulink, як функціональні блоки, імітаційну модель процесу.

Ключові слова: математична модель, передатна функція, імітаційна модель

Актуальність. На сьогодні створення ефективної системи керування технологічним процесом або об'єктом сільськогосподарського призначення неможливе без використання математичних моделей динамічних властивостей об'єкта керування. Оскільки значна кількість об'єктів енергоспоживання передбачає наявність теплових та масообмінних процесів, що обумовлює значну інерційність (яка характеризується сталими часу, для отримання відгуку й транспортного запізнення для геометрії потоків впливу фізичного середовища), розгляд задачі моделювання в межах динамічних об'єктів з урахуванням розподіленості параметрів за координатою є обґрунтованим. Адекватне прогнозування поведінки такого об'єкта при збуреннях дозволить забезпечувати керування параметрами із застосуванням простих, практично використовуваних контролерів параметричного керування.

Нині актуальною є проблема підвищення стійкості до зберігання свіжозібраного врожаю рослинної продукції за місцем її виробництва шляхом охолодження вентилязованого повітря.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз існуючих літературних джерел свідчить, що здебільшого, розрахунок параметрів процесів на промислових сільськогосподарських об'єктах провадиться для стаціонарних режимів на підставі напівемпіричних залежностей, отриманих для конкретних умов, і слабо відображує реальний механізм явищ [1]. Складні інерційні об'єкти замінюються передатними функціями першого порядку із запізненням [2].

У фундаментальних працях [3, 4] на основі аналізу сільськогосподарських об'єктів подані моделі, що описують процес складними трансцендентними передатними функціями, використання яких значно ускладнює синтез САК. Числові методи [5] розв'язку динамічних задач потребують знання початкових умов і змінних коефіцієнтів. Наявність прикладних комп'ютерних програм дає можливість розрахувати перехідні процеси і за наявністю нелінійностей [6, 7]. Але типові програми MatCAD і MATLAB не дають можливості врахувати розподіленість параметрів.

Мета дослідження – проаналізувати підходи до створення математичних моделей об'єктів із розподіленими параметрами і визначити найбільш раціональну форму опису динаміки об'єктів із розподіленими параметрами.

Матеріали і методи дослідження. Для визначення динамічних характеристик об'єктів моделювання використано аналітично-розрахунковий метод, сутність якого полягає в наступному: на основі апріорної інформації про фізичну картину явищ, що відбуваються при взаємодії поверхні продукту із джерелом тепловиділень (біохімічного

характеру), з потоком повітря, складаються рівняння теплового балансу в диференціальній формі з частинними похідними, які враховують зміну параметрів потоку за координатою.

Результати досліджень та їх обговорення. За характером теплових і матеріальних потоків і зв'язків між ними технологічні процеси (наприклад, нагрівання матеріалу, сушіння, охолодження і вентиляція приміщень), з урахуванням їх цільового призначення і які реалізуються на відповідних об'єктах (виробничі приміщення, плодо- і зерно сховища, сушарки, технологічні установки) прийнято вважати типовими об'єктами АПК (об'єктами керування). Типові об'єкти (процеси) можна описати ідентичними за структурою диференціальними рівняннями. Оскільки типові об'єкти мають розподілені за координатою руху матеріальних потоків і змінні в часі параметри, то математичний опис їх динамічних характеристик здійснюють системою диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Так, динаміка процесів тепло при охолодженні або сушінні рослинної продукції з біологічними тепловиділеннями, примусовим вентиляванням описується системою диференціальних рівнянь [6, 7]:

$$\begin{cases} c_{np} m_{np} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = q_{np} F_p - \alpha f F_n (\theta_{np} - t) \\ m_v c_v \frac{\partial t}{\partial \tau} + G_v H \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha f F_n (\theta_{np} - t) \end{cases} \quad (1)$$

де θ, t – температура рослинної продукції та повітря;

F_p, F_{np}, F_n – площа решітки, поверхня продукту та вільного об'єму шару в перетині;

V – швидкість повітря в перетині;

α – коефіцієнт теплообміну;

q_{np} – питомі тепловиділення на одиницю висоти вздовж координати x ;

ρ_n, ρ_{np} – густина повітря і продукту;

G_v – витрати повітря;

m_v, m_{np} – маса повітря і продукту в об'ємі насипу;

H – висота насипу.

Дана модель отримана при використанні загальноприйнятих типових припущень [3, 6].

Математична модель динаміки теплообміну описує цілий ряд типових теплообмінних процесів: нагрівання кульових тіл у шарі за наявності джерел або стоків теплоти в об'ємі [8], охолодження коренеплодів [9], сушіння дисперсного матеріалу в щільному шарі [10], динаміку одношарового ТВЕ [4], активне вентилявання зерна [3] і вентилявання тваринницьких приміщень.

Точного аналітичного рішення системи (1) не існує, тому використовують наближені методи розв'язку: у вигляді передатних функцій, рядів, чарункових моделей.

Найбільш характерним об'єктом із розподіленими параметрами, є вентиляований (з метою охолодження) насип зернового матеріалу (або плодоовочевої продукції). Процеси теплообміну в насипу рослинної продукції з біологічними тепловиділеннями при фільтрації повітря крізь шар описано системою диференціальних рівнянь.

Використовуючи перетворення за Лапласом [4], розв'язок отримують у вигляді передатних функцій. Як приклад, наводимо (виключаючи подробиці перетворення) передатні функції, отримані із системи (1) по каналах температура повітря в шарі – температура повітря на вході і температура продукту – температура повітря на вході:

$$\begin{cases} \bar{t}, p = e^{-A \cdot \bar{x}} \\ t_1, p = \frac{\theta, p}{t_1, p} = B \cdot e^{-A \cdot \bar{x}} \end{cases}; \quad (2)$$

де $A, p = \frac{a_1 p^2 + a_2 p - a_3}{T p + 1}$; $B, p = \frac{a_5}{T p + 1}$; $T = \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot F}$; $a_1 - a_5$ – сталі коефіцієнти, що визначаються зі співвідношень коефіцієнтів рівнянь (1).

Трансцендентні передатні функції можуть бути зведені до суми звичайних дробно-раціональних передатних функцій розкладення в ряд функції $\exp(-A \cdot \bar{x})$, оскільки використовувати в технічних розрахунках трансцендентні функції утруднено.

Для отримання наближеного аналітичного розв'язку рівнянь типу (1) найбільш класичним є спосіб інтегрування рівняння другого порядку у частинних похідних. Нехтуючи першою складовою рівняння (1) (її значення становить 0,05 % з величини другого члена рівняння) перепишемо рівняння у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{1}{B} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = t - \theta + \varepsilon \\ \frac{1}{A} \frac{\partial t}{\partial x} = \theta - t \end{cases}, \quad (3)$$

де $A = \frac{\alpha f}{HGc}$; $B = \frac{\alpha f}{mc}$; $\varepsilon = \frac{q_v}{\alpha \rho F}$.

Виключаючи з рівнянь (3) величину t з урахуванням $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot (\theta - \theta_0)$ (джерело тепловиділень негативне і пропорційне різниці температур), матимемо:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x \partial \tau} + A \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + B \cdot \theta + \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

Отримане гіперболічне рівняння другого порядку розв'язується методом інтегральних перетворень Лапласа-Карсона при таких

початкових і граничних умовах [11]: $\theta|_{\tau=0} = \theta_0$; $t|_{\tau=0} = t_0$, розв'язок має такий вигляд:

$$\theta(x, \tau) = \theta_0 + \theta_1 - \theta_0 \exp(-Ax) \int_0^\tau \exp(-b\tau) J_0(\sqrt{Abx\tau}) d\tau. \quad (5)$$

Підставляючи (5) в (4) отримаємо формулу для визначення температури теплоносія:

$$t(x, \tau) = \theta_0 + \theta_1 - \theta_0 \exp(-Ax) \left[\exp(-b\tau) J_0(\sqrt{Abx\tau}) + b \int_0^\tau \exp(-b\tau) J_0(\sqrt{Abx\tau}) d\tau \right], \quad (6)$$

де $b = B(1 - \varepsilon_0)$.

Інтеграл, що входить в формули (5) і (6), може бути обчислено шляхом розкладання функції Бесселя в ряд і обмежитися першими трьома членами (похибка не перевищить 1 %).

При обмеженні тільки одним членом ряду (із завищенням результату до 10 %): матимемо спрощені формули:

$$\theta(x, \tau) \approx \theta_0 + \theta_1 - \theta_0 \exp(-Ax) [1 - \exp(-b\tau)], \quad (7)$$

$$t(x, \tau) = \theta_0 + \theta_1 - \theta_0 \exp(-Ax).$$

Найбільш точні дані про динамічні властивості розподіленого об'єкта можна отримати використовуючи чарункову математичну модель [6, 7], на основі опису процесу в елементарному шарі. Приймаючи температуру продукту в елементарному шарі незмінною за висотою в напрямку руху повітря, зробимо в рівнянні (3) заміну $\frac{\partial t}{\partial x} \approx \frac{dt}{dx} \approx \frac{\Delta T}{\Delta x} \approx \frac{t_2 - t_1}{H}$

і отримаємо потрібну рівність:

$$Q + mc \frac{d\theta}{d\tau} = Gc(\theta_2 - t_1) = \alpha f(\theta - t). \quad (8)$$

Використовуючи поняття коефіцієнта охолодження: $\eta = \frac{t_2 - t_1}{\theta - t_2}$, (де t_1, t_2 – температура повітря на вході і виході насипу продукту) з другої і третьої частини рівностей (8) отримаємо: $\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\alpha f}{G_v c_p}\right)$.

На основі першої і третьої частини рівностей сформулюємо математичний опис нестационарного теплообміну в шарі продукту у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\theta_1}{d\tau} = -k(\theta_1 - t_1) + p; \quad t_1 = t_v = const \\ \frac{d\theta_2}{d\tau} = -k(\theta_2 - t_2) + p; \quad t_2 = t_1 - \eta + \eta\theta_1 \\ \dots \\ \frac{d\theta_n}{d\tau} = -k(\theta_n - t_n) + p; \quad t_n = t_{n-1} - \eta + \eta\theta_{n-1} \end{array} \right. \quad (9)$$

Для аналізу математичного опису нестационарного процесу охолодження створена імітаційна модель в MATLAB/Simulink (рис. 1) і отримані залежності зміни температури продукту в часі й за координатою (рис. 2).



Рис. 1. Загальна схема імітаційної моделі теплових режимів у насіпу вентилязованого продукту

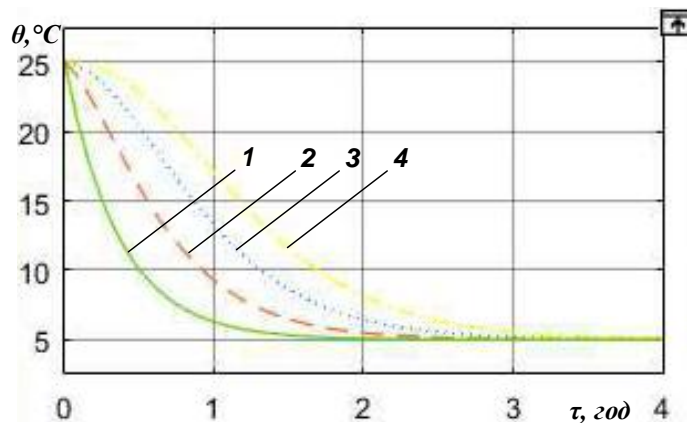


Рис. 2. Зміна температури продукту в часі на висоті:
1 – 0,6 м; 2 – 1,2 м; 3 – 1,8 м; 4 – 2,4 м

Висновки і перспективи. 1. Моделювання процесу охолодження продукту дає змогу за наближеними формулами відтворити процес зміни температури продукту та повітря в часі й за висотою шару.

2. Отримана імітаційна модель MATLAB/Simulink може бути використана для синтезу і аналізу САК процесом охолодження або нагрівання продукції.

Список літератури

1. Жадан В. З. Теоретические основы кондиционирования воздуха при хранении сочного растительного сырья / В. З. Жадан. – М. : Пищевая промышленность, 1972. – 154 с.
2. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов : учеб. для вузов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М. : Колос, 2005. – 344 с.
3. Мартыненко И. И. Автоматизация управления температурно-влажностными режимами сельскохозяйственных объектов / Мартыненко И. И., Гирнык Н. Л., Полищук В. М. – М. : Колос, 1984. – 152 с.
4. Шевяков А. А. Инженерные методы расчета динамики теплообменных аппаратов / А. А. Шевяков, Р. В. Яковлева. – М. : Машиностроение, 1968. – 320 с.
5. Математическое моделирование процессов конвективной сушки / [М. Л. Гирнык и др.]. – К. : Будивельник, 1993. – 248 с.
6. Котов Б. И. Математическое моделирование динамических режимов принудительного вентилирования плодов и овощей в плотном слое / Б. И. Котов, В. А. Грищенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ, 2014. – Вип. 148. "Механізація сільськогосподарського виробництва". – С. 382–388.
7. Котов Б. І. Ідентифікація закономірностей тепло- і масоперенесення в процесах охолодження і зберігання рослинної сировини / Б. І. Котов, В. О. Грищенко // Збірник наукових праць Кіровоградського державного університету. – Кіровоград, 2004. – Вип. 14. – С. 19–24.
8. Волков М. А. Тепло- и массообменные процессы для хранения пищевых продуктов / Волков М. А. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.
9. Бодров В. И. Аналитическое исследование теплового режима насыпи картофеля и овощей при активной вентиляции / Бодров В. И., Трошин В. Г. // В кн. : Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Рига, Риж. политехн. ин-т, 1979. – С. 47–53.
10. Котов Б. І. Аналітичне дослідження тепломасопереносу в товстому шарі матеріалу при двостадійному процесі сушіння зерна / Б. І. Котов, Р. А. Калініченко // Науковий вісник НУБіП України. – 2011. – № 166, ч. 4. – С. 138–147.
11. Рабинович Г. Д. Некоторые задачи нестационарного теплообмена в слое дисперсного материала / Рабинович Г. Д. // Инж.-физич.журнал. – 1960. – Т. 3. – № 4. – С. 73–80.

References

1. Zhadan, V. Z. (1972). Teoreticheskie osnovy konditsionirovaniya vozdukha pri khranenii sochnogo rastitel'nogo syr'ya [Theoretical foundations of air conditioning during storage of juicy plant material]. Moscow: Food industry, 154.
2. Borodin, I. F. (2005). Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov: uchebnik dlya vuzov [Automation of technological processes: a textbook for universities]. Moscow: Kolos, 344.
3. Martynenko, I. I., Girnyk, N. L., (1984). Avtomaticheskoe upravlenie temperaturno-vlazhnostnymi rezhimami sel'skhozajstvennyh obektov [Automatic control of temperature-humidity modes of agricultural facilities]. Moscow: Kolos, 152.

4. Shevyakov, A. A., Yakovleva, R. V. (1968). Inzhenernye metody rascheta dinamiki teploobmennyykh apparatov [Engineering methods for calculating the dynamics of heat exchangers]. Moscow: Mashinostroenie, 320.
5. Girnyk, M. L. ed (1993). Matematicheskoe modelirovanie protsessov konvektivnoy sushki [Mathematical modeling of convective drying processes]. Kiev.: Budivel'nik, 248.
6. Kotov, B. I., Grishchenko, V. A. (2014). Matematicheskoe modelirovanie dinamicheskikh rezhimov prinuditel'nogo ventilirovaniya plodov i ovoshchey v plotnom sloe [Mathematical modeling of dynamic modes of forced ventilation of fruits and vegetables in a dense layer]. News of Kharkiv National Technical University of the Syllable State. Peter Vasilenko, 148, 382–388.
7. Kotov, B. I., Hryshchenko, V. O. (2004). Identyfikatsiia zakonmirnostei teplo- i masoperenesennia v protsesakh okholodzhennia i zberihannia roslynnoi syrovyny [Identification of the laws of heat and mass transfer in the processes of cooling and storage of plant material]. Collection of scientific works of Kirovograd State University, 14, 19–24.
8. Volkov, M. A. (1982). Teplo- i massoobmennye protsessy dlya khraneniya pishchevykh produktov [Heat and Mass Transfer Processes for Food Storage]. Moscow: Light and Food Industry, 272.
9. Bodrov, V. I., Troshin, V. G. (1979). Analiticheskoe issledovanie teplovogo rezhima nasypi kartofelya i ovoshchey pri aktivnoy ventilyatsii [Analytical study of the thermal regime of embankment of potatoes and vegetables with active ventilation]. Ventilation and air conditioning, 47–53.
10. Kotov, B. I., Kalinichenko, R. A. (2011). Analitichne doslidzhennia teplomasoperenosu v товstому shari materialu pry dvostadiinomu protsesi sushinnia zerna [Analytical study of heat and mass transfer in a thick layer of material at a two-stage process of drying grain]. Scientific Journal NUBiP Ukraine, 166 (4), 138–147.
11. Rabinovich, G. D. (1960). Nekotorye zadachi nestatsionarnogo teploobmena v sloe dispersnogo materiala [Some problems of non-stationary heat transfer in a layer of disperse material]. Engineering and Physics Journal, 3/4, 73–80.

К ВОПРОСУ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ ТИПОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В. А. Грищенко

Аннотация. *Определена актуальность имеющейся математической модели типового объекта сельскохозяйственного назначения с биологическим наполнением («дышащая продукция», растения, животные), технологические параметры которого изменяются как во времени, так и по координате. Определена типовая система дифференциальных уравнений в частных производных, которая с определенными допущениями достаточно точно описывает процессы теплообмена воздушного потока с элементами объекта.*

На примере процесса охлаждения растительного продукта в насыпи активным вентилярованием воздухом с меньшей, чем продукт, температурой, представлены приближенные аналитические решения системы уравнений в частных производных, определяющие динамику

объекта с переменными по высоте насыпи параметрами. Показано, что при применении ступенчатого метода расчета непрерывных процессов, на основе математического описания процесса в элементарном слое, можно точно описывать реальный процесс охлаждения дисперсного продукта, используя ячейковый принцип построения динамической модели. Разработана в MATLAB / Simulink в виде функциональных блоков имитационная модель процесса.

Ключевые слова: математическая модель, передаточная функция, имитационная модель

TO QUESTION OF MATHEMATICAL DESCRIPTION OF DYNAMICS OF TYPICAL AGRICULTURAL OBJECTS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

V. Hryshchenko

Abstract. *The article determines the relevance of the existing mathematical model of a typical object agricultural purpose with biological content ("breathing products", plants, animals) whose technological parameters vary both in time and coordinates. The definite system of differential equations in partial derivatives, with certain assumptions, accurately describes the processes of heat exchange of the airflow with the elements of the object.*

In the example of the process of cooling the plant product in the mound by active ventilation with air with less than the temperature product, approximate analytic solutions of the system of equations in partial derivatives are given that determine the dynamics of the object with variables in the height of the mound by parameters. It is shown that when applying the step-by-step method for calculating continuous processes on the basis of the mathematical description of the process in the elementary layer it is possible to accurately describe the actual process of cooling the disperse product using the cell's principle of constructing a dynamic model. The simulation process model is developed in MATLAB / Simulink in the form of functional blocks.

Keywords: *mathematical model, transfer function, simulation model*