

Лахно В.А.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Осіпова Т.Ю.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Матус Ю.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ПІДТРИМКИ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ ЗЕРНА

У статті розглядається проблема автоматизації та підвищення ефективності інфрачервоного сушіння зерна з використанням комп'ютерних систем. Проаналізовано наявну літературу вітчизняних та іноземних авторів із проблемами автоматизації процесів інфрачервоного сушіння зерна. Описано процес побудови математичної моделі процесу сушіння зерна та її спрощену модель.

На першому етапі отримано модель елементарного шару зерна у вигляді системи алгебраїчних рівнянь, яка не придатна для постановки і розв'язання завдань оптимізації, але є невіддільним складником побудови моделей вищого рівня. На другому етапі формалізується модель, класифікується та структурно ідентифікується. Створюються моделі типових шарів зерна (пухких, щільних, псевдозріджених). Модель другого рівня являє собою систему лінійних диференціальних рівнянь, що описують кінетику процесу сушіння зерна. На третьому етапі здійснено декомпозицію, суперпозицію та власне моделювання умов сушильних камер. Показано, що модель третього рівня в узагальненому вигляді являє собою систему диференціальних рівнянь у частинних похідних, що описують динаміку процесу сушіння зерна. На четвертому етапі моделювання здійснено функціональну і параметричну ідентифікацію процесів в усталеному стані зерна у будь-якому режимі. Зазначено, що модель четвертого рівня є нелінійною системою звичайних диференціальних рівнянь, що описують результуючу динаміку процесу сушіння зерна.

На основі цих моделей побудовано загальну модель процесу сушіння зерна в шарі. Розглянуто задачу з автоматизації системи управління процесом ІЧ сушіння зерна (на підставі формалізованих математичних моделей) з використанням дружнього інтерфейсу із зрозумілими компонентами керування та подання прогностичної та результуючої інформації.

Вказано на складність перенесення ІЧ випромінювання в реальних сушильних установках, що супроводжується також іншими механізмами перенесення енергії, як-от теплопровідність, конвекція.

Наголошено на складності проектування програмного забезпечення, що адекватно описує всі можливі ситуації, які виникають у процесі сушіння зерна.

Ключові слова: інфрачервоне сушіння, зерно, температура, тепловий потік, математична модель, температурне поле, сушильна камера.

Постановка проблеми. Інфрачервоне сушіння продуктів харчування, зокрема зерна, як технологічний процес ґрунтується на тому, що інфрачервоне випромінювання активно поглинається водою, що міститься у продукті, але не поглинається тканиною висушеного продукту. Тому видалення вологи можливе за невисокої температури (313–333 К, тобто 40–60°C), що дає можливість практично повністю зберегти вітаміни, біологічно активні речовини, природний колір, смак і аромат продуктів, які піддаються сушінню.

Інфрачервоний метод сушіння має істотні переваги над традиційним, конвекційним методом, який широко використовується на вітчизняних елеваторах. Насамперед, це, безумовно, економічний ефект. Швидкість і енергія, що витрачаються під час інфрачервоної сушки, в рази менші від тих самих показників, що витрачаються за традиційних методів. Окрім того, позитивним побічним ефектом інфрачервоного сушіння є стерилізація продуктів харчування, збільшення стійкості до впливу мікроорганізмів тощо.

Ефективність електротехнічних засобів ІЧ-випромінювання зумовлена застосуванням нових, науково обґрунтованих методів і засобів управління енергопідведенням із використанням контролерів і ПК, нових інформаційних технологій і систем. Необхідність і ефективність інформаційної підтримки технологічного процесу ІЧ-сушіння зерна визначаються потребами керування ним, що дає можливість досягти високих техніко-економічних показників шляхом зменшення втрат кінцевого продукту, витрат сировини, умовного палива або електроенергії. Ефективні інформаційні технології, а також автоматизовані системи управління різного рівня дають можливість не тільки забезпечити підтримку окремих технологічних параметрів на заданому рівні, але й здійснювати оперативне управління з метою визначення оптимальних технологічних режимів роботи як окремих об'єктів, так і технологічних комплексів (далі – ТК).

Нині для промислових АСУ, що використовуються на елеваторах і зерносховищах, є відпрацьовані методики математичного опису процесів тепло- і масообміну, на підставі яких створено досить адекватні математичні моделі об'єктів. Однак самі методи керування зводяться здебільшого до стабілізації режимних параметрів за окремими контурами [8, с. 184; 9, с. 196; 1, с. 53–67; 6, с. 76], що надзвичайно спрощує процес управління, нерідко – на шкоду його якості. Характерним недоліком наявних систем автоматизації є відсутність можливості оперативного коригування параметрів теплоносія, що подається в сушильну камеру в процесі сушіння без участі оператора, що призводить до ситуацій перегріву зерна і, відповідно, зниження його біологічних і харчових параметрів [8, с. 23; 1, с. 86].

Наявність різних варіантів протікання технологічного процесу ІЧ-сушіння зерна зумовлює необхідність застосування нестандартних способів розпізнавання ситуацій у вигляді деякого набору експертних знань про властивості матеріалу і доцільність створення модуля АСУ процесом сушіння. Інформаційна підтримка технологічного процесу ІЧ-сушіння повинна включати в себе розроблення інформаційно-аналітичної бази даних про матеріал, модуль прогнозування для визначення теплоємності, вмісту вологи, білків, клейковини тощо, які дають змогу знизити втрати під час ІЧ-сушіння порівняно з традиційною технологією управління процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток теорії та технології

сушіння інфрачервоними променями зробили дослідження таких авторів: М. Дерибере, Р. Борхерта, А.С. Гінзбурга, П.Д. Лебедева, О.В. Ликова, І.Б. Левітіна та інших учених [9, с. 3–11].

Електромагнітне випромінювання в інфрачервоній ділянці зумовлене переходом електронів в атомах генератора випромінювання з одних орбіт на інші, внаслідок чого виділяються кванти енергії (фотони). Короткохвильові інфрачервоні промені мають сильніший вплив на зернові продукти, як завдяки глибині проникнення, так і через більш ефективний вплив на молекулярну структуру продуктів.

Методологічні основи процесів зерносушіння ґрунтуються на теорії сушіння капілярно-пористих колоїдних тіл, без урахування параметрів зернового шару. Це стримує пошук нових способів, методів, параметрів і режимів. Тому для збільшення ефективності процесів сушіння свіжозібраного зерна потрібне подальше вивчення закономірностей взаємопов'язаного тепловологоперенесення в сушильних камерах зерносушарок різного типу. Цим питанням присвячені роботи О.В. Ликова, С.Д. Птіцина, Л.В. Колесова, Н.М. Андріанова, Н.І. Маліна, Ю.А. Михайлова, А.Ф. Ерка та інших учених [9, с. 11].

Постановка завдання. Математичне моделювання процесу ІЧ-сушіння зерна з урахуванням перспектив розроблення інформаційної системи підтримки автоматизованого процесу керування сушінням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Хід побудови математичної моделі процесу сушіння включає в себе чотири етапи (рис. 1), на кожному з яких є можливість отримання математичної моделі відповідного рівня.

1 етап – концептуалізація. Отримання моделі елементарного шару (спрощеної моделі у вигляді системи алгебраїчних балансових рівнянь із використанням енерго- і масобалансового методу, положень теорії сушіння і методу термодинамічної аналогії) між добре вивченими тепловими процесами і не досить дослідженими теплофізичними проблемами і, як наслідок, складний математичний опис вологісними процесами [11, с. 7589]. Модель першого рівня являє собою систему алгебраїчних рівнянь, які наближено описують статику процесу сушіння. Вона не придатна для постановки і розв'язання завдань оптимізації, але є невіддільним складником побудови моделей вищого рівня.

Для розрахунку температури зернової маси за просторовою координатою в цій системі можна

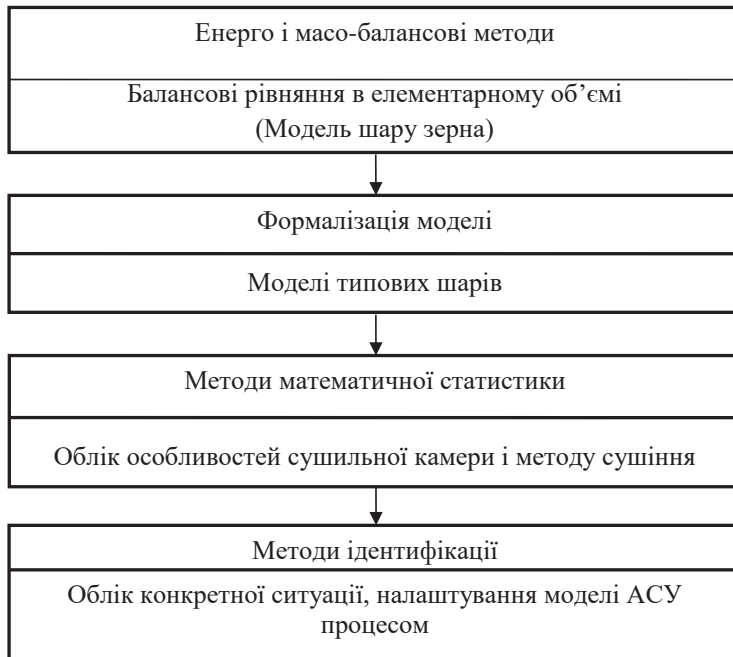


Рис. 1. Схема побудови математичної моделі процесу

використовувати основне рівняння теплопровідності [1, с. 45]:

$$\frac{\partial(\rho_i \cdot c_i \cdot T)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + E, \quad (1)$$

де E – густина теплового потоку $E = f(x, y, z, \tau)$; $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ – швидкість зміни внутрішньої енергії зернової маси на одиницю об'єму;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м К.

Розрахунок розподілу температури в процесі сушіння зернової маси в тривимірному об'ємі шляхом вирішення системи рівнянь теплопровідності для АСУ ТП на практиці є досить складним. Зокрема, внаслідок великої кількості датчиків, які відстежують зміну температури за просторовими координатами.

Тому запропоновано застосувати більш простий варіант моделювання, з урахуванням того, що це завдання належить до завдань нестационарної теплопровідності за відсутності суттєвого внутрішнього тепловиділення зернової маси. В такому разі завдання можна звести до двовірної. Тобто температура залежить тільки від координат X і Y (розподіл по довжині і висоті зернової маси). Тому після спрощення рівняння теплопровідності набуде такого вигляду:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \quad (2)$$

Від розподілу температури по просторовій координаті X перейдемо до більш зручного

розв'язання завдання розподілу температури за часом, зробивши припущення, що зернова маса не рухається (або швидкість руху незначна і конвективний складник не впливає на розподіл температури), а кожна її ділянка піддається сушінню із застосуванням ІЧ-випромінювання.

З метою обґрунтованого вибору раціонального режиму ІЧ-сушіння для різних параметрів зернової маси (насамперед по вологості) математична модель повинна включати в себе терморадіаційні характеристики (далі – ТРХ) матеріалу (тобто зернової маси). Оскільки ІЧ-сушіння здійснюється під час опромінення інтегральним потоком і інтегральні ТРХ залежать від виду ІЧ-генераторів і умов опромінення, то для розрахунку полів температур можна використовувати [1, с. 183] диференціально-різницевий метод роз-

рахунку розподілу за товщиною шару об'ємної щільності енергії поглинання випромінювання.

З урахуванням вищенаведеного рівняння розподілу нестационарного температурного поля набуде такого вигляду:

$$\left[\frac{\partial T}{\partial \tau} \right] = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad 0 \leq z \leq h, \quad \tau > 0. \quad (3)$$

Подібне завдання вирішується з урахуванням граничних умов третього роду, що представлені в такому вигляді:

$$\begin{cases} z = 0 : & \lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_k \cdot (T_{z_0} - T_k), \\ z = h : & \lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_o \cdot (T_{z_o} - T_o), \\ \tau = 0 : & T_z = T_n, \end{cases} \quad (4)$$

де T_{z_0}, T_k – температура зернової маси на межі конвеєра і повітря, К;

T_{z_o}, T_o – температура конвеєра (шнека) і повітря, К;

λ, λ_B – коефіцієнти теплопровідності зерновки і повітря, Вт/м К;

α_o, α_k – коефіцієнти тепловіддачі повітря і конвеєра, Вт/м² К.

З метою отримання більш достовірного результату необхідно мати початкові умови. Тоді можливо буде замінити диференціальні рівняння в частинних похідних рівнянням у вигляді кінцево-

різницевих апроксимацій для похідних і задача буде зведена до рівнянь такого вигляду:

$$\frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\Delta\tau} = \alpha \cdot \frac{T_{j+1}^n - 2 \cdot T_j^n + T_{j-1}^n}{\Delta x^2}. \quad (5)$$

Усередині сушильної камери треба створити температурне поле, яке забезпечило б сушіння зернової маси. Контроль за полем здійснюється в n точках за допомогою датчиків одного класу і типу:

$$T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_n = T_{зад} \pm \Delta T_{зад}. \quad (6)$$

Більш точні наближення кінцево-різницевих апроксимацій одержимо за похідною τ .

2 етап – формалізація, класифікація і структурна ідентифікація. Створення моделей типових шарів:

- щільних: нерухомого, малорухливого і такого, що рухається з механічним перемішуванням;
- пухких: розпушеного з інтенсивним механічним перемішуванням і пухкого, що поєднує фази щільного стану з гравітаційно падаючим і киплячим;
- псевдозріджених: фонтануючого, віброкиплячого, зваженого.

На основі цих моделей – побудова загальної моделі процесу сушіння зерна в шарі.

Модель другого рівня являє собою систему лінійних диференціальних рівнянь, що описують кінетику процесу сушіння зерна (для щільного рухомого шару – диференціальні рівняння субстанціонального перенесення).

Перехід від другого етапу створення математичної моделі до третього (тобто від рівнянь шарів до рівняння сушильної камери, яка може містити деяку кількість різних або однорідних типових шарів із певними порядковими номерами і значеннями параметрів для кожної зони сушіння) здійснюється за допомогою методів математичної композиції рівнянь шарів зон, складників сушильної камери.

3 етап – декомпозиція, суперпозиція, власне моделювання. Побудова узагальнених імітаційних моделей для сушильних камер заданого типу (в нашому випадку з використанням ІЧ-сушіння) з урахуванням системоутворюючих особливостей усередині конструкційних елементів сушильних зон із певною сукупністю або системою деякого фіксованого числа відомих типових шарів.

Модель третього рівня в узагальненому вигляді являє собою систему диференціальних рівнянь у

частинних похідних, що описують динаміку процесу сушіння.

Перехід від третього етапу до четвертого потребує наявності деякого обсягу експериментальних даних про процес в усталеному стані у будь-якому режимі (близькому до нормального), або даних про перехідні процеси, або статистичних даних про стан і вигляд зернового матеріалу для опису процесу сушіння. Він здійснюється з використанням методів ідентифікації (методом розв'язання оберненої задачі тепломасообміну, методом найменших квадратів, експериментальним способом). Ці методи можна використовувати послідовно в зворотному порядку їх переліку, тобто визначити початкові наближення значень коефіцієнтів моделі методом циліндричного зонда нестационарного теплового потоку на лабораторній установці (знайти теплофізичні параметри: коефіцієнти теплоємності, теплопровідності і температуропровідності як функції Y , T і, використовуючи їхній зв'язок через критерії подібності Re і $Nu(Re)$, отримати залежності теплообмінних параметрів: коефіцієнтів тепломасообмінних параметрів: коефіцієнтів тепло- $\lambda_i = f_1(W, T)$ і вологообміну $\psi_i = f_2(W, T)$ для кожного типового шару, яким відповідають різні критеріальні рівняння); або за допомогою експериментальних даних про процес у сушильній камері визначити їх методом найменших квадратів; проводити їх уточнення за кінцеве число ітерацій (залежно від близькості до еталонних значень початкового наближення) методом розв'язання оберненої задачі тепломасопереносу. На відміну від попередніх переходів, коли значення коефіцієнтів оцінювалися лише порядком і перехід супроводжувався похибкою, в цьому відбувається присвоювання їм конкретних числових значень.

4 етап – функціональна і параметрична ідентифікація. Ідентифікація функції, що визначає характер вологообміну, і коефіцієнтів, що характеризують теплообмін і вологообмін для конкретної ситуації – виду і стану зернового матеріалу і конструктивних особливостей конкретної сушарки певного типу, тобто налаштування моделі сушильної камери цього типу.

Модель четвертого рівня є нелінійною системою звичайних диференціальних рівнянь, що описують результуючу динаміку процесу сушіння.

У загальному випадку визначення часу, який потрібен для сушіння колоїдного капілярно-пористого тіла (яким є зерно), з початковим вмістом вологи Y_0 до вмісту вологи Y_e , засноване на нормалізованій функції швидкості сушіння:

$$\dot{M}_v = \dot{M}_{v,I}(T_\infty, X_\infty, \beta_g) \dot{v}(\eta), \quad (7)$$

де $\dot{M}_{v,I}$ – швидкість сушіння (кг/(м²г)) у I-му режимі, яка залежить від коефіцієнта масообміну β_g ; $\dot{v}(\eta)$ – нормуюча швидкість сушіння.

Нормалізовану функцію швидкості необхідно розглядати спільно із законом збереження для рідини, що випаровується [2, с. 32] –

$$\dot{M}_v \cdot F = M_s \cdot \frac{\partial Y}{\partial T}$$

У загальному випадку безрозмірний час сушіння можна описати такою залежністю:

$$\tau = \frac{M_{v,I} \cdot F}{M_s(Y_{cc} - Y_{hx})} \cdot T_p \quad (8)$$

Щодо задачі інформаційної підтримки технологічного процесу сушіння, то на наступному етапі роботи необхідно розглянути вектор рішень, прийнятих АСУ ТП або оператором для вибору оптимального режиму, оскільки дійсна швидкість сушіння \dot{M}_v майже завжди менша, ніж $\dot{M}_{v,I}$, дійсний час сушіння в режимі падіння швидкості майже завжди більший, ніж час, необхідний для випаровування вологи і зміни вмісту вологи від Y_{cc} до Y_{hx} .

Зв'язок між максимальною температурою T_{max} поверхні зернової маси, що опромінюється ІЧ-випромінюванням, щільністю потоку випромінювання E і коефіцієнтом поглинання поверхні \bar{A} виражається такою залежністю:

$$T_{max} = T_0 + \frac{\bar{A} \cdot E}{\alpha \cdot F}, \quad (9)$$

де T_0 – початкова температура, К.

Спектр випускання випромінювача обирається залежно від коефіцієнтів відбивання, поглинання і пропускання D зернової маси, значення яких визначають енергію, що поглинається в процесі сушіння.

Під час розрахунку променистого теплообміну в сушильних камерах (як і в будь-якому просторовому об'ємі, де використовуються ІЧ нагрівальні елементи) необхідно враховувати конвекційний складник тепловіддачі до повітря, що залежить від усередненої температури повітря:

$$T_{нов} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot F_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n a_i \cdot F_i}, \quad (10)$$

Завдання значно ускладнюється тим, що перенесення ІЧ-випромінювання в реальних сушильних

установках супроводжується також іншими механізмами перенесення енергії, як-от теплопровідність, конвекція. Додаткові труднощі виникають у зв'язку з істотною неоднорідністю полів температури, складу і селективністю радіаційних характеристик тіл як в обсязі середовища, так і на граничних теплосприймаючих поверхнях нагрівання. Усе це робить точне рішення поставленого завдання досить складним.

Під час опису нестационарного нагрівання зернової маси, пов'язаного з процесом взаємодії ІЧ-випромінювання і конвекційного теплообміну, зміни маси зерна в процесі вологовипаровування можна виразити такою залежністю [11, с. 7595]:

$$m \cdot c \cdot \frac{dT}{d\tau} = Q - F \cdot \chi \cdot (C_s \cdot T_n^4 - C_s \cdot T_o^4), \quad (11)$$

де T_n, T_o – початкова температура зернової маси і температура середовища відповідно, К;

Q – потужність теплового потоку, Вт;

χ – коефіцієнт переносу ІЧ-випромінювання;

C_s – постійна Стефана-Больцмана ($C_s = 5,6697 \cdot 10^{-8}$), Вт/(м² К⁴).

Для проектування програмного забезпечення, що адекватно описує всі можливі ситуації, які виникають у процесі сушіння, вочевидь, потрібно врахувати і різні умови експлуатації, що необхідно буде взяти до уваги в подальших дослідженнях.

Висновки. Застосування інфрачервоного випромінювання сприяє інтенсифікації процесу сушіння зерна внаслідок значного збільшення щільності теплового потоку на поверхні матеріалу, що опромінюється, і проникнення інфрачервоних променів усередину матеріалу. Інфрачервоні промені проходять шлях від генератора випромінювання до об'єкта опромінення за мільйонні частки секунди і (не зустрічаючи опору граничного шару, що спостерігається під час конвекційного сушіння) забезпечують ефективне нагрівання матеріалу шляхом інтенсифікації руху атомів і молекул в його поверхневих і глибше розташованих шарах. Інфрачервона сушка відбувається без участі в ній повітря, отже, скорочується кількість обладнання, що використовується в технологічному процесі, що, у свою чергу, збільшує надійність і відмовостійкість системи.

Виявлено, що робота автоматизованої системи управління (АСУ) багато в чому залежить від конкретної конструкції сушильної камери як об'єкта автоматизації та процесів теплообміну, що протікають у ній. Не менш важливо знати закономірності зміни теплових режимів матеріалу, що висушується, допустимі максимальні температури його нагріву.

Список літератури:

1. Атаназевич В.И. Сушка зерна. Москва, 1997. 256 с.
2. Бабкіна І.В. Удосконалення процесу теплової обробки харчових продуктів інфрачервоним випромінюванням : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12. Харків, 2001. 351 с.
3. Зверев С.В., Лигидов В.А., Утков Ю.А., Цымбал А.А., Погорелов М.С. Оценка полей облученности под плоским излучателем при радиационно-конвективной сушке фруктов. *Журнал. РАСХН «Хранение и переработка сельхозсырья»*. Москва, 2005. № 9. С. 63–64.
4. Лебединець І.В. Підвищення ефективності процесів та обладнання для теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12. Харків, 2003. 260 с.
5. Клямкин Н.К. ИК – сушка – перспектива развития сушильной отрасли. *Техника и оборудование для села*. Москва, 1999. 25 с.
6. Крикунова Л.Н., Андриенко Т.В., Черных В.Я. Влияние ИК обработки зерна пшеницы и ржи на параметры процесса его измельчения. *Журнал «Известия вузов. Пищевая технология»*. Краснодар, 2007. № 4. С. 76–77.
7. Купченко А.В. Вплив інфрачервоного опромінення на насіння зернових та олійних культур. *Журнал «Хранение и переработка зерна»*. № 2. Дніпропетровськ, 2003. С. 17.
8. Пунков С.П., Ким Л.В., Фейденгольд В.Б. Проектирование элеваторов и зернохранилищ с основами САПР : учебник / под ред. С.П. Пункова. Воронеж, 1996. 284 с.
9. Новохат О.А., Марчевський В.М. Інфрачервоне випромінювання в процесі сушіння паперу та зменшення викидів в атмосферу. *Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів* : зб. тез доп. наук.-практ. сем. студентів, аспірантів і молодих вчених, м. Київ, 22 квітня 2008 р. Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 2008. С. 29–30.
10. Цугленок Н.В. Имитационная модель функционирования сушильных установок. *Вестник КрасГАУ*. Красноярск, 2007. № 3. С. 196–200.
11. Lakhno V., Kasatkin D., Buriachok V., Palekha Y., Saiko V., Domrachev V. (2018). It support in decision-making with regard to infra-red grain drying management. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 96. Issue 22. 30 November 2018. P. 7587–7598.

Lakhno V.A., Osypova T.Yu., Matus Yu.V. USE OF COMPUTER SYSTEMS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF INFORMATION SUPPORT OF INFRARED GRAINE DRYING

The article deals with the problem of automation and increasing the efficiency of infrared grain drying using computer systems. The existing literature of domestic and foreign authors on the problems of automation of infrared drying of grain has been analyzed. The process of constructing a mathematical model of the grain drying process and its simplified model are described.

In the first stage, we obtained a model of the elementary layer of grain in the form of a system of algebraic equations, which is not suitable for setting and solving optimization problems, but is an integral part of constructing higher-level models. In the second stage, the model is formalized, classified and structurally identified. Models of typical layers of grain (loose, dense, fluidized) are created. The second level model is a system of linear differential equations describing the kinetics of the grain drying process. In the third stage, decomposition, superposition and in-house modeling of drying chamber conditions were performed.

It is shown that the third-level model in a generalized form is a system of partial differential equations describing the dynamics of the grain drying process. In the fourth stage of modeling functional and parametric identification of processes in steady state of grain in any mode is carried out. It is noted that the fourth level model is a nonlinear system of ordinary differential equations describing the resulting dynamics of the grain drying process.

On the basis of these models the general model of process of grain drying in a layer is constructed. The problem of automation of the control system of the IR drying of grain (based on formalized mathematical models) using a friendly interface with clear components of control and presentation of predictive and resultant information is considered.

Complexity of transfer of IR radiation in real drying installations is noted, which is accompanied by other mechanisms of energy transfer, such as thermal conductivity, convection.

The complexity of designing the software, which adequately describes all possible situations that occur during the grain drying process, is emphasized.

Key words: *infrared drying, grain, temperature, heat flux, mathematical model, temperature field, drying chamber.*