

УДК 631.365

## АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АНАЛІТИЧНОГО МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ ДИНАМІКИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Р. А. Калініченко, к. т. н., доцент, e-mail: [rkalinichenko@ukr.net](mailto:rkalinichenko@ukr.net)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Мета.** Розробити алгоритм визначення кінетичних коефіцієнтів в розв'язках аналітичних рівнянь тепло- і масопереносу (для випадку низькотемпературного конвекційного сушіння) безпосередньо з експериментальних досліджень параметрів кінетики сушіння зернових матеріалів, що з достатньою точністю дозволить здійснити параметричну ідентифікацію математичного опису зневоднення зерноматеріалів.

**Методи.** Аналіз аналітичних математичних моделей теорії тепло- масообміну, математико-статистичні методи теорії планування експерименту.

**Результати.** Обґрутована послідовність експериментально-розрахункових дій для визначення чисельних значень кінетичних масообмінних коефіцієнтів в аналітичному математичному

описі динаміки низькотемпературного сушіння конкретного зернового матеріалу.

**Висновки.** Розроблений алгоритм параметричної ідентифікації математичних моделей тепло- і масопереносу для адекватного аналітичного математичного опису динаміки низькотемпературного сушіння досліджуваного зерноматеріалу. Визначені масообмінні коефіцієнти математичних моделей зневоднення зернівки дозволяють аналітично визначати розвиток поля вологомісту зернівки в процесі сушіння, що необхідно для обґрутування раціональних режимів активного вентилювання і енергозберігаючого прийому відлежування зерна.

**Ключові слова.** Ідентифікація, сушіння зерна, кінетичні коефіцієнти, математичний опис.

UDC 631.365

## ALGORITHM OF PARAMETRIC IDENTIFICATION ANALYTICAL MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE DYNAMICS LOW TEMPERATURE DRYING OF GRAIN MATERIALS

R. A.Kalinichenko, PhD, associate professor, e-mail: [rkalinichenko@ukr.net](mailto:rkalinichenko@ukr.net)

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

**The purpose.** Develop an algorithm to determine the kinetic coefficients analytic solutions of the equations of heat and mass transfer (in the case of low-convection drying) directly from experimental studies of the kinetics parameters of dry grain materials with sufficient accuracy to allow for parametric identification of the mathematical description grain materials dehydration.

**Methods.** Analysis of analytical mathematical models of thermal mass transfer theory, mathematical methods of experiment planning theory.

**Results.** Grounded sequence of experimental and calculated actions to determine the numerical values of kinetic mass transfer coefficients in

analytical mathematical description of the dynamics of low grain drying concrete material.

**Conclusions.** The algorithm of parametric identification of mathematical models of heat and mass transfer for adequate analytical mathematical description of the dynamics of low-temperature drying zermomaterialu investigated. Defined mass transfer coefficients of mathematical models allow dehydration grains analytically determine the right moisture content in grains drying process that is needed to study the active ventilation mode and power saving reception softened grain.

**Keywords.** Identification, grain drying, kinetic coefficients, mathematical description.

УДК 631.365

## АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р. А. Калиниченко, к. т. н., доцент, e-mail: [rkalinichenko@ukr.net](mailto:rkalinichenko@ukr.net)

Національний університет біоресурсів і природопользовання України

**Цель.** Разработать алгоритм определения кинетических коэффициентов в решениях аналитических уравнений тепло- и массопереноса (для случая низкотемпературной конвекционной сушки) непосредственно из экспериментальных исследований параметров кинетики сушки зерновых материалов, что с достаточной точностью позволит осуществить параметрическую идентификацию математического описания обезвоживания зерноматериалов.

**Методы.** Анализ аналитических математических моделей теории тепло- массообмена, математико-статистические методы теории планирования эксперимента.

**Результаты.** Обоснована последовательность экспериментально-расчетных действий для определения численных значений кинетических массообменных коэффициентов в аналитическом математическом описании динамики низкотемпе-

**Проблема.** На сьогодні в Україні термічне сушіння основний метод підготовки свіжозібраного зерна до консервації. На сушіння зерна витрачається до 50% енергії, що йде на отримання готово продукту – кондиційного зерна. Зменшення енерговитрат на сушіння зернових матеріалів – актуальна проблема, яка вирішується двома основними шляхами, технічною модернізацією наявного сушильного обладнання і розробкою нових енергозберігаючих прийомів і режимів кондіціювання зерна та їх реалізації на наявних в господарствах установках. І перший і другий шлях вирішення проблеми енергозбереження ґрунтуються на математичному описі процесів тепло- і масообміну. Підвищення достовірності результатів математичного моделювання можна досягти правильним вибором математичних структур моделей або підвищеннюм достовірності кінетичних коефіцієнтів, що входять у вибрані математичні моделі[1]. Визначення ж тепло- масообмінних коефіцієнтів в більшості випадків пов'язано з труднощами методичного характеру і з

ратурного сушки конкретного зернового матеріала.

**Выводы.** Разработанный алгоритм параметрической идентификации математических моделей тепло- и массопереноса для адекватного аналитического математического описания динамики низкотемпературной сушки исследуемого зерноматериала. Определенные, в такой способ, массообменные коэффициенты математических моделей обезвоживания зерновки позволяют аналитически определять развитие поля влагосодержания зерновки в процессе сушки, что необходимо для обоснования рациональных режимов активного вентилирования и энергосберегающего приема отлеживания зерна.

**Ключевые слова.** Идентификация, сушка зерна, кинетические коэффициенты, математическое описание.

труднощами, пов'язаними з тим, що ці величини іноді не можуть бути виміряні безпосередньо і про них можна судити лише за результатами вимірювань інших фізичних параметрів, які тим чи іншим способом пов'язані із шуканими коефіцієнтами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі математичного опису процесу конвекційного сушіння зерна присвячені роботи багатьох дослідників, результати яких приведені в роботах [8, 10, 12, 15]. Загальний метод аналізу процесу сушіння зернового матеріалу базується на аналітичному рішенні диференціальних рівнянь тепло- і масопереносу всередині зернівки з урахуванням змінних параметрів сушильного агента.

Для використання в інженерних розрахунках розв'язків диференціальних рівнянь тепломасопереносу необхідно знати значення тепломасообмінних характеристик зернового матеріалу і його взаємодії з сушильним агентом.

Наявні в літературі [2,3,4, 7] небагаточислені дані про коефіцієнти тепло- і масопереносу зерноматеріалів можуть суттєво відрізнятися, оскільки, як показали експериментальні дослідження, всі кінетичні коефіцієнти при зміні температури і вологомісту змінюються доволі суттєво. Визначення коефіцієнтів тепло- і масопровідності ускладнюється також термоградієнтним переносом вологи і можливими внутрішніми фазовими перетвореннями. Розрахунки ж процесів тепло масообміну за аналітичними математичними моделями, можливі лише при наявності всіх коефіцієнтів, що входять у диференціальні рівняння. Це завдання параметричної ідентифікації математичних моделей може бути вирішено з використанням методів обернених задач на основі експериментальної інформації про об'єкт [5, 9].

Тому **метою** наших досліджень було розробити алгоритм визначення кінетичних коефіцієнтів в розв'язках аналітичних рівнянь тепло- і масопереносу (для випадку низькотемпературного конвекційного сушіння) безпосередньо з експериментальних досліджень параметрів кінетики сушіння зернових матеріалів, що з достатньою точністю дозволить здійснити параметричну ідентифікацію математичного опису зневоднення зерноматеріалів.

**Результати дослідження.** Нестаціонарні поля вологомісту і температури всередині капілярно-пористого вологого тілі визначаються системою диференціальних рівнянь збереження маси і теплоти, які при постійних коефіцієнтах переносу мають вид:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m (\nabla^2 U + \delta \nabla^2 \theta) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \nabla^2 \theta + \varepsilon_* \frac{r_c}{c_m} \frac{\partial U}{\partial \tau} \quad (2)$$

Розрахунок процесу сушіння за рівняннями (1-2) надзвичайно складний із-за зв'язаного тепло- і масопереносу в об'єктах сушіння. Взаємозв'язок обумовлений тим, що масообмінні коефіцієнти залежать від температури, а теплові від кількості вологи в матеріалі.

У зв'язку з цим, відповідно до [13], процес низькотемпературного сушіння доцільно розглядати як чисто масообмінний процес і розглядати лише одне кінетичне рівняння (1). Зауважимо, що низькотемпературне сушіння і досушування зерна є одним з найбільш енергоефективних способів доведення зерна до кондиційного стану за вологістю і температурою. За умов низькотемпературного сушіння зерна термодифузією в рівнянні (1) можна знектувати, тоді рівняння (1) для тіла у формі кулі запишеться так:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} \quad (3)$$

Для розв'язку рівняння (3) потрібно задати крайові умови. Границю умову для конвекційного сушіння можна задати балансом потоків вологи, що підводиться до поверхні тіла і відводиться від неї в повітряне середовище:

$$a_m \cdot \rho_0 \cdot (\nabla U) + \beta \cdot (U_n - U_c) = 0 \quad (4)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт зовнішнього вологобміну;  $\rho_0$  - густина сухої речовини матеріалу.

При початковому розподілі вологомісту  $U(r,0)=f(r)$ ,  $U(r,0)=U_0=const$  загальний розв'язок рівняння (3) при умові (4) буде мати вигляд[15]:

$$U(r,\tau) - U_p = (U_0 - U_p) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin(\mu_n) - \mu_n \cos(\mu_n))}{\mu_n - \sin(\mu_n) \cos(\mu_n)} \cdot \frac{\sin(\mu_n \frac{r}{R})}{r \cdot \mu_n} e^{-\mu_n^2 \frac{a_m \tau}{R^2}} \quad (5)$$

$\mu_n$  визначається з характеристичного рівняння:

$$\operatorname{tg}(\mu) = -\frac{1}{Bi_m - 1} \cdot \mu \quad (6)$$

де  $Bi_m$  – масообмінний критерій Біо, що характеризує співвідношення між інтенсивністю внутрішнього і зовнішнього масообміну і який рівний:

$$Bi_m = \frac{\beta}{a_m} R \quad (7)$$

де  $a_m$  – коефіцієнт вологопровідності матеріалу;  $R$  – еквівалентний радіус;  $\beta$  – коефіцієнт вологообміну між матеріалом і сушильним агентом.

Зміна середнього вологовмісту зернівки визначається із залежності:

$$\bar{U}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R r^2 U(r, \tau) dr \quad (8)$$

Якщо підставити (5) в (8) і тригонометричні функції замінити через  $\mu_n$  і масообмінний критерій Біо з характеристичного рівняння (6) і проінтегрувати отриманий вираз то відповідно до [11], отримаємо:

$$\bar{U}(\tau) = U_p + (U_0 - U_p) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6 Bi_m^2}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + Bi_m^2 - Bi_m)} e^{-\mu_n^2 \cdot \frac{a_m \cdot \tau}{R^2}} \quad (9)$$

Невідомий коефіцієнт  $a_m$  можна оціночно визначити за відомою формулою для ізотермічної дифузії [2]:

$$a_m = \frac{\lambda_m}{\rho_s \cdot C_m} \quad (10)$$

де  $C_m$  – ізотермічна масоємність зернівки;  $\rho_s$  – густина зернівки;  $\lambda_m$  – коефіцієнт масопровідності зернівки.

Значення ізотермічної масоємності визначаємо з формули, яка отримана апроксимацією даних з таблиць [7]:

$$C_m = 2.094 + 0.822 \cdot 10^{-3} \cdot T - 36.45 \cdot U + 191.082 \cdot U^2 - 195.68 \cdot U^3 \quad (11)$$

Формула (11) отримана в пакеті Statistica (рівень множинної кореляції  $R=0.99$ ).

Коефіцієнт масопровідності зернівки  $\lambda_m$  визначається із залежності [6]:

$$\lambda_m = \frac{109.7 \cdot 10^{-8} \cdot H_0^{2.05}}{\varphi \cdot (2.856 + H_0^{2.05})} \left[ 1 - 0.1901 \cdot H_0 + 0.0304 \cdot H_0^2 \right] \exp \left[ 0.96 \cdot H_0 + 12 \cdot \frac{T}{293} - 1 \right] \quad (12)$$

де  $H_0$  – ширина еквівалентної пори для вологовмісту  $U$  в зернівці, кг/кг;  $T$  – температура зернівки,  $^{\circ}\text{K}$ ;  $\varphi$  – відносна вологість сушильного агенту.,

Взаємозв'язок між  $U$  та  $H_0$  для пшениці можна визначити у вигляді співвідношення:

$$H_0 = -0.05287 + 4.33447 \cdot U - 4.0027 \cdot U^2 \quad (13)$$

Набагато складніше оцінити значення масообмінного критерію Біо, оскільки  $\beta$  – коефіцієнт зовнішнього вологообміну залежить від багатьох факторів і прямими вимірами його визначити неможливо, його величину можна оцінити лише за результатами вимірювань інших фізичних параметрів, які пов'язані із шуканим коефіцієнтом. Тому для оцінки масообмінного критерію Біо використовують критеріальні залежності, зокрема, відповідно до [14] для сушіння зернівки з початковою вологістю  $U=0.239-0.502\text{kg/kg}$ :

$$Nu_m = 3.80 \cdot 10^{-3} F_{\text{o}} m^{-0.78} Re^{0.44} \quad (14)$$

$$\text{де } Nu_m = \frac{2 \cdot \beta \cdot R}{D}; F_{\text{o}} m = \frac{a_m \cdot \tau}{R^2}; Re = \frac{2 \cdot v \cdot R}{v};$$

$D$  – коефіцієнт дифузії пару в сушильному агенті,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $v$  – коефіцієнт динамічної в'язкості сушильного агенту,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $v$  – швидкість фільтрації сушильного агента,  $\text{m}/\text{s}$ .

Рівняння (14) справедливе при  $100 \leq Re \leq 440$ ;  $0,005 \leq F_{\text{o}} m \leq 0,15$  з відносною похибкою 22,8%, тому для визначення масообмінних коефіцієнтів з більшою точністю доцільно провести

нескладні експериментальні дослідження, а саме дослідити кінетику сушіння зернівки і методом зворотних задач уточнити масообмінні коефіцієнти.

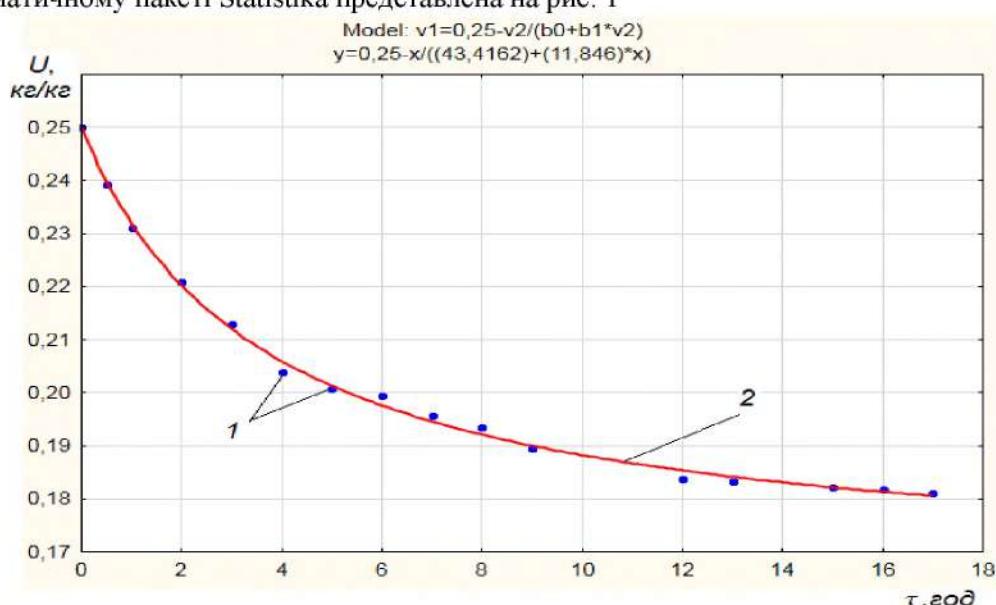
Для того, щоб зменшити вплив випадкових і систематичних похибок, які виникають при проведенні експерименту на результат визначення кінетичних коефіцієнтів, експериментальні дані перед їх використанням у вирішенні зворотної задачі масобміну, доцільно попередньо обробити (згладити, апроксимувати) і в подальших розрахунках використовувати масиви даних, що визначені за емпіричною залежністю.

Використовуватимемо дробово-лінійну функцію Н.Ф.Докучаєва і М.С.Сажина залежності вологомісту матеріалу від часу для апроксимації експериментальних даних:

$$\bar{U}(\tau) = U_0 - \frac{\tau}{b_0 + b_1 \tau} \quad (15)$$

де  $b_0$  і  $b_1$  – шукані коефіцієнти.

Графічна ілюстрація експериментальних точок і проведеної апроксимації в математичному пакеті Statistica представлена на рис. 1



**Рис.1.** Експериментальні точки зміни вологомісту зернівки за часом і теоретична залежність визначена за рівняння (15) (рівень кореляції  $R=0.999$ )

**Fig.1.** Experimental changes in moisture content weevil point in time and the theoretical curve defined by the formula (15) (level of correlation  $R = 0.999$ )

Для використання алгоритму Левенберга-Макварда для пошуку невідомих масообмінних коефіцієнтів ( $a_m$  – дифузії вологи і масообмінного критерію Біо– $Bi_m$ ) в рівнянні (9) за даними отриманими із емпіричної залежності, спочатку апроксимуємо розв'язки  $\mu_1$ – $\mu_6$  трансцендентного рівняння (6).

Для  $\mu_1$  після проведених числових експериментів з різними апроксимуючими математичними структурами в пакеті Statistica визначена емпірична залежність з найвищим рівнем множинної кореляції виду:

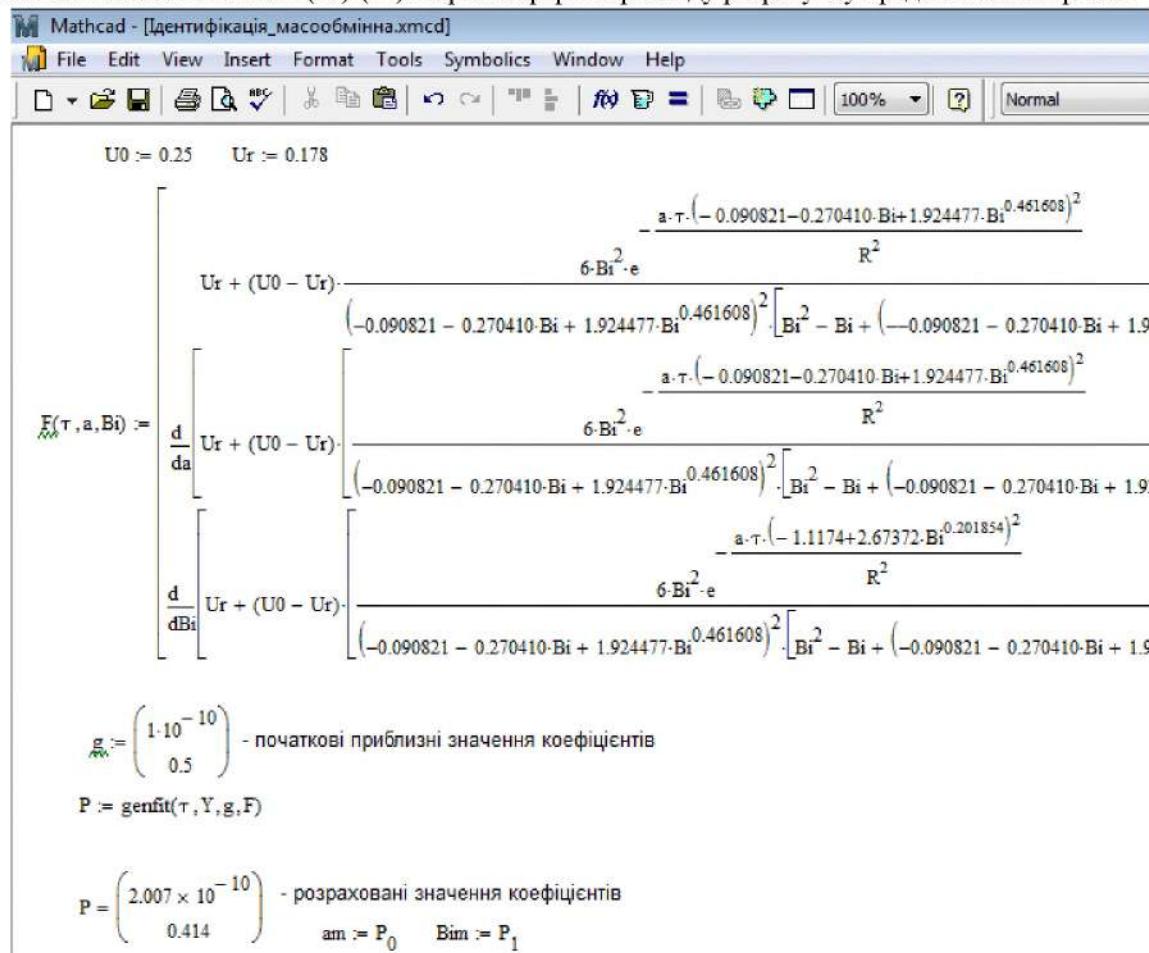
$$\mu_1 = b_0 + b_1 Bi_m + b_2 Bi_m^{b3} \quad (16)$$

Для  $\mu_2$ – $\mu_6$  апроксимуючі залежності від критерію Біо визначимо у вигляді поліному другого степеня:

$$\mu = b_0 + b_1 Bi_m + b_2 Bi_m^2 \quad (17)$$

Визначені залежності  $\mu_1$ – $\mu_6$  від  $Bi_m$  підставимо в залежність (9) і за допомогою вбудованої функції genfit у математичному пакеті Mathcad, що реалізовує алгоритм Левенберга-Макварда,

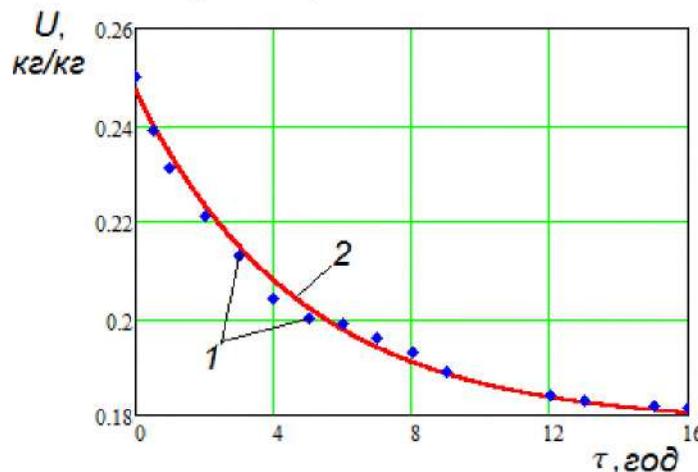
визначимо значення  $B_i m$  та  $a_m$  при яких залежність (9) буде найбільш точно описувати набір визначених масивів даних за залежністю (15). Початкові апріорні приблизні значення  $a_m$  і  $B_i m$  визначали за залежностями (10)-(14). Екранна форма прикладу розрахунку представлена на рис.2.



**Рис.2.** Екранна форма визначення коефіцієнтів у математичному пакеті Mathcad

**Fig.2.** Screenshot determining factors in the mathematical package Mathcad

На рис.3. представлені експериментальні точки і крива отримана за аналітичною залежністю (9) ( $a_m$  і  $B_i m$  визначені функцією genfit в Mathcad).



**Рис.3.** Кінетика сушіння (1 – експериментальні точки, 2 – крива за аналітичною залежністю (9))

**Fig. 3.** Kinetics of drying (1 – experimental point, 2 –analytical curve by the formula (9))

На рис.4. представлений розвиток поля вологовмісту зернівки в процесі низькотемпературного сушіння, розрахований за залежностями (5), (16), (17) із визначеними коефіцієнтами функцією genfit.

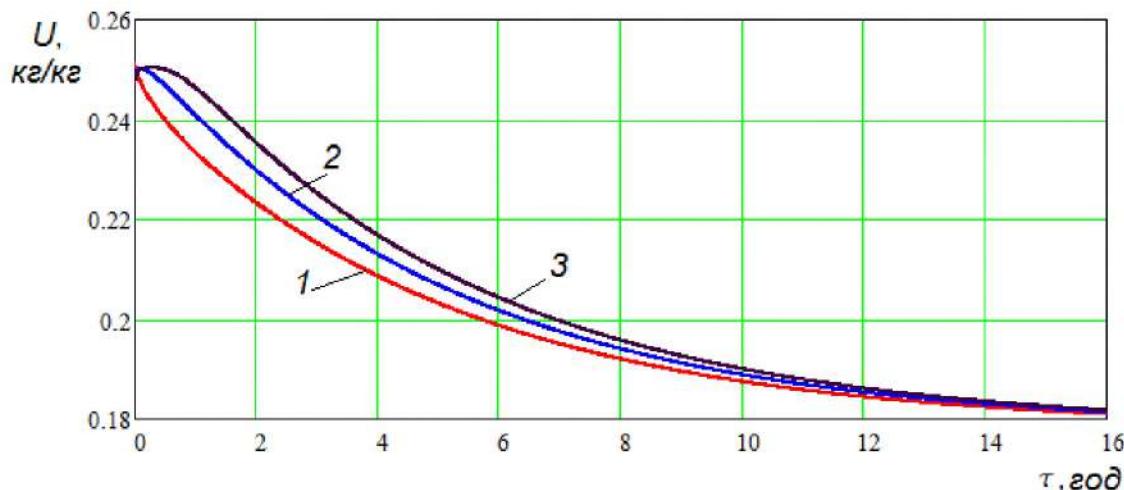


Рис.4. Розвиток поля вологовмісту зернівки в процесі низькотемпературного сушіння (1 –  $r = 0.95R$ ; 2 –  $r = 0.65R$ ; 3 –  $r = 0.1R$ )

Fig. 4. Development of the field moisture content of grains in the low-temperature drying (1 –  $r = 0.95R$ ; 2 –  $r = 0.65R$ ; 3 –  $r = 0.1R$ )

**Висновки.** Розроблений алгоритм параметричної ідентифікації математичних моделей тепло- і масопереносу для адекватного аналітичного математичного опису динаміки низькотемпературного сушіння досліджуваного зерноматеріалу.

Визначені масообмінні коефіцієнти математичних моделей зневоднення зернівки дозволяють аналітично визначати розвиток поля вологовмісту зернівки в процесі низькотемпературного сушіння, що необхідно для обґрунтування раціональних режимів активного вентилювання і енергозберігаючого прийому відлежування зерна.

#### Бібліографія

1. Алифанов О.М. Обратные задачи в исследовании сложного теплообмена/ О.М.Алифанов, А.В.Ненаркомов, Е.А.Артюхин – М. : Янус-К, 2009. - 299 с.
2. Гинзбург А.С. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов / А.С.Гинзбург, И.М.Савина – М.: Легкая и пищевая промсть, 1982.–280с.
3. Гинзбург А.С. Теплофизические свойства зерна, муки и крупы /А.С.Гинзбург, М.А.Громов – М.: Колос, 1984.–304с.
4. Дубровский В.П. Исследование влагопроводности зерна пшеницы в процессе сушки // Автореф. дис. канд. техн. наук.–М.: 1967.–19с.
5. Драганов Б.Х. Метод расчетно-экспериментального исследования теплоэнергетических систем / Б. Х. Драганов // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2014. - Вип. 194(2). - С. 31-35.
6. Загоруйко В.А. Термодинамика и теплофизика влажных материалов/ В.А. Загоруйко, А.А.Голиков, А.Г Слынько. - К.: Наукова думка, 1995. - 342с.
7. Згоруйко В.А. Определение влагосодержания гигроскопических грузов для их сохранной перевозки / В.А. Згоруйко, Ю.И. Кривошеев, А.Г.Слынько -М.: Транспорт, 1988. -496с.
8. Котов Б.И. Технологічні і теплоенергетичні основи підвищення ефективності сушіння рослинної продукції. Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. - смт. Глеваха, 1994. -40с.
9. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / П.Г. Круковский. – К.: Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 224 с.
10. Лыков А.В. Теория сушки/А.В.Лыков – М.: Энергия, 1968. –472с.
11. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В.Лыков -М.: Высшая школа, 1967. –599с.
12. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов/В.И.Муштаев, В.М.Ульянов –М.: Химия, 1988.–352с.
13. Плановский А.Н. ТОХТ / А.Н.Плановский, С.П.Рудобашта, Г.С.Кормильцин – 1972, Т.6.№3. С459-462.
14. Сорочинский В.Ф. Повышение эффективности конвективной сушки и охлаждение на

основе интенсификации тепломассообменных процессов. Автореферат дис. докт. техн. наук. - М.: МГУПП, 2003. - 39 с.

15. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов/ В.Ф.Фролов – Л.: Химия, 1987.– 208с.

#### References

1. Alifanov O.M. Obratnye zadachi v issledovanii slozhnogo teploobmena / O.M.Alifanov, A.V.Nenarokomov, E.A.Artyuhin - M.: Janus-K, 2009. - 299 s.
2. Ginzburg A.S. Massovlagoobmennye haracteristici pishtevyh productov / A.S.Ginzburg, I.M.Savina - M : Legkaya i pishtevaya prom-sty, 1982.-280s.
3. Ginzburg AS Teplofizicheskie svoistva zerna, muky i knipy /A.S.Ginzburg, M.A.Gromov - M : Kolos, 1984.-304 s.
4. Dubrovskiy V.P. Issledovaniye vlagoprovodnosti zerna pshenitsy v protsesse sushki // Avtoref. dis. kand. tehn. nauk.– M.: 1967-19 s.
5. Draganov B.H. Method raschetno-eksperimentalnogo issledovaniya teploenergeticheskikh system / B.H. Draganov // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukrayny. Seriya: Tehnika ta energetika APK. - 2014. - Vyp. 194 (2). - S. 31-35.
6. Zagoruyko V.A .Thermodynamica i teplofizika vlazhnyh materialov / V.A. Zagoruyko, A.A.Golikov, A.G Slynko. - K : Naukova dumka, 1995. – 342 s.
7. Zagoruyko V.A. Opredeleniye vlagosoderzhaniya gigroskopicheskikh gruzov dlya ih sohrannoy perevozki / V.A. Zagoruyko, YU.I. Krivosheev, A.G.Slynko -M : Transport, 1988. -496 s.
8. Kotov B.I. Tehnologichni i teploenergetichni osnovy pidvishtennya efektivnosti sushinnya roslinnoi produktsii. Avtoref. dis. ... d-ra. tehn. nauk. - smt. Glewaha, 1994. -40 s.
9. Kruskovskiy P.G. Obratnye zadachi teplomassoperenosu (obschiy inzhenernyi podhod) / P.G. Kruskovskiy. - K : In-t tehnicheskoy teplofiziki NAN Ukrayny, 1998. - 224 s.
10. Lykov A.V. Theoriya sushki / A.V.Lykov M : Energiya, 1968. -472 s.
11. Lykov A.V. Theoriya teploprovodnosti / A.V.Lykov M : Vysshaya schkola, 1967. -599 s.
12. Mushtaev V.I. Sushka dispersnyh materialov / V.I.Mushtaev, V.M.Ulyyanov -M: Chemistry, 1988.-352 s.
13. Planovskiy A.N. TOHT / A.N.Planovskiy, S.P.Rudobashta, G.S.Kormiltsin - 1972 T.6.№3.- S. 459-462.
14. Sorochinskiy V.F. Povyshenie effektivnosti konvektivnoy sushki i ohlazhdeniye na osnove intensifikatsii teplomassoobmennyh protsessov. Avtoref dis. doct. tehn. nauk. - M : MGUPP, 2003. - 39 s.
15. Frolov V.F. Modelirovaniye sushki dispersnyh materialov / V.F.Frolov - L.: Himiya, 1987.- 208 s.

#### References

1. O.M. Alifanov Inverse problems in the study of complex heat exchange / O.M. Alifanov, A.V. Nenarokomov, E.A. Artyuhin - M.: Janus-K 2009. - 299 p.
2. Ginzburg A.S. Massov characteristics of food / A.S. Ginzburg, I.M. Savina - M : Light and food prom-st, 1982.-280 p.
3. Ginzburg A.S. Thermal properties of grain, flour and cereals /A.S. Ginzburg, M.A. Gromov - M : Kolos. 1984.-304 p.
4. V.P. Dubrovsky The study of hydraulic conductivity of wheat grain during drying // Abstract. Dis. cand. tehn. nauk. M.: 1967. -19 p.
5. Draganov B.H. Method of settlement and experimental research of heat and power systems / B.H. Draganov // Naukova News Ukraine. Seriya: Tehnika Energetics is the APC. - 2014. - Vip. 194 (2). - P. 31-35.
6. Zagorniko V.A. Thermodynamics and Thermal Physics wet materials / V.A. Zagorniko, A.A. Golikov, Slynko AG. - K : Naukova Dumka, 1995. – 342 p.
7. Zgoruyko V.A. Determination of the moisture content of hygroscopic goods for their safe carriage / V.A. Zgoruyko, Y.I. Krivosheev, A.G. Slynko-M : Transport, 1988. -496 p.
8. Cats BI Tehnologichni i teploenergetichni Basics of produktion. Author. Dis. ... Dr. tehn. Sciences. - CMT. Glevakha, 1994.- 40 p.
9. P.G. Kruskovskiy Inverse problems of heat and mass transfer (total engineering approach) / PG Kruskovskiy. - K : Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine. 1998. - 224 p.
10. A.V. Lykov Drying Theory / A.V. Lykov-M : Energia, 1968. -472 p.
11. A.V. Lykov The theory of thermal conductivity / A.V. Lykov-M : Higher School. 1967. -599 p.
12. Mushtaev V.I. Drying of disperse materials / V.I. Mushtaev, V.M. Ulyanov-M : Chemistry, 1988.-352 p.
13. AN Planovsky Tohti / A.N.Planovsky, S.P.Rudobashta, G.S.Kormiltsin - 1972, T.6.№3. – P459-462.
14. VF Sorochinskiy Improving the efficiency of convective drying and cooling based on the intensification of heat and mass transfer processes. Abstract dis. Doctor. tehn. Sciences. – M : MGUPP, 2003. – 39 p.
15. Frolov VF Modeling drying dispersed materials / V.F.Frolov – L : Chemistry, 1987.- 208 p.