

Авторефер.
367

Одеська державна академія холоду

ВОЛГУШЕВА НАТАЛІЯ ВІКТОРІВНА

УДК 664.788.047.41/6:086.2

**КІНЕТИКА СУШІННЯ ЩІЛЬНОГО ШАРУ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ (НА
ПРИКЛАДІ ГРЕЧКИ) ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ПІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ**

Спеціальність 05.14.06 - «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика»



АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

xv 958

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
бібліотека

Одеса – 2005

Дисертація є рукописом

Робота виконана в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Бошкова Ірина Леонідівна
кафедра тепломасообміну Одеської державної академії холоду

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Верхівкер Яків Григорович
державний науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут
«Консервпромкомплекс»
доктор технічних наук, професор
Дорошенко Олександр Вікторович
кафедра технічної термодинаміки Одеської державної академії холоду

Провідна організація – Одеський національний політехнічний університет

Захист дисертації відбудеться " 17 " жовтня 2005 р. об 11⁰⁰ годині в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 в Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, Україна, 65026.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОДАХ за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65026, Україна.

Реферат розісланий " 2 " вересня 2005 р.

Мілованов В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю вирішення проблеми розвитку нових технологій сушіння дисперсних матеріалів, які здатні забезпечити економію енерговитрат, одержання продукції з необхідною якістю та скорочення тривалості процесу. Найпоширеніші для сільськогосподарської продукції конвективні сушарки застаріли, шляхи вдосконалювання їхніх конструктивних і технологічних особливостей потенційно себе вичерпали. Тому напрямки досліджень сконцентрувалися на розробці й впровадженні інших способів сушіння. Щодо цього показовими є роботи Г.М. Станкевича, В.Д. Камінського (Україна), А.С. Муджумдара (Канада), Дж. Танга й П. Чена (США). З їхніх досліджень зрозуміло, що для органічних дисперсних матеріалів перспективним є застосування комбінованих способів сушіння на основі кондуктивного, конвективного й мікрохвильового підведення теплоти. Підґрунтом для конструювання нового обладнання є аналітичні залежності для розрахунку температури й вологовмісту дисперсного матеріалу в процесі сушіння, а також експериментально визначені вимоги до геометричних характеристик шару й режимних параметрів процесу та умов, за яких буде доцільним застосування того чи іншого методу сушіння. У роботі як дисперсний матеріал досліджена гречка, що пов'язано з її харчовою цінністю, обсягами промислового застосування в нашій країні й зростаючому попиті в європейських країнах, а також практично повною відсутністю даних з кінетики процесу. Існуючі моделі тепловологопереносу, що описують мікрохвильове сушіння дисперсних матеріалів, громіздкі й складні для практичного застосування, містять коефіцієнти, визначити які досить важко. У такий спосіб, дослідження кінетики сушіння гречки при перерахованих вище способах підведення теплоти є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Постанови Верховної Ради України №75/94-ВР від 1.07.94 р., що затвердила Закон України «Про енергозбереження».

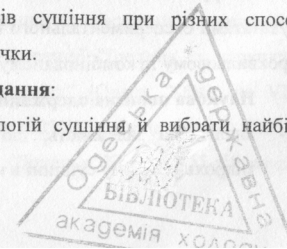
Мета й завдання дослідження. **Мета роботи** полягає в одержанні аналітичних і емпіричних залежностей, які описують процеси сушіння дисперсного матеріалу (гречки) у щільному шарі при різних способах теплопідводу, а також розробки рекомендацій до раціональних умов сушіння.

Як об'єкт дослідження обраний процес сушіння дисперсного матеріалу в щільному шарі.

Предметом дослідження є характеристики процесів сушіння при різних способах підведення теплоти та нові раціональні технології сушіння гречки.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- провести аналіз традиційних і нетрадиційних технологій сушіння й вибрати найбільш перспективні для подальшого дослідження;



- розробити математичні моделі теплопереносу при сушінні дисперсного матеріалу в щільному шарі при різних способах теплопідводу;
- одержати аналітичні залежності для температури матеріалу в процесі сушіння, виконати розрахунки за отриманими залежностями і проаналізувати вплив основних факторів;
- на підставі розроблених методик експериментального дослідження кінетики сушіння при мікрохвильовому, кондуктивному, конвективному і комбінованому підведеннях теплоти спроектувати й створити відповідні експериментальні стенди;
- провести комплексні експериментальні дослідження кінетики сушіння шару гречки при зазначених способах теплопідводу;
- одержати емпіричні залежності, які описують основні кінетичні характеристики при різних режимних і геометричних параметрах, а також коефіцієнт дифузії й відносний коефіцієнт термодифузії;
- провести перевірку адекватності розроблених моделей шляхом зіставлення розрахункових і експериментальних даних;
- зіставити швидкості сушіння, температури матеріалу, енергетичні витрати й габарити сушарок при різних способах теплопідводу.

Вирішення поставлених завдань було досягнуто за допомогою наступних **методів дослідження:**

- математичного моделювання процесу сушіння щільного шару в мікрохвильовому полі й при кондуктивно-конвективному підводі теплоти для одержання аналітичних залежностей, які описують розподіл температури;
- експериментальних досліджень для перевірки правильності теоретичного моделювання, виявлення основних факторів, що впливають на об'єкт дослідження, і одержання емпіричних залежностей;

Наукове положення.

Змінювання температури й вологовмісту в процесі сушіння щільного шару гречки при різних способах підведення теплоти (мікрохвильовому, кондуктивному, кондуктивно-конвективному) описуються єдиними узагальненими рівняннями, які враховують режимні параметри процесу і геометричні характеристики шару матеріалу.

Обґрунтованість і достовірність наукового положення визначаються отриманими результатами експериментального й теоретичного характеру при конвективному, кондуктивному, мікрохвильовому та комбінованому підведенні теплоти, а також їхнім порівняльним аналізом.

Наукова новизна одержаних результатів:

- аналітична залежність, що описує розподіл температури дисперсного матеріалу при мікрохвильовому сушінні в нерухомому шарі;

- аналітичні залежності для розподілу температур твердого й газового компонентів при кондуктивно-конвективному сушінні дисперсного матеріалу в щільному рухомому шарі;
- дані з кінетики мікрохвильового, кондуктивного і кондуктивно-конвективного сушіння гречки в щільному шарі;
- залежності для швидкості сушіння, вологовмісту й температури гречки, які відбивають вплив режимних і геометричних характеристик при різних способах підведення теплоти;
- залежності для визначення коефіцієнта дифузії й відносного коефіцієнта термодифузії вологи в шарі гречки;
- експериментальні значення коефіцієнта ослаблення й глибини проникнення мікрохвильової енергії в шар гречки;

Практичне значення отриманих результатів. Аналітична залежність для розподілу температури, що отримана з урахуванням випару вологи в процесі сушіння, може бути використана при розрахунку мікрохвильових сушарок.

Аналітичні залежності для розрахунку температур і вологовмістів компонентів при кондуктивно-конвективному сушінні необхідні для проектування сушарок дисперсних матеріалів зі щільним рухомих шаром, що дозволяє підвищити їхню ефективність і поліпшити масогабаритні характеристики. Узагальнені рівняння кривих вологовмісту й температури, отримані на підставі результатів експериментальних досліджень, а також емпіричні залежності для розрахунку швидкості сушіння, необхідні для розрахунку промислових сушарок гречки зі щільним шаром.

Отримані емпіричні залежності для швидкості сушіння шару гречки в мікрохвильовому полі й рекомендації з формування шару дозволяють модернізувати мікрохвильові установки для сушіння зерна. Результати роботи були впроваджені при конструюванні модернізованої мікрохвильової установки безперервної дії для сушіння зерна й круп'яних виробів у ТОВ «Інжмаш» (м. Одеса).

Особистий внесок здобувача полягає у створенні лабораторних установок, плануванні й проведенні експериментальних досліджень, математичній обробці й узагальненні отриманих результатів, одержанні аналітичних залежностей, що описують розподіл температури в шарі матеріалу при сушінні в мікрохвильовому полі, а також температур твердого й газового компонентів, при кондуктивно-конвективному сушінні, проведенні варіантних розрахунків за отриманими формулами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та висновки дисертаційного дослідження доповідалися на X-тій науково-методичній конференції "Людина та навколишнє середовище - проблеми безперервної екологічної освіти у вузах" (Одеса, 2004); на VIII-ій Міжнародній науково-практичній конференції "Наука й освіта 2005" (Дніпропетровськ, 2005); на конференції "Обладнання та технології харчових виробництв" (Донецьк, 2005); на 65-тій науковій

конференції професорсько-викладацького складу та наукових співробітників Одеської національної академії харчових технологій, 2005 р.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 9 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових журналах, що відповідають вимогам ВАК України, 2 у збірниках наукових праць і 1 у тезах доповідей наукових конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури, 4 додатків. Робота викладена на 225 сторінках, включаючи 66 малюнків, 12 таблиць, 228 найменувань літературних джерел на 23 сторінках і додатків на 34 сторінках.

Автор висловлює подяку д.т.н., проф. Календерьян Віргінії Олександрівні за консультативну допомогу в період виконання роботи й низку корисних зауважень.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі аргументована актуальність дослідження кінетики сушіння сільськогосподарської продукції, зокрема, гречки. Розглянуто зернові як об'єкти сушіння й проведений огляд експериментальних даних за їхніми теплофізичними характеристиками. При аналізі основних методів сушіння зернової продукції виділені їхні основні недоліки, які викликають необхідність проведення додаткових досліджень, спрямованих на вирішення завдань енергозбереження шляхом інтенсифікації тепло- й масообміну, що протікає в процесі сушіння. Аналіз літературних даних за існуючим технологічним обладнанням вказує на необхідність його вдосконалення. Відсутність даних з кінетики сушіння зерна гречки при мікрохвильовому й кондуктивно-конвективному підводі теплоти, а також їхня обмеженість при кондуктивному підводі ускладнює розрахунок відповідних сушарок і перехід на нові технології. На підставі аналізу літературних даних сформульовані завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі наведені результати розрахункових і експериментальних досліджень кінетики сушіння дисперсного матеріалу (гречки) у щільному шарі при мікрохвильовому підведенні енергії. Прийнято однокомпонентну модель, відповідно до якої шар розглядається як квазігомогенне середовище з ефективними характеристиками. У диференційному рівнянні теплопровідності (1) додатковими доданками, які характеризують відповідні внутрішні джерела теплоти, враховуються об'ємне підведення мікрохвильової енергії й витрати енергії на випар вологи в процесі сушіння:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{n_0}{c \cdot \rho} e^{-\alpha x} + \frac{q_{v0}}{c \cdot \rho} e^{-\beta x}; \quad (1) \quad T(x, 0) = T_0; \quad \frac{\partial T(\infty, \tau)}{\partial x} = 0; \quad T(0, \tau) = T_{\text{пов}} = \text{const} \quad (2)$$

У періоді постійної швидкості сушіння вологовміст змінюється в часі за лінійним законом, а температурне поле описується залежністю:

$$T(x, \tau) = (1 - \text{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}}) T_0 + \text{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \cdot T_{\text{пов}} - \frac{n_0}{c\rho a^2} \left[e^{-\alpha x} - \frac{1}{2} e^{\alpha^2 a \tau - \alpha x} \text{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \alpha\sqrt{a\tau} \right) + \frac{1}{2} e^{\alpha^2 a \tau + \alpha x} \text{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + \alpha\sqrt{a\tau} \right) - \text{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right] - \frac{q_{v0}}{c\rho a \beta^2} \left[e^{-\beta x} - \frac{1}{2} e^{\beta^2 a \tau - \beta x} \text{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \beta\sqrt{a\tau} \right) + \frac{1}{2} e^{\beta^2 a \tau + \beta x} \text{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + \beta\sqrt{a\tau} \right) - \text{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right], \quad (3)$$

де T_0 – початкова температура, °C; $T_{\text{пов}}$ – температура поверхні шару, °C; c – ефективна теплоємність, Дж/(кг·K); ρ – густина, кг/м³; a – ефективний коефіцієнт теплопровідності, м²/с; n_0, q_{v0} – потужність внутрішніх джерел при $x=0$, що характеризують підвід МХ енергії та витрати теплоти на випар вологи, Вт/м³; x – координата, м; α – коефіцієнт ослаблення мікрохвильової енергії, 1/м; β – коефіцієнт ослаблення внутрішніх джерел, що враховують витрати теплоти на сушіння, 1/м; τ – час, с.

Експонентний закон зміни внутрішніх джерел енергії, що характеризують, витрати на випар вологи, а також величини $q_{v0}, n_0, \alpha, \beta$ прийняті на підставі експериментальних досліджень, проведених на лабораторному устаткуванні, принципова схема якого представлена на рис. 1. У робочу камеру, додатково оснащену нагрівачем і вентилятором для продування повітря над шаром матеріалу, надходила енергія від магнетрона із частотою генерації 2,45 ГГц і регульованою потужністю 80 – 800 Вт. Початковий вологовміст зерна змінювався від 0,20 до 0,25 кг/кг, початкова температура – від 17 до 26 °C, маса – від 0,05 до 1,2 кг, товщина шару – від 0,008 до 0,048 м, площа відкритої поверхні – від $8 \cdot 10^{-3}$ до $94 \cdot 10^{-3}$ м², насипна щільність шару – 640 кг/м³. В експериментальному осередку розміщували досліджуваний матеріал, що оброблявся в мікрохвильовій камері. Через певні інтервали часу ваговим методом визначалася кількість вологи, що випарувалася, і розраховувався вологовміст гречки. Вимірювання температури проводилися за допомогою мідь-константанових термодпар, які вміщували в шар зерна одразу безпосередньо після вмикання магнетрона. Вимірювання повторювалися по 4-5 разів. Похибка визначення середньоінтегрального вологовмісту складала $\pm 1,4\%$ ($\Delta = \pm 0,0021$ кг/кг), середньої температури шару $\pm 1,2\%$ ($\Delta = \pm 0,55$ °C).

Вигляд кривих зміни вологовмісту й температури (рис. 2) показав, що процес сушіння можна розділити на періоди, характерні для колоїдних капілярно-пористих тіл при інших способах підведення теплоти: прогріву, постійної й падаючої швидкості сушіння, або нульовий, перший і другий. Дана картина була типова для всіх експериментів. Як показав аналіз експериментальних даних, при їхній обробці необхідно враховувати кількість мікрохвильової енергії, що в даних умовах може бути перетворена матеріалом у теплову – корисний тепловий потік $Q_{\text{кор}}$, що залежить від ККД камери й магнетрона, а не потужність, яка споживається від мережі. У загальному

випадку на величину корисного теплового потоку впливає не тільки маса завантаження, але й розміри зразка, умови видалення вологи й електрофізичні характеристики матеріалу.

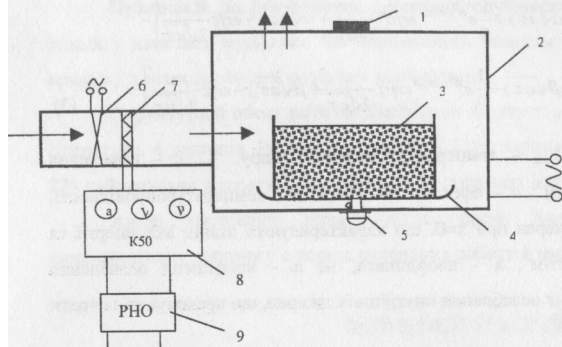


Рис.1. Схема експериментальної установки для дослідження процесу сушіння у МХ полі:

1 - хвилевід; 2 - робоча камера; 3 - експериментальний осередок; 4 - підставка; 5 - механізм приводу; 6 - вентилятор; 7 - нагрівач; 8 - вимірювальний комплект; 9 - регулятор напруги.

При зміні маси від 0,05 кг до 1,2 кг і відносного обсягу V_{zp}/V_k від 0,003 до 0,07 ККД камери змінюється від 0,25 до 0,56, і при товщині шару $16 < l < 66$ мм описується з похибкою $\pm 1,5\%$ співвідношенням (4). Корисний тепловий потік можна визначити за формулою (5).

$$\eta_k = 0,56 \left(1 - \frac{4,63}{5,87 + e^{\frac{182V_{zp}}{V_k}}} \right); \quad (4) \quad Q_{кор} = N_m \cdot \eta_m \cdot \eta_k, \quad (5)$$

де V_{zp} - обсяг зразка, m^3 ; V_k - обсяг робочої камери, m^3 ; N_m - потужність, що споживана МХ установкою від мережі; η_m - ККД магнетрона; η_k - ККД камери.

Досліджено вплив наступних параметрів на швидкість сушіння й температуру: площі поверхні через яку проникає утворена пара, товщини шару, маси матеріалу й потужності, що підводиться. Зміна початкового вологовмісту й температури матеріалу в зазначених вище межах впливала не істотно.

Дослідження показали, що швидкість сушіння W_1 і середня температура матеріалу \bar{t}_1 в першому періоді залежать від розмірів шару (товщини l і площі поверхні зразка через яку проникає утворена пара $F_{пов}$) і корисного теплового потоку $Q_{кор}$, і визначаються емпіричними залежностями (6) при $560 \leq Q_{кор} / F_{пов} \leq 1275$ Вт/м² з похибкою $\pm 11,3$ і $\pm 4,7\%$ відповідно. Збільшення швидкості сушіння спричиняється збільшенням щільності теплового потоку й зменшенням

товщини шару як результат зменшення маси. До збільшення температури матеріалу приводить збільшення щільності теплового потоку й товщини шару.

$$W_1 = 3,3 \cdot 10^{-9} \left(\frac{Q_{кор}}{F_{пов}} \right)^{1,21} \cdot l^{-0,36}, \quad c^{-1}; \quad \bar{t}_1 = 66,4 \cdot \left(\frac{Q_{кор}}{F_{пов}} \right)^{0,12} \cdot l^{0,217}, \quad ^\circ C. \quad (6)$$

Можливо також узагальнення досвідчених даних зі швидкості сушіння в першому періоді при $139 \leq Q_{кор} / m \leq 1250$ Вт/кг зі похибкою $\pm 6,3\%$ наступною залежністю:

$$W_1 = 3,8 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{Q_{кор}}{m} \right)^{1,03}, \quad c^{-1}, \quad (7)$$

де m - маса матеріалу, кг.

Дослідження показали, що для підвищення величини теплового потоку, що поглинається, й, отже, ККД камери, раціонально збільшувати масу зразка за рахунок товщини шару. Однак при цьому швидкість сушіння знижується, тривалість процесу й витрати електроенергії зростають. Оцінка доцільності зростання маси, проведена шляхом порівняння питомих витрат електроенергії, що враховують ці ефекти, показує, що економічно доцільно збільшувати завантаження камери, а для забезпечення високої продуктивності установки одночасно підвищувати потужність магнетрона до величини, при якій температура матеріалу не перевищує припустиму.

Експериментальні дані, отримані при різних початкових вологовмістах, потужності, масі матеріалу й розмірах шару, узагальнені рівняннями криві вологовмісту й температури для зерна гречки. Комплекс $W_1 t / u_0$ дозволяє врахувати вплив усіх досліджених режимних і геометричних факторів. Узагальнені рівняння кривих вологовмісту й температури, що описують всі періоди процесу мікрохвильового сушіння, справедливі зі похибкою $\pm 11,9\%$ і $\pm 13,7\%$ відповідно:

$$\frac{\bar{u}}{u_0} = 1 - 0,22 \frac{W_1 \tau}{u_0} - 1,55 \left(\frac{W_1 \tau}{u_0} \right)^2 + 1,02 \left(\frac{W_1 \tau}{u_0} \right)^3, \quad (8) \quad \frac{t}{t_1} = 0,46 + 3,34 \frac{W_1 \tau}{u_0} - 6,91 \left(\frac{W_1 \tau}{u_0} \right)^2 + 4,86 \left(\frac{W_1 \tau}{u_0} \right)^3. \quad (9)$$

Для вивчення розподілу вологовмісту й температури за товщиною шару проводили дослідження на експериментальному осередку, що складається із трьох і чотирьох шарів, розділених радіопрозорими сітками, коли його нижня та бічні поверхні були закриті алюмінієвою фольгою, що є екраном для мікрохвильової енергії й через яку пара не може проникнути. У процесі сушіння температура всіх шарів безупинно підвищувалася в часі, причому при переході від верхнього шару до нижнього вона знижувалася. Вологовміст верхнього й середнього шарів у часі зменшувався, а нижнього збільшувався, досягаючи 0,215 кг/кг наприкінці експерименту, при початковому вологовмісті 0,20 кг/кг. Подібна нерівномірність не спостерігалася при використанні сітчастого осередку, у якому відвід пари здійснювався через верхню, нижню й бічну поверхні. У такий спосіб для транспортерної стрічки або піддона раціонально застосовувати радіопрозорий

сітчастий матеріал, що вільно пропускає пару. Механізм надходження води в нижній шар визначається дією гравітаційних сил і ефектом термодифузії при цьому остання переважає. У процесі мікрохвильового сушіння визначальною є перенесення вологи шляхом концентраційної й термодифузії, дифузійний перенос пари практично відсутній.

Результати експериментів пошарового сушіння також використовувалися для визначення коефіцієнта ослаблення й глибини проникнення мікрохвильової енергії в шар, тобто відстані на якій потужність внутрішніх джерел зменшується в ϵ раз: вона склала 0,033 м, а коефіцієнт ослаблення $30,2 \text{ м}^{-1}$. Чисельні значення цих величин залежать від електрофізичних характеристик матеріалу й справедливі при вологовмісті гречки 0,20-0,12 кг/кг і насипної щільності шару 640 кг/м^3 .

Зіставлення розрахункових і експериментальних даних з розподілу вологовмісту й температури гречки показало гарну якісну й кількісну збіжність результатів (максимальна розбіжність при розрахунку вологовмісту склала $\pm 4,2\%$; температури - $\pm 10,3\%$), що дозволяє рекомендувати запропоновану модель для розрахунків при проектуванні сушарок.

Використання циклічного підведення МХ енергії й продування шару ненагрітим повітрям дозволяє витримувати зразок у необхідному температурному режимі й забезпечує економію електроенергії близько 30% (табл.1) при середній швидкості сушіння, порівнянної зі значенням, одержуваним при МХ сушінні.

У третьому розділі наведені результати розрахункових і експериментальних досліджень кінетики сушіння дисперсного матеріалу (гречки) у щільному шарі при кондуктивному, конвективному і кондуктивно-конвективному підведеннях теплоти. Наведено математичні моделі теплопереносу при сушінні дисперсних матеріалів у щільному шарі, що рухається, при зазначених способах теплопідводу. Прийнято основні положення двухкомпонентної моделі, відповідно до якої шар розглядається як сукупність двох квазігомогенних компонентів - твердого й газового з постійними властивостями. Теплообмін між компонентами, а також кожного з них із зануреними поверхнями, що гріють, характеризується відповідними коефіцієнтами тепловіддачі α_n , α_s , α_m . Витрати енергії на випар вологи враховані у вигляді внутрішнього негативного джерела теплоти у твердому компоненті. Математична модель включає диференціальні рівняння енергії компонентів і вологопереносу. При стаціонарному режимі й прямоточному русі компонентів в одномірному наближенні вона має вигляд:

$$\rho_s c_{ps} (1-\beta) w_s (1-\beta_1) \frac{d\theta}{dx} = \alpha_n a (1-\beta_2) (\theta_m - \theta_s) - \alpha_s F \vartheta_s; \quad (10)$$

$$\rho_m c_m \beta w_m (1-\beta_1) \frac{d\theta_m}{dx} = \alpha_n a (1-\beta_2) (\theta_s - \theta_m) - \alpha_m F \vartheta_m + q_v (1-\beta_2); \quad (11)$$

$$w_m \frac{du}{dx} + \chi u = 0; \quad (12)$$

$$x=0; \vartheta_s = \vartheta_{s0}; \vartheta_m = \vartheta_{m0}, u = u_0, \quad (13)$$

де a - питома площа поверхні часток, $\text{м}^2/\text{м}^3$; c - теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; F - питома площа занурених поверхонь, $\text{м}^2/\text{м}^3$; x - позовжня координата, м; q_v - потужність внутрішніх джерел теплоти, $\text{Вт}/\text{м}^3$; α - коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; β - щільність укладання шару; β_1, β_2 - частка перетину, обсягу, зайнята зануреними поверхнями; ρ - щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\vartheta = t - t_n$ - надлишкова температура, К; w - швидкість, м/с. Індокси: g, m - газовий, твердий компонент; m - міжкомпонентний; o - вхідний.

Отримано рівняння, що дозволяють розрахувати температури компонентів за висотою сушарки для ділянок прогріву, постійної й падаючої швидкості сушіння. Найбільш загальний вигляд вони мають на ділянці падаючої швидкості сушіння:

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_{m0}}{P_1 - P_2} [(P_1 + B_1 + E_1) e^{P_1 x} - (P_2 + B_1 + E_1) e^{P_2 x}] + \frac{B_2 \vartheta_{s0}}{P_1 - P_2} (e^{P_1 x} - e^{P_2 x}) + \frac{H}{P_1 P_2 (P_1 - P_2)} [P_2 (P_1 + B_1 + E_1) e^{P_1 x} - P_1 (P_2 + B_1 + E_1) e^{P_2 x} + (B_1 + E_1)(P_1 - P_2)]; \quad (14)$$

$$\vartheta_s = \frac{B_1 \vartheta_{m0}}{P_1 - P_2} (e^{P_1 x} - e^{P_2 x}) + B_1 B_2 \vartheta_{s0} \left[\frac{e^{-(B_1 + E_1)x}}{(P_1 + B_1 + E_1)(P_2 + B_1 + E_1)} + \frac{e^{P_1 x}}{(P_1 + B_1 + E_1)(P_1 - P_2)} - \frac{e^{P_2 x}}{(P_2 + B_1 + E_1)(P_1 - P_2)} \right] + \vartheta_{s0} e^{-(B_1 + E_1)x} + \frac{HB_1}{P_1 P_2 (P_1 - P_2)} [P_1 (1 - e^{P_2 x}) - P_2 (1 - e^{P_1 x})]. \quad (15)$$

Комплекси, які входять у формули (14-15) визначаються вираженнями, наведеними в дисертаційній роботі. Виконано розрахунки конвективної сушарки для зерна гречки в щільному рухомому шарі і проаналізована зміна вологовмісту повітря за часом, висотою й шириною апарата. За отриманими залежностями (14-15) проведені варіантні розрахунки й проаналізований вплив швидкостей і температур компонентів на вході в сушарку, температури й геометричні характеристики поверхні, що гріє. При цьому необхідні дані про швидкості сушіння при кондуктивно-конвективному підводі теплоти. Для одержання цих даних і для можливості зіставлення характеристик процесів сушіння при різних способах теплопідводу була розроблена методика експериментів і створена лабораторна установка (рис.3), для дослідження кінетики сушіння при кондуктивному, конвективному і комбінованому підведенні теплоти. Обрано кільцеву форму шару, що моделює процес сушіння в сушарках. Зміна вологовмісту шару в процесі сушіння визначалася ваговим способом, температури вимірялися за допомогою термопар, швидкість фільтрації повітря в шарі розраховувалася по перепаду тиску в шарі. Похибка експериментальних даних по швидкості повітря склала $\pm 2,9\%$ ($\Delta = \pm 0,0018 \text{ м/с}$), вологовмісту $\pm 1,4\%$ ($\Delta = \pm 0,0021 \text{ кг/кг}$), температури $\pm 1,1\%$ ($\Delta = \pm 0,45 \text{ }^\circ\text{C}$). Щільність теплового потоку на

поверхні, що гріє, q змінювалася в межах 1200- 3340 Вт/м², її температура $t_{\text{пов}}=50-85$ °С, товщина шару $l=0,025-0,045$ м, швидкість повітря $w=0,04 - 0,125$ м/с, температура повітря на вході в шар $t_{\text{п}}=20-64$ °С, насипна щільність шару $\rho_{\text{п}}=640$ кг/м³ – 685 кг/м³.

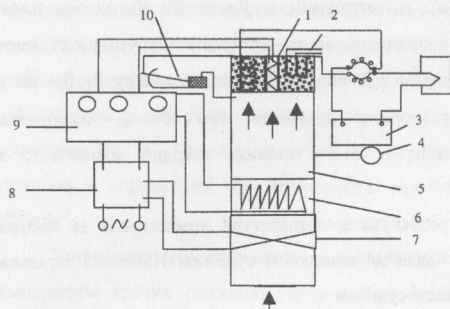


Рис.3. Схема експериментальної установки для дослідження кінетики сушіння циліндричного зразка при конвективному, кондуктивному і комбінованому підведенні теплоти:
1 - нагрівач; 2 - термопари; 3 - вольтметр; 4 - термометр; 5 - повітровід; 6 - калорифер; 7 - вентилятор; 8 - регулятор напруги; 9 - вимірвальний комплект; 10 - мікроманометр.

Криві кінетики кондуктивного і кондуктивно-конвективного сушіння гречки представлені на рис.4. До збільшення температури матеріалу й швидкості кондуктивного сушіння в першому періоді приводить збільшення щільності теплового потоку й зменшення товщини шару, що враховується емпіричними залежностями (16), похибка яких становить $\pm 6,9\%$ і $\pm 4,1\%$ відповідно:

$$W_l = 10^{-11} q_F^{0,73} l^{-1,81}, \text{ c}^{-1}; \bar{t}_l = 1,24 \cdot q_F^{0,32} l^{-0,24}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (16)$$

При розрахунку полей вологовмісту й оцінці частки ізотермічного та неізотермічного вологопереносу необхідно мати у своєму розпорядженні дані за коефіцієнтом дифузії вологи a_m і відносному коефіцієнту термодифузії δ . На підставі експериментальних даних з кінетики кондуктивного сушіння та за описаною літературою методикою були визначені значення a_m , δ , а також проаналізована їхня зміна в процесі сушіння. Залежність даних коефіцієнтів від вологовмісту описується формулами (17), отриманими в діапазоні температур 37-42 °С і вологовмістів 0,20-0,12 кг/кг, (похибка $\pm 4,9$ і $\pm 5,1\%$ відповідно).

$$a_m = 3,58 \cdot 10^{-9} + 2,84 \cdot 10^{-9} e^{\frac{u}{0,0174}}, \text{ м}^2/\text{с}; \delta = -3,18 \cdot 10^{-3} + 25,4 \cdot 10^{-3} u, \text{ } 1/\text{K}. \quad (17)$$

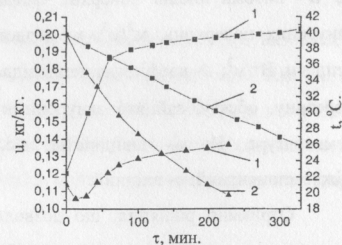


Рис.4. Зміна температури (1) і вологовмісту (2) шару гречки товщиною 0,025 м при різних способах сушіння:

■ - кондуктивне сушіння $q=2700$ Вт/м²;
▲ - кондуктивно-конвективне сушіння $q=2700$ кВт/м², $t_{\text{п}}=21$ °С, $w=0,09$ м/с.

Зміна щільності теплового потоку однаково впливає як на швидкість кондуктивного так і на кондуктивно-конвективне сушіння при різних швидкостях і температурах повітря, що продуває шар. Для визначення швидкості сушіння при використанні продувки шару $W_{\text{п}}$ отримана наступна залежність, що описує експериментальні дані з похибкою $\pm 8,7\%$ при $130 \leq Re \leq 420$, $20 \leq t_{\text{п}} \leq 64$:

$$\frac{W_{\text{п}}}{W_l} = (1 + 0,006 Re) \left(\frac{t_{\text{п}}}{t_o} \right)^{1,19}. \quad (18)$$

Залежність (18) враховує інтенсифікацію процесу при збільшенні швидкості й температури повітря, що продуває. Дані з кінетики кондуктивного і кондуктивно-конвективного сушіння, отримані при різних режимних умовах і товщинах шару, задовільно описуються узагальненими кривими вологовмісту й температури, справедливими з середньоквадратичною похибкою $\pm 3,5$ і $\pm 4,7\%$ відповідно:

$$\frac{u}{u_0} = 1 - 1,17 \frac{W_l \tau}{u_0} + 0,04 \left(\frac{W_l \tau}{u_0} \right)^2 + 0,97 \left(\frac{W_l \tau}{u_0} \right)^3, \quad \frac{t}{t_1} = 1 + 11,84 \left(\frac{W_l \tau}{u_0} - 0,23 \right)^3. \quad (19)$$

Проведено порівняння експериментальних даних по вологовмісту й температурі і їхнім значенням, отриманих розрахунковим шляхом по запропонованій моделі (формули 14,15) у процесі кондуктивно-конвективного сушіння. Слід зазначити непогану збіжність розрахункових і експериментальних величин вологовмісту й температури шару гречки. Розбіжності для температур не перевищували $\pm 9,5\%$, для вологовмістів - $\pm 6\%$.

У четвертому розділі проведений порівняльний аналіз характеристик процесів сушіння при різних способах теплопідводу. Швидкість мікрохвильового сушіння змінювалася від $5,9 \cdot 10^{-5}$ до $62,8 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, що значно вище значень, що досягають при інших способах підведення теплоти (кондуктивному - $9 \cdot 10^{-7}$ - $32,8 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$, кондуктивно-конвективному - $6,7 \cdot 10^{-6}$ - $38 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$). Це пояснюється рівномірним тепловиділенням у повному обсязі шару, що дозволяє підводити значні кількості теплоти до шару в одиницю часу без його перегріву. При кондуктивному підводі теплоти величина щільності теплового потоку обмежується припустимою для даного матеріалу температурою поверхні, що гріє. Так, при $t_{\text{прп}} < 85$ °С, об'ємна щільність теплового потоку $Q_{\text{кор}}/V_{\text{зр}}$ при мікрохвильовому сушінні становила 667520 Вт/м³, а при кондуктивному - 28571 Вт/м³.

Оцінювання питомих витрат електроенергії при різних способах сушіння гречки проводилася для діапазону вологовмісту 0,20-0,12 кг/кг (табл.1). З даних табл.1 видно, що найбільші питомі витрати енергії мали місце при мікрохвильовому сушінні. Вони істотно знижуються при використанні циклічного підведення МХ енергії та продуванні шару повітрям. Досить доцільно кондуктивне сушіння сполучати з продуванням ненагрітим повітрям, що без істотних додаткових витрат енергії, дозволяє зменшити час процесу.

Слід зазначити, що наведений тепловий потік у випадку МХ сушіння, який дорівнює відношенню потужності, що підводиться, до маси матеріалу був значно вищим (345 Вт/кг), ніж

для кондуктивного сушіння (35 Вт/кг), а максимальні температури шару розрізнялися незначно. При цьому вплив високої температури у випадку кондуктивного підведення теплоти був значно довшим, що важливо, тому що чим менше перебуває зерно в нагрітому стані, тим більша гарантія збереження його якості.

Таблиця 1

Зіставлення різних способів сушіння.

Спосіб сушіння	Маса зразка, м, кг.	Час сушіння τ , хв.	Температура матеріалу		Питомі витрати, Р, кДж/кг.
			$t_{\text{прип.}}$, °C	$t_{\text{сер.}}$, °C	
Мікрохвильовий	0,2	12	87	80	860
Циклічний (МХ-продувка ненагрітим повітрям)	0,2	16	72	69	572,5
Кондуктивний	0,1	384	82	40	565
Кондуктивно-конвективний (ненагріте повітря)	0,1	130	66	27	273

Експериментальні дані, отримані в процесі сушіння шару гречки при різних способах теплопідводу, задовільно описуються узагальненими кривими вологовмісту й температури (рис.5).

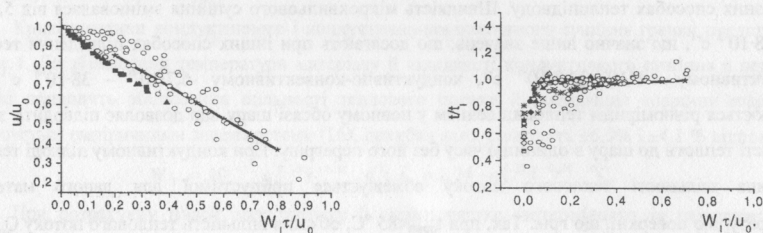


Рис.5. Узагальнені криві вологовмісту й температури при різних способах теплопідводу. ▲-кондуктивно-конвективний; ■-кондуктивний; ○- мікрохвильовий; ★-кондуктивний (рівняння (20))

Наведені в літературі рівняння (20), отримані для групи неорганічних дисперсних матеріалів при кондуктивному підводі теплоти. Дослідження показали, що ці рівняння також узагальнюють наші дані для різних способів теплопідводу.

$$\frac{u}{u_0} = \left(1,6 - \frac{W_1 \tau}{u_0}\right) \cdot \left(1,6 + 3 \left(\frac{W_1 \tau}{u_0}\right)^2 - 1,4 \frac{W_1 \tau}{u_0}\right)^{-1}, \quad \frac{t}{t_1} = 1 + 0,4 \left(\frac{W_1 \tau}{u_0} - 0,8\right)^3. \quad (20)$$

Похибка залежностей (20) для кондуктивного, конвективного й кондуктивно-конвективного способів теплопідводу становить $\pm 5,2\%$ і $\pm 7,9\%$; для мікрохвильового способу теплопідводу - $\pm 16,2\%$ і $\pm 20,8\%$ відповідно (що в 1,6-1,9 разів вище похибок рівнянь (6-7, 19), отриманих автором).

Проведено розрахунки устатковини для сушіння й охолодження зерна гречки в щільному рухомому шарі при МХ-конвективному і кондуктивно-конвективному підводі теплоти при наступних вихідних даних: 1 - продуктивність по вологому зерну, що надходить із пропарувача - 1,92 кг/с; 2 - вологовміст зерна на вході в сушарку - 0,2 кг/кг; на виході з охолоджувача - 0,14 кг/кг. В охолоджувачі відбувається досушка зерна практично без додаткових витрат енергії. Порівняння характеристик сушарок показало, що при використанні мікрохвильової енергії обсяг сушарки склав 1,64 м³, а кондуктивної - 4,2 м³, тобто габарити сушарки зменшилися, а питомі тепло- й вологознімання збільшилися в 2,5 рази. При цьому питома витрата енергії для МХ сушарки склала 132,8 кДж/кг, а для кондуктивної - 88,54 кДж/кг. Тобто використання джерел мікрохвильової енергії малої потужності, більш дешевих і простих в експлуатації, але які мають недостатньо високий ККД, вимагає більшої витрати енергії, ніж застосування поверхонь, що гріють. Зниження енерговитрат на мікрохвильове сушіння можна досягнути вдосконалюванням джерела мікрохвильової енергії.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена аналітичному й експериментальному дослідженню кінетики сушіння щільного шару дисперсного матеріалу, зокрема, гречки, при нетрадиційному (мікрохвильовому), традиційних (кондуктивному та конвективному) і комбінованих на їхніх основах способах підведення теплоти, а також їхньому зіставленню.

1. Сушіння нерухомого шару гречки в мікрохвильовому полі найбільш інтенсивно протікає при товщині шару 0,016-0,066 м і при використанні радіопрозорої сітки як основи осередку. До збільшення швидкості сушіння приводить збільшення потужності, що підводиться, поверхні зразка через яку проникає утворена пара і товщини шару (при постійній масі), а також зменшення маси матеріалу. Експериментальні дані зі швидкості сушіння й температури в першому періоді з похибкою $\pm 6,3$ і $\pm 4,7$ %, відповідно, узагальнюються залежностями (6, 7), які враховують вплив зазначених параметрів.
2. До збільшення температури матеріалу й швидкості кондуктивного сушіння в першому періоді приводить збільшення щільності теплового потоку й зменшення товщини шару, що враховується відповідними залежностями (16) з похибкою для W_1 - $\pm 6,9\%$, для t - $\pm 4,1$ %.
3. Отримані в роботі залежності (3, 14, 15) для розрахунку температур і вологовмісту при мікрохвильовому і кондуктивно-конвективному сушінні можуть використовуватися при проектуванні відповідних сушарок зі щільним шаром для різних дисперсних матеріалів.

4. Коефіцієнти дифузії й термодифузії вологи для шару гречки істотно залежать від вологовмісту, що описується залежностями (18), які з похибкою відповідно $\pm 4,9\%$ і $\pm 5,1\%$ узагальнюють експериментальні дані.
5. Можливість опису кривих вологовмісту й температури при кондуктивному, кондуктивно-конвективному і мікрохвильовому підведенні теплоти єдиними узагальненими залежностями (20) свідчить про те, що визначальне значення має форма зв'язку вологи з матеріалом, а не спосіб підведення теплоти.
6. Об'ємний характер підведення мікрохвильової енергії дозволяє підводити за одиницю часу значно більші теплові потоки, ніж при кондуктивному сушінні при відсутності перегріву матеріалу й практично рівномірному розподілі температури. При мікрохвильовому нагріванні розходження між максимальною й середньою температурою шару не перевищує 7°C , при кондуктивному – 47°C .
7. Використання мікрохвильової енергії дозволяє зменшити габарити сушарки й, відповідно, збільшити питомі тепло- й вологознімання порівняно з кондуктивно-конвективним підведенням теплоти при однаковій продуктивності й вологовмістах матеріалу на вході й на виході з сушарок.
8. Сполучення мікрохвильового або кондуктивного підведення теплоти, як основного, з конвективним дозволяє зменшити витрати електроенергії. Продування одночасно з кондуктивним сушінням дає економію енерговитрат близько 50%, почергове мікрохвильове сушіння й продування з повторенням циклів – 30%, продування на кінцевому етапі сушіння без основного підведення теплоти – не більше 10%.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

МХ- мікрохвильовий; ККД- коефіцієнт корисної дії.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Волгушева Н.В. Пошук оптимальних режимів сушіння гречаної крупы у мікрохвильовому полі // Праці конф. "Обладнання та технології харчових виробництв"-Донець, 22-23 лютого.-2005.-Вип.12.-Т.2.-С.9-16.
2. Волгушева Н.В. Сравнительный анализ процессов сушки при различных способах теплоподвода // Холодильная техника и технология.-2005.-№3(95).-С.80-82.
3. Волгушева Н.В., Голикова Е.С. Кинетика сушки короткорезаных макаронных изделий в микроволновом поле// Холодильная техника и технология.-2005.-№1(93).-С.83-85. (Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів)
4. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Кинетика сушки неподвижного слоя гречихи в микроволновом поле // Праці X наук.-метод. конф. "Людина та навколишнє середовище – проблеми безперервної екологічної освіти в вузах".- Одеса, 21-24 вересня.-

- 2004.- С.185-187. (Особистий внесок: доповідь, демонстрація отриманих результатів, участь у дискусії, підготовка матеріалу до публікації)
5. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Кинетика сушки крупы гречихи при различных способах теплоподвода // Праці VIII Міжнар. наук.-практ. конф. "Наука і освіта 2005"- Днепропетровск, 7-21 лютого.- 2005.- Т.61.-С.37-38. (Особистий внесок: підготовка доповіді, участь у дискусії, підготовка матеріалу до публікації)
6. Календерьян В.А., Волгушева Н.В. Математическая модель процесса сушки дисперсных материалов в движущемся плотном слое при комбинированном подводе теплоты // Придніпровський науковий вісник.-1998.-№108.-С.11-16. (Особистий внесок: отримання аналітичних залежностей для розрахунку температур компонентів у періоді падаючої швидкості сушіння)
7. Календерьян В.А., Гаппасов В.Р., Волгушева Н.В. Численное исследование тепловлагопереноса при конвективной сушке дисперсных материалов в движущемся плотном слое // Холодильная техника и технология. – 1999.- Вип. 63.-С.28-31. (Особистий внесок: виконання розрахунків сушарки для зерна гречки й аналіз зміни вологовмісту й температури повітря за часом, висотою й шириною апарата)
8. Калинин Л.Г., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Разработка микроволновых сушилок для зерна // Хранение и переработка зерна.- 2004.-№7.-С.34-35. (Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень і розробка на їхній основі рекомендацій з раціональної організації сушіння)
9. Сушка зерна в микроволновом поле /В.П. Тучный, Л.Г. Калинин, И.Л. Бошкова, Н.В. Волгушева // Хранение и переработка зерна. -2004.- №4.-С.30- 32. (Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка статті до публікації)

АНОТАЦІЯ

Волгушева Н.В. Кинетика сушіння щільного шару дисперсного матеріалу (на прикладі гречки) при різних способах підведення теплоти.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.14.06-Технічна теплофізика й промислова теплоенергетика.- Одеська державна академія холоду, Одеса, 2005.

Дисертація присвячена аналітичному й експериментальному дослідженню кінетики сушіння щільного шару дисперсного матеріалу, зокрема гречки, впливу основних факторів на процес сушіння; коефіцієнтів і механізмів вологопереносу. Отримано аналітичні залежності для розрахунку температури шару матеріалу в процесі мікрохвильового сушіння, а також температур твердого й газового компонентів при кондуктивно-конвективному сушінні в щільному рухомому

шарі. Експериментально досліджена кінетика сушіння шару гречки при кондуктивному, конвективному, мікрохвильовому й комбінованих на їхній основі способах теплопідводу. Отримано емпіричні залежності для розрахунку швидкості сушіння й температури матеріалу в першому періоді сушіння, а також узагальнені рівняння кривих вологовмісту й температури для перерахованих вище способів сушіння. Визначено раціональні способи сушіння на основі їхнього зіставлення за тривалістю, температурою матеріалу, витратами електроенергії.

Ключові слова: сушіння, дисперсні матеріали, гречка, кондуктивний, конвективний, мікрохвильовий спосіб.

АННОТАЦІЯ

Волгушева Н.В. Кинетика сушки плотного слоя дисперсного материала (на примере гречихи) при различных способах подвода теплоты.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06- Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика.- Одесская государственная академия холода, Одесса, 2005.

Дальнейшее совершенствование существующих технологий и техники сушки зерна, как показывает анализ состояния данной проблемы, возможно на основе кондуктивного, конвективного и микроволнового способов сушки. Основой для разработки новых сушильных установок и технологических режимов является знание кинетических закономерностей процесса сушки. В работе в качестве дисперсного материала исследована гречиха, что связано с ее пищевой ценностью, объемами промышленного применения в нашей стране и растущим спросом в европейских странах, а также практически полным отсутствием данных по кинетике процесса. В связи с вышесказанным, а также с целью определить перспективность развития существующих и новых технологий, целесообразно исследование кинетики процесса сушки при трех основных способах подвода теплоты: кондуктивном, конвективном и микроволновом, а также комбинированных на их основе.

Диссертация посвящена аналитическому и экспериментальному исследованию кинетики сушки плотного слоя дисперсного материала, в частности, гречихи; влияния основных факторов на процесс сушки; определению коэффициентов и механизмов влагопереноса. Получены аналитические зависимости для расчета температуры слоя материала в процессе микроволновой сушки, а также температур твердого и газового компонентов при кондуктивно-конвективной сушке в движущемся плотном слое. Экспериментально исследована кинетика сушки слоя гречихи при кондуктивном, конвективном, микроволновом и комбинированных на их основе способах теплоподвода. Получены эмпирические зависимости для расчета скорости сушки и температуры материала в первом периоде сушки, а также обобщенные уравнения кривых влагосодержания и температуры для вышперечисленных способов сушки. Определены характеристики слоя, при

которых микроволновая сушка протекает наиболее интенсивно. Получены зависимости коэффициентов диффузии и термодиффузии слоя гречихи от влагосодержания, оценена доля диффузионного и термодиффузионного переноса влаги. Проведено сопоставление рассматриваемых способов сушки по продолжительности, температурам материала, затратам электроэнергии. Определены рациональные способы сушки. Рассчитаны сушильные установки для гречихи с движущимся продуваемым плотным слоем при микроволновом и кондуктивном подводе теплоты, проведено сравнение основных характеристик установок производительностью 1,92кг/с.

Ключевые слова: сушка, дисперсные материалы, гречиха, кондуктивный, конвективный, микроволновой способ.

ANNOTATION

Volgusheva N.V. Kinetics of drying in a packed bed of disperse material (on a buckwheat basis as an example) at various heating methods.- Manuscript.

Candidate of Technical Sciences Dissertation in speciality 05.14.06- Technical thermophysics and Industrial Thermal Engineering.- Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 2005.

The dissertation is devoted to analytical and experimental study of drying kinetics in a packed bed of disperse material, in particular of buckwheat; study of the influence of the main factors on the drying process; study of coefficients and mechanisms of moisture transfer. Analytical dependencies for calculation of temperature in a material's bed during the microwave drying have been obtained as well as dependencies for temperatures of the gaseous and solid components at conductive-convective drying at a moving packed bed. Kinetics of drying of a buckwheat bed at conductive, convective, microwave and combined heating modes has been experimentally investigated. Empirical dependencies for drying rate and temperature of material at the first stage of drying as well as generalised equations for moisture content and temperature have been obtained for the above heating methods. On the basis of comparison of process duration, temperature and energy expence rational methods of drying have been determined.

Key words: drying, disperse materials, buckwheat, conductive, convective, microwave method.

