

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Корінчук Д.М., канд. техн. наук, доцент
Демчук Д.Ю., магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ

В даній статті описана актуальність використання процесу інфрачервоного сушіння термолабільних матеріалів. Завдяки даному методу сушіння збільшується якість продукту, збільшується швидкість сушіння та зменшуються енергетичні витрати.

In this article describes the relevance of using infrared drying process thermolabile materials. Through this method of drying increases product quality, increases drying speed and reduced energy costs.

Ключові слова: сушіння, інфрачервоне випромінювання, термолабільні матеріали.

В теперішній час зростаючі потреби в нових високоякісних продуктах і енергозберігаючих процесах, а так само проблеми захисту навколишнього середовища стимулюють дослідження і розробки в області технології та техніки сушіння.

Сушіння інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням сільськогосподарської продукції є одним зі способів, які забезпечують довготривале зберігання продуктів харчування. Перевагами ІЧ - сушіння можна вважати забезпечення збереження якості вихідної продукції, можливість регулювання процесу, конструктивна і технологічна економічність, екологічна чистота. Також, видалення вологи з продуктів шляхом сушіння є один з найпростіших і найцінніших методів збереження продуктів, тому тема дослідження актуальна.

Реалізований в ІЧ-сушарці принцип розділення способу передачі продукту сушіння енергії, необхідної для реалізації процесу сушіння характеризується певними особливостями. Якщо в конвективному способі сушіння транспортування енергії і вологи здійснюється одним носієм – повітрям, то при інфрачервоному сушінні енергія передається випромінюванням, а волога виноситься повітрям. Це дозволяє реалізувати процес сушіння при низьких значеннях температури, які не перевищують температуру розпаду біологічно активних компонентів вихідного продукту сушіння. Використання в якості джерел енергії інфрачервоних випромінювачів забезпечує високий ступінь керування процесом сушіння, як просторовий (керування розподіленням потоків енергії всередині об'єму), так і тимчасовий (динамічне керування енергетичним навантаженням в процесі сушіння). Низькі температури в робочих об'ємах дозволяють суттєво спростити конструктивні рішення ІЧ сушильних пристроїв, так як вони не потребують герметизації об'єму та його теплоізоляції. Енергія випромінювання використовується переважно на забезпечення процесу випаровування вологи з продукту, завдяки чому повітря в робочому об'ємі сушильного пристрою нагрівається несуттєво.

При сушінні інфрачервоними променями напрямки потоку вологи є протилежними лише в період прогріву. При поступовому прогріванні тіла волога переміщається всередину шару матеріалу, вологовміст віддалених від поверхні шарів зростає і виникає значний перепад вмісту вологи у тілі. До кінця періоду опромінення тіло прогрівається, перепад температур зменшується, волога рухається до поверхні і починає інтенсивно випаровуватись. Інтенсивність випаровування підвищується в десятки разів [1].

Для ефективної реалізації процесу інфрачервоного зневоднення в сушильному обладнанні, вибору енергозберігаючих режимів процесу, оптимізації роботи обладнання, необхідно теоретично та експериментально дослідити явища, що відбуваються під час зневоднення, вивчити кінетику зневоднення та розробити модель математичного опису процесу.

Створення фізичної моделі процесу інфрачервоного сушіння необхідне для того, щоб виникла можливість опису засобами математичного аналізу існуючих законів взаємодій фізичних явищ.

Об'єктом дослідження виступає яблуко – термолабільне колоїдне капілярно пористе тіло. Кінетика зневоднення суттєво залежить від товщини зразків. В дослідженнях планується вивчати кінетику зневоднення моношару зразку нарізаного у вигляді пластин однакового перерізу. Приймаємо, що модельне тіло – необмежена пластина товщиною h (рис.1). Введемо припущення, які дозволять спростити математичний опис процесу:

1. Різниця парціальних тисків вологи в повітрі та на поверхні достатньо велика.
2. Процес зневоднення лімітує лише внутрішня дифузія вологи з внутрішніх шарів зразка.

3. Кількість випаруваної вологи пропорційна кількості підведеної за допомогою інфрачервоного випромінювання тепла.

4. Теплове випромінювання поглинає тільки зволожений шар матеріалу.

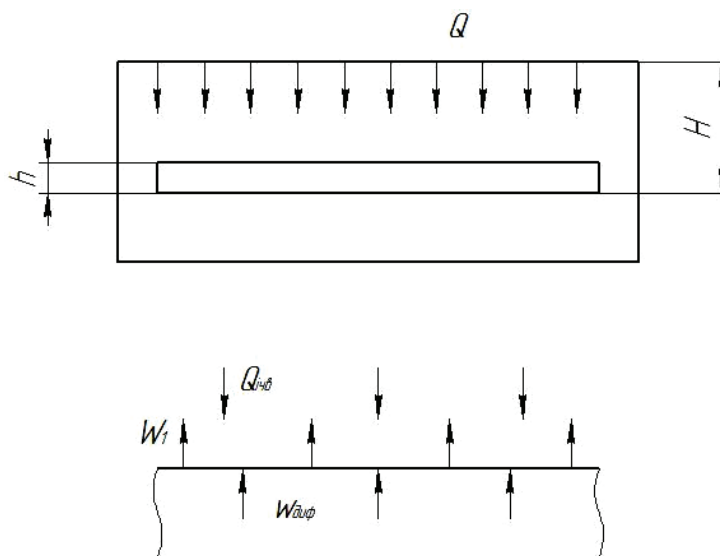
Кількість вологи, що виводиться з середини матеріалу до його поверхні і випаровується визначається величиною дифузійних потоків в середині матеріалу. Враховуючи особливості інфрачервоного та вказані припущення можна прогнозувати підвищення швидкості сушіння в порівнянні з конвективним за рахунок використання термодифузії вологи з внутрішніх шарів до поверхні випаровування. Загальний дифузійний потік визначається за формулою:

$$W_{\text{диф}} = W \nabla C + W \nabla T \quad (1)$$

де $W \nabla C$ — потік вологи за рахунок градієнта концентрацій;

$W \nabla T$ — потік вологи за рахунок градієнта температур.

Розіб'ємо процес сушіння на декілька стадій в часі.



$Q_{\text{ичв}}$ — тепло підведене інфрачервоним випромінювачем; W_1 — волога яка випаровується з вільної поверхні матеріалу; $W_{\text{диф}}$ — волога яка виводиться з ядра матеріалу до поверхні за допомогою внутрішньої дифузії; h — товщина матеріалу; H — відстань від випромінювача до матеріалу.

Рис. 1 – Схема сушіння матеріалу під дією інфрачервоного випромінювання

Стадія 1. Випаровування з вільної поверхні за час τ_1 (рис. 2). Основна енергія витрачається на прогрів сировини та випаровування вільної вологи. Процес достатньо інтенсивний через незначний дифузійний опір і лімітується лише величиною теплового потоку випромінювання.

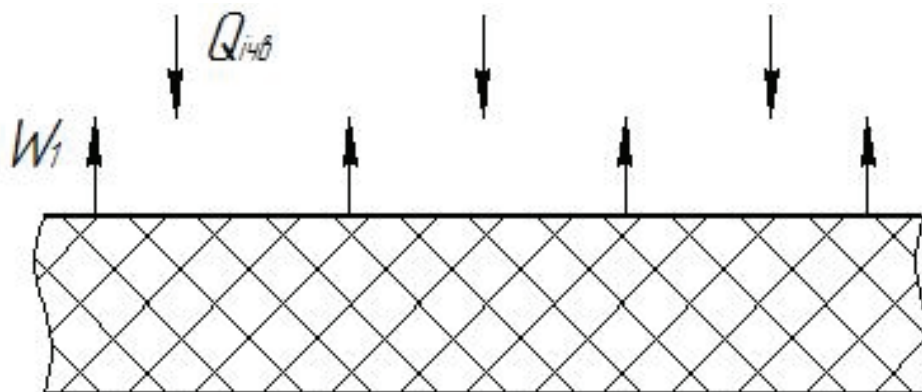


Рис. 2 – Схема випаровування вологи з вільної поверхні матеріалу

Стадія 2. Поглиблення фронту випаровування в середину зразка за час τ_2 (рис. 3). Стадія спадаючої швидкості сушіння. Виникає шар сухого матеріалу, волога дифундує до поверхні зразка та випаровується з неї. Ця стадія для конвективного зневоднення характеризується криволінійною залежністю зміни вологості зразків через зростання дифузійного опору. При інфрачервоному сушінні ця стадія може характеризуватися лінійним законом зміни вологості зразка через компенсацію збільшення дифузійного опору додатковим потоком вологи в результаті термодифузії.

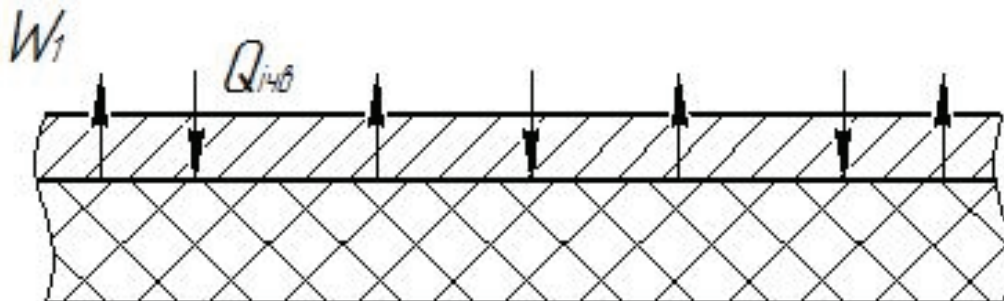


Рис. 3 – Схема поглиблення фронту випаровування в середину зразка

Для дослідження процесу сушіння використовуються інфрачервоні елементи Індуктор – Індіго, та джерела випромінювання, оснащені профільованими відзеркалювачами.

Результати попередніх досліджень показали квазілінійний закон зміни вологості сировини для товщин зразку 2, 4, 8 мм. Спостерігалось підвищення швидкості сушіння на 44 – 34 % відповідно в порівнянні з конвективним зневодненням за аналогічних умов проведення процесу.

Висновки. При використанні інфрачервоних випромінювачів та технології інфрачервоного сушіння ми отримуємо ряд переваг перед традиційним конвективним сушінням:

1. температура продукту під час сушіння знаходиться в межах, які забезпечують збереження цінних біологічно активних компонентів;
2. швидкість сушіння вище на 34 – 44 %;
3. енергетичні витрати менші на 20 – 25 %;
4. реалізуються режими імпульсного сушіння.

Література

1. Завалий А.А. «Устройства для инфракрасной сушки термолабильных материалов».
2. Островский Г.М. «Справочник химика. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. II. – СПб.: НПО Професионал, 2006. – 916 с. ил.».