

Значення розчинності кварцу, розраховані за формулами (1) і (2)

Формула розрахунку розчинності кварцу	Розчинність, lgL					
	300	400	500	600	700	800
$lg L = 2 lg \rho_B - \frac{2071}{T} + 3,68, (1)$	2,78	4,58	5,58	6,23	6,72	7,10
$lg L^* = 2 lg \rho_B + \left(\frac{lg C_A - 3,68}{7,5} \right) lg C_A - \frac{2071}{T}, (2)$	2,92	4,62	5,72	6,37	6,87	7,22
Похибка, %	5	0,8	2,5	2,2	2,2	1,6

Список літератури

1. Мозебах Р. Гидротермальная растворимость кварца с точки зрения гетерогенного газового равновесия // Термодинамика геохимических процессов. – М.: Изд-во ин. лит-ры, 1960. – С. 34–70.
2. Павлов А.П. Эволюция физико-химических параметров гидротермальных систем при рудообразовании. – Новосибирск: Наука, 1976. – 301 с.
3. Балицкий В.С. Экспериментальное изучение процессов хрусталеобразования. – М.: Недра, 1978. – 144 с.
4. Рыженко Б.Н. Термодинамика равновесий в гидротермальных растворах. – М.: Наука, 1981. – 191 с.
5. Барсуков Викт.Л., Лаверов Н.П., Пэк А.А. Структура потока рудообразующих растворов как один из факторов зональности гидротермальных месторождений // Геохронология и проблемы рудообразования. – М.: Наука, 1977. – С. 132–145.
6. Shrader K., Stadter W., Oettel H. Untersuchungen an mechanisch aktivierten Kontakten. XIII. Festkörperstruktur und Katalytisches Verhalten von Nickel-pulver // Z. Phys. Chem. – 1972. – Bd. 249. – S. 87–100.

Приведены расчеты растворимости в воде механически активированного кварца в диапазоне температур 300÷800 К. Предложена формула, дополнительно учитывающая энергию одной дислокации введением нового коэффициента, в который входит также и дифференциальная теплота растворения, которая, в среднем, остается постоянной в этом диапазоне температур. По этим расчетам построены зависимости растворимости кварца от температуры при разных значениях плотности дислокаций на поверхности кварца. Установлено,

что растворимость деформированного кварца зависит в меньшей степени от температуры, чем от плотности поверхностных активных состояний. Показано, что запасенная кристаллом энергия, пропорциональная плотности дислокаций – активных поверхностных центров, снижает энергетический барьер химических реакций образования зародышей новой фазы.

Ключевые слова: механоактивация, растворимость кварца, запасенная энергия

Calculations of water solubility of mechanically activated quartz in the range of temperatures 300÷800 K are resulted. The suggested formula additionally takes into account the energy of one dislocation by introduction of the new coefficient, in which the differential heat of dissolution is also included, which on the average remains permanent in this range of temperatures. Upon these settlement dependences of quartz solubility on temperature at different values of dislocations concentration on the surface of quartz are plotted. It is set that solubility of the deformed quartz depends on temperature in less degree, than on the concentration of superficial active states. It is shown that the crystal accumulated energy which is proportional to the dislocations concentration – the active superficial centers – reduces the power barrier of chemical reactions of a new phase formation.

Keywords: mechanical activation, solubility of quartz, accumulated energy

Рекомендовано до публікації к.з.-м.н. Ю.Т. Хоменко 23.07.10

УДК 536.24

© Яковенко В.О., 2010

В.О. Яковенко

АДЕКВАТНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НВЧ СУШІННЯ МАТЕРІАЛІВ

V.O. Yakovenko

AN ADEQUACY AND EN EFFICIENCY OF THE MODELS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MATERIALS MICROWAVE DRYING

Побудовано математичну модель технологічного процесу надвисокочастотного (НВЧ) сушіння матеріалів. Визначено етапи оптимізації надвисокочастотного нагрівання. За результатами моделювання впливу мікрохвильового джерела на матеріал розроблено параметри оптимального технологічного режиму сушіння для деревини бука та плодів абрикос, за якого зберігаються властивості вихідного продукту. Рішення задачі отримано в аналітичному вигляді, який відповідає інженерним розрахункам.

Ключові слова: математична модель, оптимальний режим, надвисокочастотне сушіння матеріалів

Математичне моделювання процесів мікрохвильових технологій містить етап перевірки адекватності шуканого рішення фізичної моделі. Слід зазначити, що зовнішнє електромагнітне поле збуджує внутрішні поля в матеріалі під час технологічного процесу сушіння. Такі поля утворюються різними градієнтами: температури, вологовмісту, тиску, що є рушійними силами внутрішнього масопереносу.

Застосування методів математичного моделювання для дослідження технологічних процесів сушіння матеріалів у мікрохвильових установках дозволяє не тільки ефективно визначити тип і параметри джерела енергії, але й розглядати НВЧ установку як єдину багатопараметрову систему з різними джерелами енергії та складовими технологічного блоку. Натомість, вибір критеріїв технічної оптимізації установок мікрохвильового нагрівання дозволяє визначити оптимальні режими самого процесу сушіння і надає повну оцінку техніко-економічній ефективності сушильної установки.

Розглянемо адекватність та ефективність (практичну корисність) таких моделей в умовах фазового перетворення „рідина – пара“ та розташування НВЧ випромінювача над поверхнею плити деревини бука. За таких умов визначимо оптимальний режим сушіння, тобто мінімальну потужність мікрохвильового генератора випромінювача, за якої досягається зазначена рівномірність поля температур.

Відомо, що, як критерій оптимальності переведення об'єкта з початкового теплового стану в заданий, може бути обрано точність переведення, що дозволяє визначити час початку квазістаціонарного теплового процесу. Тоді маємо

$$\max|t - t_s| \leq \eta,$$

де η – величина допуску на рівномірність нагрівання; t_s – задана температура.

Ураховуючи особливості процесу сушіння матеріалу в робочій камері променевого типу, введемо такі обмеження:

– для рухомих нижньої і верхньої межі сухої зони повинна виконуватись умова

$$\xi_1 + \xi_2 \leq a_2 - a_1, \xi_1 \geq 0, \xi_2 \geq 0;$$

– температура навколишнього середовища

$$t_1 \leq t_0 \leq t_m;$$

– потужність мікрохвильового генератора

$$q_1 \leq q \leq q_2;$$

– температура матеріалу

$$t(\tau, x) \leq t_f;$$

– коефіцієнт стоячої хвилі за напруженням, що визначає ступінь узгодження камери і лінії подачі електромагнітних коливань

$$1 \leq k \leq k_m.$$

Такий підхід дозволяє розробити алгоритм і програмне забезпечення розрахунку сушіння матеріалу, а також у подальшому розв'язати задачі оптимізації та управління процесом.

Задача оптимізації надвисокочастотного нагрівання включає такі етапи:

– визначається мінімальна потужність мікрохвильового генератора, для якої максимальна температура сухої зони набувала значення t_f за час τ ;

– перевіряється критерій оптимальності;

– якщо критерій не виконується, то збільшується температура навколишнього середовища до одержання необхідного рівномірного нагрівання;

– визначається коефіцієнт стоячої хвилі.

Високоінтенсивний процес сушіння в НВЧ установках описується такою системою рівнянь електродинаміки і тепломасопереносу з певними крайовими та початковими умовами [1]

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial \tau}, \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial \tau}, \operatorname{div} \vec{D} = 0, \operatorname{div} \vec{B} = 0;$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = k_{11} \nabla^2 u + k_{12} \nabla^2 t + k_{13} \nabla^2 p;$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = k_{21} \nabla^2 u + k_{22} \nabla^2 t + k_{23} \nabla^2 p + \frac{q}{c\rho};$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = k_{31} \nabla^2 u + k_{32} \nabla^2 t + k_{33} \nabla^2 p, \quad (1)$$

де \vec{E}, \vec{H} – вектори напруженості електричного і магнітного полів; $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ – вектор електричної індукції; $\vec{B} = \mu \vec{H}$ – вектор магнітної індукції; ε, μ – абсолютні діелектрична і магнітна проникності; $\vec{j} = \delta \vec{E}$ – густина току провідності; δ – питома провідність; $q/c\rho$ – питома потужність джерел НВЧ енергії; u – вологовміст; $t = \bar{t} - t_0$ – температурний напір; p – тиск водяних парів; ρ – густина; k_{ij} ($i=1,2,3, j=1,2,3$) – коефіцієнти переносу.

За результатами рішення задачі оптимізації нагрівання, отриманого на основі методики [2] в умовах імпульсного впливу мікрохвильового генератора, наведено залежність температури плити від часу (рисунок).

Із графіків рисунку видно, що врахування фазового перетворення „рідина – пара“ приводить до зменшення та вирівнювання температури в кожному шарі плити. Порівняння отриманих результатів чисельного експерименту з відомими даними [3] показує, що розбіжність між ними не перевищує 9%. Слід зазначити, що за умови імпульсної роботи мікрохвильового генератора потужністю 600 Вт, починаючи з $\tau = 0,5$ години, досягається відповідна рівномірність нагрівання.

Таким чином, за результатами моделювання впливу мікрохвильового джерела на плиту з деревини бука заданої геометрії отримано такі оптимальні параметри технологічного режиму: потужність НВЧ

генератора 600 Вт, квазістаціонарний тепловий режим починається через 30 хвилин після початку процесу нагрівання.

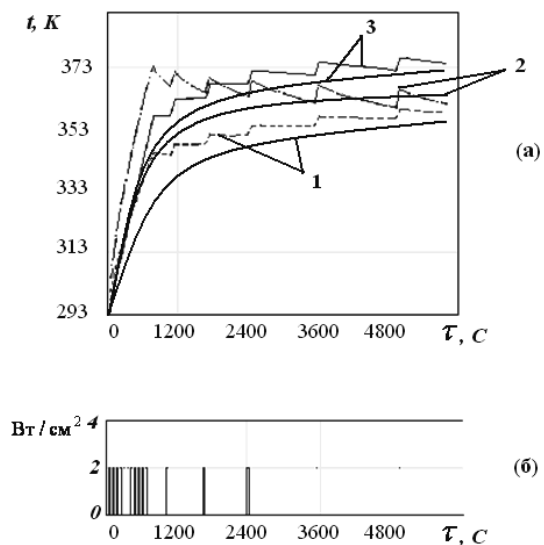


Рис. Імпульсне НВЧ нагрівання (температура повітря 70°C): а – залежність температури від часу, (1, 2, 3 – відповідно нижня, середня, верхня частини плити; - - - - - результати роботи [3]); б – залежність густини НВЧ потужності від часу

Розглянемо адекватність моделі технологічного процесу сушіння продукції агропромислового комплексу на прикладі сушіння абрикос. У [4] розроблено відповідну модель, де на прикладі технологічного процесу сушіння абрикос наведено розрахункову криву залежності тривалості сушіння від температури з урахуванням та без урахування фазового перетворення „рідина – пара“. Порівняємо характеристики такого процесу, залежно від видів підводу тепла – конвективного і комбінованого [5], порівняно з мікрохвильовим нагріванням – для одиниці об’єму. Слід зазначити, що, з урахуванням фазового перетворення, відповідні порівнювані значення тривалості сушіння абрикос, залежно від зміни температури і напруженості електромагнітного поля, наведено у табл. 1 і 2.

Для використання наведених порівняльних результатів сушіння слід зазначити таке. Процес зміни агрегатного стану матеріалу (одиниці об’єму абрикос), тобто пароутворення у частині контактної шару в перший період, супроводжується поглинанням теплоти фазового перетворення і переносом тепла паром до внутрішньої частини матеріалу. Інтенсивність процесу сушіння в перший період зростає, а утворена в контактному шарі пара прямує до середини матеріалу.

В умовах комбінованого сушіння є можливим на деякий час використовувати для вільного випаровування контактну поверхню матеріалу. Це суттєво важливо в умовах сушіння матеріалу з великою питомою масою. На конвективній ділянці матеріал звільняється від пари, охолоджується за рахунок випаровування вологи з поверхні. У той же час, периферійні шари наповнюються вологою, яка рухається у вигляді

ді рідини із центральних шарів. Таким чином, фізична сутність комбінованого сушіння (конвективний теплообмін і теплообмін за рахунок дії електромагнітного поля) визначається взаємопов’язаними переносами тепла, пари та рідини всередині матеріалу.

Тепломасоперенос суттєво залежить як від фізико-хімічних властивостей твердої фази матеріалу, так і від зовнішніх умов теплообміну. Із табл. 1 видно, що зростання температури скорочує час сушіння в усіх трьох випадках. Порівнюючи значення температур за напруженості електромагнітного поля $E = 8750 \text{ В/м}$ та $E = 18000 \text{ В/м}$ слід зазначити, що таке скорочення більше в першому випадку, ніж у другому.

Таблиця 1

Залежність тривалості процесу сушіння абрикос від температури сушильного агента і напруженості електромагнітного поля

Спосіб нагрівання	Температура, °C				
	60	70	80	90	100
Конвективний [5], хв	1320	1250	1180	1090	990
НВЧ нагрівання, хв	1230	1100	990	877	820
Комбінований [5], $E=8750 \text{ В/м}$, хв	1057	979	873	792	704
НВЧ нагрівання, хв	1020	960	844	780	630
Комбінований [5], $E=18000 \text{ В/м}$, хв	995	916	825	767	582

У той же час, значне скорочення часу сушіння відбувається в другому періоді сушіння (табл. 2). Такому явищу може бути надано пояснення на основі отриманих у роботі результатів: за методом НВЧ нагрівання, вплив електромагнітного поля на процес сушіння сприяє розриву осмотичних та адсорбційних зв’язків вологи із матеріалом, що має своє підтвердження в роботі [5]. Слід зазначити, що при порівнянні отриманих результатів чисельного експерименту з відомими даними роботи [5], розбіжність між ними не перевищувала 8%.

Враховуючи наведені результати робимо **висновок**, що процес сушіння плодів абрикос доцільно проводити в два етапи. На першому етапі, до поляризованого вологовмісту абрикос 200%, необхідно здійснювати енергопідведення $E = 8750 \text{ В/м}$ при температурі 100°C . На другому етапі – до отримання рівноважного вологовмісту 25%, застосовувати напруженість $E = 18000 \text{ В/м}$. Такий оптимальний режим сушіння дає можливість зберегти смакові та поживні властивості вихідного продукту.

Таким чином, у роботі побудовано математичну модель технологічного процесу надвисокочастотного сушіння матеріалів. За результатами моделювання впливу мікрохвильового джерела на матеріал, розроблено оптимальні параметри технологічного режиму сушіння для деревини бука та плодів абрикос, за якого зберігаються властивості вихідного продукту.

Таблиця 2

Залежність тривалості процесу сушіння абрикос від температури і напруженості електромагнітного поля з урахуванням часу періодів сушіння

Спосіб нагрівання		Напруженість E=8750 В/м					Напруженість E=18000 В/м				
		60 ⁰ С	70 ⁰ С	80 ⁰ С	90 ⁰ С	100 ⁰ С	60 ⁰ С	70 ⁰ С	80 ⁰ С	90 ⁰ С	100 ⁰ С
Конвективний [5]	τ_1	570	554	538	517	479	570	554	538	517	479
	τ_2	750	696	642	573	511	750	696	642	573	511
Комбінований [5]		475	425	335	275	225	425	362	287	250	103
НВЧ нагрівання		510	495	478	325	280	490	410	320	290	160

Список літератури

1. Никитенко Н. И. Теория тепломассопереноса / Н.И. Никитенко. – К.: Наук. думка, 1983. – 352 с.
2. Яковенко В.О. Моделювання та оптимізація сушіння матеріалів у надвисокочастотних камерах / В.О. Яковенко // Вісник Академії митної служби України. – 2007. – № 4 (36). – С. 91–97.
3. Тригорлый С.В. Оптимизация термообработки диэлектриков в СВЧ камерах лучевого типа / Тригорлый С.В. // Вестник Саратовского гос. техн. ун-та. – 2006. – Вып. 1. – С. 58–66.
4. Яковенко В.О. Моделювання процесів переносу в областях з рухомими межами під дією енергії надвисоких частот: [монографія] / В.О. Яковенко. – Д.: Академія митної служби України, 2009. – 196 с.
5. Лупашко А. О применении нетрадиционных методов сушки плодов косточковых / А. Лупашко, Г. Дикусар, О. Настас // Сб. тр. IX МНТК. – Донецк, 2002. – Т.2. – С. 143–146.

Построена математическая модель технологического процесса СВЧ сушки материалов. Определены этапы оптимизации СВЧ нагрева. По результатам моделиро-

вания влияния микроволнового источника на материал разработаны параметры оптимального технологического режима сушки древесины бука и плодов абрикос, при котором сохраняются свойства исходного продукта. Решение задачи получено в аналитическом виде, который соответствует инженерным расчетам.

Ключевые слова: математическая модель, оптимальный режим, СВЧ сушка материалов

The mathematical model of the materials microwave drying technological process is constructed. The stages of optimisation of superhigh-frequency heating are defined. The parameters of an optimal operating practices of drying of beechwood and apricot that allow to preserve the properties of the feedstock were worked out on the results of modelling of a microwave source influence on material. The solution of the problem is gained in the analytical view and it corresponds to the engineering calculations.

Keywords: mathematical model, an optimum mode, microwave drying of materials

Рекомендовано до публікації д.т.н. Є.В. Кочурою 07.04.10

Національний гірничий університет пропонує інноваційний проект

БУРОВІ ТВЕРДОСПЛАВНІ КОРОНКИ СТК

Автори: Кожевников А.О., д-р техн. наук, проф., Тітов В.І., наук. співроб., Донцов В. П., провід. спеціал.

Сутність проекту: використання твердосплавних коронок СТК забезпечує зростання техніко-економічних показників – зростання механічної швидкості буріння, проходки за рейс та на коронку, виходу ядра, зниження собівартості буріння 1 м свердловини. Новизна полягає в особливій формі та розташуванні твердосплавних пластин.

Рівень готовності: 90%.

Економічна ефективність: зниження собівартості буріння 1 м свердловини на 25%.

Вартість проекту: 400 тис. грн.

Зацікавлені підприємства: Державна геологічна служба України, спеціалізовані підприємства.

Контакти: тел.: (0562) 46-63-46, факс: (0562) 47-32-09, e-mail: nmu@nmu.org.ua