

УДК 532.72

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОПИТКИ И СУШКИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2011 г.

А.А. Жилин

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

lab20@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 16.06.2011

Представлены результаты экспериментального исследования и численного моделирования процессов капиллярной пропитки и сушки пористых материалов. Рассмотрены два способа увлажнения материала с развитыми поверхностными и внутренними пористыми структурами. Проведено сравнение этих способов, проанализировано влияние скорости пропитки на геометрию зерен силикагеля. Выполнена сушка зерен силикагеля тремя способами: микроволновым, конвективным и акусто-конвективным. Показана зависимость скорости и качества осушаемого материала от выбранного способа сушки. Для описания полученных экспериментальных данных предложена математическая модель, основанная на двумерном уравнении диффузии. Численно получено распределение влажности в цилиндрических образцах, состоящих из зерен силикагеля, для различных значений начальной влажности при определенных коэффициентах диффузии и зависимости коэффициента влагоотдачи от частоты акусто-конвективного воздействия.

Ключевые слова: акусто-конвективная сушка, зернистый силикагель, экстракция влаги, коэффициент диффузии и влагоотдачи.

Применение пористых материалов с развитыми поверхностными и внутренними структурами в химической и в ряде других отраслей промышленности приводит к необходимости исследования особенностей механизма взаимодействия влаги с данным классом материалов. В настоящем исследовании в качестве изучаемого материала выбран технический гранулированный мелкопористый силикагель марки КСМГ.

Перед проведением экспериментов по увлажнению и сушке определялась начальная влажность зернистого силикагеля микроволновым методом, при этом были выделены три режима экстракции влаги: поверхностный, внутренний с испарением свободной влаги и внутренний с испарением связанной влаги. Отметим, что в процессе сушки силикагеля микроволновым способом в материале возникают трещины, которые увеличиваются в размерах и приводят к разрушению зерен на мелкие части.

Проведенные далее эксперименты по акусто-конвективной сушке образцов показали, что:

а) при одинаковой интенсивности и частоте звукового поля зерна силикагеля, имеющие более высокую начальную влажность, характеризуются большей скоростью экстракции влаги, чем менее влажные (рис. 1);

б) при одинаковой начальной влажности зерен силикагеля повышение частоты озвучивания приводит к интенсификации процесса экстракции вла-

ги (рис. 2). На рисунках обозначено: точки – эксперимент, кривые – расчет.

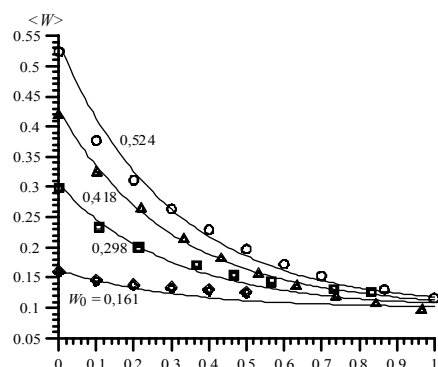


Рис. 1

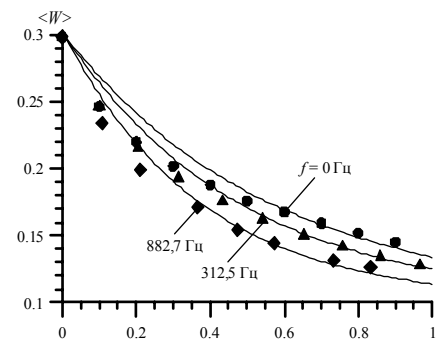


Рис. 2

Для описания влагопереноса в цилиндрической засыпке силикагеля при акусто-конвективном воздействии используем двухмерное

уравнение диффузии влаги, записанное в цилиндрической системе координат:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии; r и z – пространственные координаты.

Уравнение (1) дополняем начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} \text{при } t=0 \quad W(0, r, z) &= W_0, & (2) \\ \text{при } (r, z) \in [0, R] \times [0, l]; \\ \text{при } r=0 \quad \partial W(t, 0, z) / \partial r &= 0; \\ \text{при } r=R \quad \partial W(t, R, z) / \partial r &= -\alpha(W - W_K) S_{\text{бок}}; \\ \text{при } z=0 \quad \partial W(t, r, 0) / \partial z &= \alpha(W - W_K) S_{\text{торец}}; \\ \text{при } z=l \quad \partial W(t, r, l) / \partial z &= -\alpha(W - W_K) S_{\text{торец}}; \end{aligned}$$

где W – влажность в засыпке, W_0 – начальная влажность в засыпке, а W_K – конечная влажность в окружающей образце среде; α – коэффициент влагоотдачи; R – радиус цилиндрической засыпки; l – длина цилиндрического образца; $S_{\text{бок}}$ и $S_{\text{торец}}$ – площадь боковой и торцевой поверхностей образца.

Решение начально-краевой задачи (1), (2) находилось численно, для чего использовался метод прямых. Для решения полученной при этом системы обыкновенных дифференциальных уравнений применяется метод, основанный на формуле дифференцирования против потока [1].

Расчеты проводились в безразмерных переменных, за единицу масштаба длины брался радиус R , за единицу времени – продолжительность эксперимента $t_{\text{экс}} = 30$ мин.

На рис. 1 приведено сравнение расчетных и экспериментальных данных по зависимости изменения среднего влагосодержания в процессе акусто-конвективной сушки. Как видно, согласование расчетных и экспериментальных данных удовлетворительное.

На рис. 2 представлено изменение среднего влагосодержания $\langle W \rangle$ силикагеля в процессе сушки образцов при различных частотах.

В результате сравнения расчетных кривых и экспериментальных данных получена зависимость коэффициента влагоотдачи от частоты акусто-конвективного воздействия, которую можно представить квадратным полиномом вида $\alpha(f) = af^2 + bf + \alpha_0$ с коэффициентами: $a = 0.0187$; $b = 3.6399$ и $\alpha_0 = 5925.9$. Здесь α_0 – значение коэффициента влагоотдачи при частоте, равной нулю. Отметим, что полученная величина α_0 согласуется с определенной ранее в [2].

Автор выражает благодарность А.В. Федорову за сотрудничество в выполнении работы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 10-08-00239).

Список литературы

- Berzins M, Dew P.M., Furzeland R.M. Developing software for time-dependent problems using the method of lines and differential-algebraic integrators // Appl. Numer. Math. 1989. No 5. P. 375–397.
- Гостеев Ю.А., Коробейников Ю.Г., Федоров А.В., Фомин В.М. Экспериментальное определение влагопроводности образцов из сосны в продольном направлении при конвективной сушке // ПИМТФ. 2003. Т. 44, №3. С. 117–123.

INVESTIGATION OF IMPREGNATION AND DRYING OF POROUS MATERIALS

A.A. Zhilin

The experimental and numerical results on the processes of capillary impregnation and drying of porous materials are presented. Two methods of humidification of the media with high developed surface and inner porous structures are considered. Comparison of the methods is performed, and the influence of the impregnation velocity on the silica gel grain geometries is analyzed. The drying of the silica gel is carried out in three modes: microwave, convective and acoustic convective modes. The effect of the mode on the drying velocity and quality of the drying material is demonstrated. A mathematical model based on 2D diffusion law is proposed for description of the experimental data. Numerical distributions of moisture in cylindrical silica gel samples are obtained for different initial moisture values. In this case, empirical diffusion coefficients along with water-yielding capacity dependence on the acoustic-convective frequency are implemented.

Keywords: acoustic convective drying, granular silica gel, moisture extraction, diffusion coefficient, water-yielding capacity.