

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СУШКИ ПОЛИМЕРНОГО ГЕЛЯ, СОДЕРЖАЩЕГО ВОДНЫЙ РАСТВОР НЕОРГАНИЧЕСКОЙ СОЛИ

Д.В. Кириллов, А.Г. Липин, А.С. Кувшинова

ГОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет»

Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гапановой

В некоторых случаях при сушке материалов наблюдается вынос и накопление на поверхности растворимых компонентов.

Представленная здесь математическая модель разработана для исследования сушки геля полиакриламида, содержащего водный раствор неорганической соли. На основании анализа результатов экспериментальных исследований принята следующая физическая картина этого процесса. Полиакриламидный гель представляет собой полимерную матрицу, заполненную раствором неорганической соли. Возникающий при сушке градиент влагосодержания обуславливает перенос влаги к поверхности материала. Вместе с влагой к поверхности переносятся ионы неорганической соли, где происходит их концентрирование и выделение кристаллической фазы при наличии пересыщенного раствора. За счет разности концентраций ионы соли диффундируют с поверхности в объем полимерной матрицы.

При синтезе модели принимались следующие допущения: полимер имеет форму цилиндра; переносом теплоты и вещества вдоль цилиндра можно пренебречь. Математическое описание включает уравнения переноса влаги (1), неорганической соли (2) и теплоты (3) с соответствующими условиями однозначности (4) – (8).

$$\partial U / \partial \tau = D_U (\partial^2 U / \partial r^2 + 1/r \partial U / \partial r), \quad 0 < r < R, \tau > 0; \quad (1)$$

$$\partial C / \partial \tau = D_C (\partial^2 C / \partial r^2 + 1/r \partial C / \partial r) + C/U \partial U / \partial \tau, \quad 0 < r < R, \tau > 0; \quad (2)$$

$$\partial t / \partial \tau = a_t (\partial^2 t / \partial r^2 + 1/r \partial t / \partial r), \quad 0 < r < R, \tau > 0, \quad (3)$$

где U – влагосодержание, кг влаги/кг полимера; τ – время, с; C – концентрация неорганической соли (А), кг А/кг полимера; t – температура, °С; R – полутолщина образца, м; D_U, D_C, a_t – коэффициенты влагопроводности, диффузии компонента А и температуропроводности соответственно, м²/с.

Начальные условия:

$$U(r,0) = U_H; \quad C(r,0) = C_H; \quad t(r,0) = t_H. \quad (4)$$

Условия симметрии:

$$\partial U(0, \tau) / \partial r = 0; \quad \partial C(0, \tau) / \partial r = 0; \quad \partial t(0, \tau) / \partial r = 0. \quad (5)$$

Условия a внешней поверхности:

– поток влаги

$$j_{\text{вл}} = -D_U \rho_0 \partial U(R, \tau) / r = \beta_P (P_{\text{II}} - P_C); \quad (6)$$

– поток соли

$$j_C = \frac{-D_C \rho_0 \partial C(R, \tau)}{\partial r} + j_{\text{вл}} \frac{C(R, \tau)}{U(R, \tau)} k_c = k_{\text{кр}} (Y(R, \tau) - Y_{\text{нас}}(t(R, \tau))) \Phi; \quad (7)$$

– поток теплоты

$$q = -\lambda \partial t(R, \tau) / \partial r = \alpha (t(R, \tau) - t_c) - j_{\text{вл}} r^*. \quad (8)$$

где P_c – парциальное давление водяных паров в окружающей среде, Па; Φ – функция Хэвисайда; β – коэффициент массоотдачи; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $Y_{\text{нас}}(t(R, \tau))$ – концентрация насыщенного раствора, кг А/кг влаги; ρ_0 – плотность полимера, кг/м³; $Y(R, \tau)$ – поверхностная концентрация раствора, кг А/кг влаги; r^* – теплота парообразования, Дж/кг; t_c – температура среды, °С.

На рис. 1 представлены результаты численного эксперимента, из которых видно, что на поверхности материала концентрация неорганической соли в растворе максимальна. В объеме материала наблюдается рост концентрации соли в

растворенном состоянии, но в пересчете на массу полимера видно уменьшение содержания соли, обусловленное снижением содержания раствора в полимере.

Рис. 2 демонстрирует хорошее соответствие кинетических характеристик, рассчитанных по математической модели и полученных из физического эксперимента.

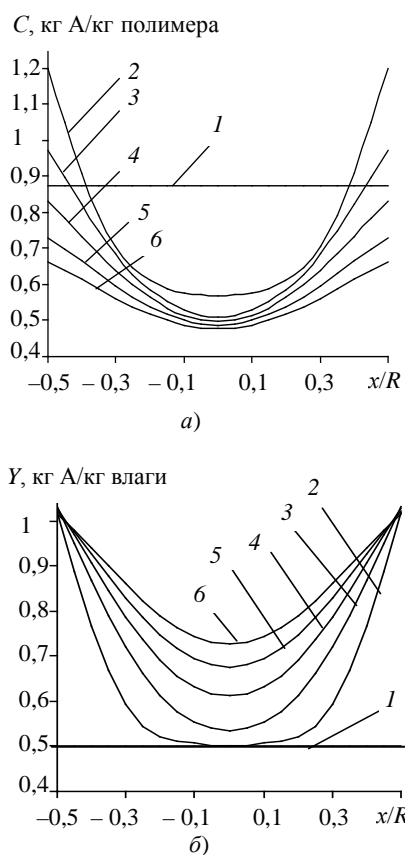


Рис. 1. Эволюция полей концентрации соли в полимерной матрице (а) и в растворе (б):

1 – $\tau_{\text{пр}} = 0$; 2 – $\tau_{\text{пр}} = 0,2$; 3 – $\tau_{\text{пр}} = 0,4$;
 4 – $\tau_{\text{пр}} = 0,6$; 5 – $\tau_{\text{пр}} = 0,8$; 6 – $\tau_{\text{пр}} = 1$;
 $\tau_{\text{пр}}$ – безразмерное время

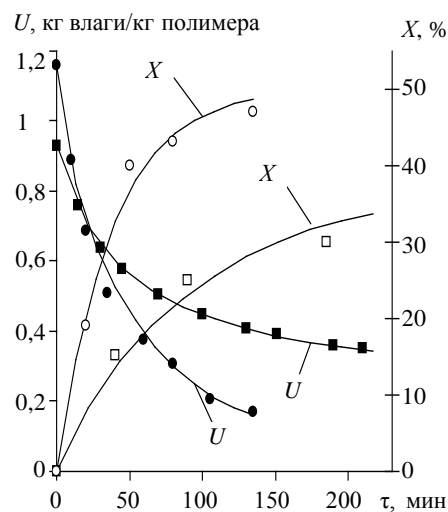


Рис. 2. Изменение влагосодержания и доли X вынесенной на поверхность соли в процессе сушки при различной температуре воздуха в сушильной камере:

●, ○ – 105 °С; ■, □ – 80 °С
 (сплошные линии – расчетные данные, точки – опытные данные)

**Mathematical Model of Drying Process
of Polymer Gel Containing Water
Solution of Nonorganic Salt**

D.V. Kirillov, A.G. Lipin, A.S. Kuvshinova

Ivanovo State Chemical Technological University

**Matematisches Modell des Prozesses des Trocknens
des polymerischen Gels, das die Wasserlösung
des anorganischen Salzes enthält**

**Modèle mathématique du processus du séchage
du gel polymère contenant une solution d'eau
du sel non organique**
