

В работе предлагается модель для расчета распределения объемной плотности  $W$  растворенных сферических частиц и профиля поверхности  $h$  высыхающей на горизонтальной подложке пленки коллоидного раствора, над которой располагается диск, ограничивающий испарение. Модель базируется на приближении The Lubrication approximation уравнения Навье–Стокса [1], законе сохранения растворителя и уравнении конвекции–диффузии:

$$\begin{aligned} v &= \frac{h^2 \sigma}{3 \mu} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial h}{\partial r} \right) \right), \\ \frac{\partial h}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial (rhv)}{\partial r} - \frac{J}{\rho} \sqrt{1 + \left( \frac{\partial h}{\partial r} \right)^2}, \\ \frac{\partial (hW)}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial (rWhv)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial (rhD \frac{\partial W}{\partial r})}{\partial r}. \end{aligned} \quad (1)$$

В тех областях раствора, где объемная доля частиц достигает определенного значения  $W_f$ , появляется твердая фаза, сохраняющая объем и ограничивающая внутренние гидродинамические потоки и поток испарения со свободной поверхности. В жидкой фазе вязкость  $\mu$  раствора зависит от объемной плотности растворенных частиц и описывается формулой Муни [2]:

Плотность потока пара  $J$  с поверхности пленки при наличии над ней диска определяется путем решения уравнения диффузии и уравнения Лапласа для концентрации  $C$  пара в пространстве, окружающем пленку [3]:

$$\begin{aligned} J &= -D_1 \text{grad} C, \\ \Delta C &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения решались численно с помощью программ MAPLE и FLEXpde. Расчет показывает, что высыхание пленки происходит неравномерно. На первом этапе испарения пленка вне диска быстро затвердевает, формируя на подложке слой твердого осадка одинаковой толщины. При этом в области под диском раствор остается жидким, течения выносят твердые частицы к краю области. При дальнейшем испарении формируется профиль пленки под диском, где после полного затвердевания в слое твердого осадка наблюдается

впадина, что согласуется с экспериментом [4]. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (номер проекта 266).

## Список литературы

- [1] FISCHER B. J. Particle convection in an evaporating colloidal droplet // *Langmuir*. — 2002. — Vol. 18, no. 1. — P. 60–67.
- [2] MOONEY M. The viscosity of a concentrated suspension of spherical particles // *Journal of Colloid Science*. — 1951. — Vol. 6, no. 2. — P. 162–170.
- [3] DEEGAN R. D., O. BAKAJIN O., DUPONT T. F. [ET AL.] Contact line deposits in an evaporating drop // *Physical Review E*. — 2000. — Vol. 62, no. 1. — P. 756–765.
- [4] PARNEIX C., VANDOO LAEGHE P., NIKOLAYEV V. S. [ET AL.] Dips and rims in dried colloidal films // *Phys. Rev. Lett.* — 2010. — Vol. 105. — P. 266103.