

ОБОБЩЕННОЕ УРАВНЕНИЕ СКОРОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИРА С ИСПАРЕНИЕМ ФАЗ

Ж.Д. Жайлаубаев

Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт переработки сельскохозяйственной продукции»

В процессе нагрева, кипения, конденсации испарительного вещества большей частью или полностью протекают при нестационарной температуре поверхности.

Испарение с поверхности теплового контакта однокомпонентной жидкости описывается уравнениями теплопроводности и диффузии в фазах

$$\frac{\partial t_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 t_1}{\partial \chi^2}; \quad \frac{\partial t_2}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2}{\partial \chi^2}; \quad \frac{\partial \rho_2}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 P_2}{\partial \chi^2}; \quad (1)$$

Уравнениями теплового баланса и равновесной упругости паров для межфазной поверхности

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial \chi} + K_2 (t_{2.0} - t_{1.0}) = LK_{1.0} (P_p - P_{2p}) \quad (2)$$

$$P_p = \int (t_{1.0}) \quad (3)$$

и начальным распределением температур и концентрации в фазах

$$\tau = 0; \quad t_1 = t_1(\chi); \quad t_2 = t_2(\chi); \quad \rho_2 = \rho_2(\chi); \quad (4)$$

В нестационарном процессе, при вихревом тепловом потоке, начинающемся непосредственно после образования элемента межфазной поверхности, можно выделить две стадии. Первая стадия - это распространение тепловых и концентрационных возмущений от поверхности контакта в глубину фаз. Сначала, при больших значениях градиентов, скорость парообразования определяется сопротивлениями фазового перехода вещества и тепла, которые учитываются кинетическими коэффициентами K_1 и K_2 .

По мере формирования полей температур и концентрации возрастает сопротивление фаз и станет лимитирующим, а температура поверхности

испарения t_0 стремится к значению, определяемому из теплового баланса

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial \chi} + \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial \chi} = LD_2 \frac{\partial \rho_2}{\partial \chi} \quad (5)$$

На основе теории проникания условие (5) может быть выражено уравнениями

$$(t_1 - t_0) \sqrt{\frac{4a_1}{\pi\tau}} + (t_2 - t_0) \sqrt{\frac{4a_2}{\pi\tau}} = L(P_p - P_2) \sqrt{\frac{4D_2}{\pi\tau}} \quad (6)$$

в котором время τ сокращается и не влияет на t_0 .

Продолжительность первой стадии испарения, равная времени контакта элемента поверхности с газовой фазой, определяется размером l и скоростью газовой фазы W_2 .

$$\tau_k = \frac{l}{w_2} \quad (7)$$

Для капель жидкости, образующихся при распылении, τ_k не превышает $10^{-3} - 10^{-4}$ сек и определяющим при нестационарном испарении их является вторая стадия.

Во второй стадии сопротивление, создаваемое газовой фазой процессам обмена, остается постоянным и выражается коэффициентами тепло - и массоотдачи λ_2 и β_2 . Вместе с этим нарушается условие (6), поэтому во второй стадии t_0 может изменяться.

Для математического описания второй стадии испарения шарообразных капель постоянного диаметра

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial t_1}{\partial t} = \lambda_{эфф} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial t_1}{\partial r} \right) \right]$$

$$r = R \quad \lambda_{эфф} \frac{\partial t_1}{\partial \chi} + \alpha_2 (t_2 - t_0) = L\beta_2 (\rho_p - \rho_2),$$

$$r = 0 \quad \frac{\partial t_1}{\partial t} = 0; \quad \tau = 0 \quad t_1 = t_{1,н}$$

$$t_{1,0} = t_{2,0} = t_0; \quad \rho_p = A + Bt_0 \quad (8)$$

нами получено решение вида

$$\theta = \frac{t_1 - t_{1,H}}{t_{1,K} - t_{1,H}} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n} \cdot \frac{R \sin \mu_n \frac{r}{R}}{r \mu_n} \times \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (9)$$

где $Fo = \frac{\lambda_{эфф} \tau}{c_1 \rho_1 R^2}$ - критерий Фурье, $\mu = \sqrt{K}$

$K = \frac{(\alpha_2 + \beta_2 LB)R}{\lambda_{эфф}}$ - комплекс, аналогичный критерию Био для теплообменных процессов.

Температура жидкости во второй стадии приближается к значению температуры адиабатического испарения, достижение которой считается началом стационарного испарения капли.

Нестандартное испарение жидкости при различных условиях было изучено экспериментально. При помощи самопишущего осциллографа регистрировалась температура в центре нагреваемой смеси, подвешенных на крышке варочного котла. Статистическая обработка результатов дала зависимость

$$\frac{\lambda_{эфф}}{\lambda_1} = 1 \text{ при } Re \leq 500$$

$$\frac{\lambda_{эфф}}{\lambda} = 0,743 + 0,00051 Re \text{ при } Re > 500, \text{ где } Re_2 = \frac{d_k \rho_2 w_2}{\mu_2}$$

Температура поверхности определяется из уравнения (8) при $g = R$. Учитывая только первый член суммы, получаем поверхность, не превышающую 1,0 % при $F_0 = 0,18$.

Измерения скорости стационарного испарения неподвижных капель воды в интервале температур камеры $310^\circ < T_1 < 850^\circ C$ и диаметров капель $0,8 < \varphi < 3,2$ мм.

Результаты измерений показали, что зависимость скорости испарения от радиуса капли носит нелинейный характер, причем нелинейность увеличивается с ростом T_1 [10]. Обработка опытных данных была проведена в предположении, что тепло, затрачиваемое на испарение, подводится к поверхности капли только теплопроводностью и излучением и может быть записано в виде:

$$Q_{\text{исп}} = \lambda q = Q_m + Q_n, \quad (10)$$

причем первый член

$$Q_m = 4\pi^2 \lambda_0 \left(\frac{dT}{dp} \right)_{p=r} = \lambda \cdot A(T_1) \cdot r, \quad (11)$$

т.к. решение уравнения теплопроводности приводит к $\frac{dT}{dp} \sim \frac{1}{p}$;
второй член

$$Q_n = 4\pi^2 \cdot \varepsilon_k C \cdot \delta [T_1^4 - T_0^4] \cdot f(R) = \varepsilon_k \cdot \lambda \cdot B(T_1) \cdot r^2 \quad (12)$$

На основании этого скорость испарения была представлена в виде

$$q = A(T_1) \cdot r + \varepsilon_k \cdot B(T_1) \cdot r^2 \quad (13)$$

Было проведено определение $A(T_1)$ и $B(T_1)$ из опытных данных по зависимости $q(r)$ при $T_1 = \text{const}$ (11) и показано, что значение коэффициента $B(T_1)$, вычисленное по //, с учетом падения плотности потока излучения в камере вследствие

увеличения прозрачности кварцевых окон с ростом температуры в пределах ошибок опыта совпадает со значениями $B(T_1)$, определенными из опытных данных (12).

Таким образом, нестационарность температур нужно учитывать при расчете таких процессов, где скорость обновления поверхности контакта соизмерима с периодом нестационарного испарения.

Увеличение эффективной теплопроводности в каплях за счет циркуляционных потоков наблюдалось только при $Re_2 > 500$.

Условные обозначения T - температура; p - парциальное давление паров испаряемого вещества; L - теплота парообразования; g — плотность фазы; c — удельная теплоемкость фазы; ν - коэффициент вязкости; X - коэффициент теплопроводности вещества; α - коэффициент температуропроводности; D - коэффициент молекулярной капли; r - текущий радиус (координаты); R - радиус капли; r_0 - координаты; t - время, d - диаметр капли; AB - постоянные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М: Высшая школа, 1967. - 600 с.
2. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем. - М.: Энергия, 1976.-296 с.
3. Гельперин Н.И. Основы техники псевдооживления. - М.: Химия, 1967. - 664 с.

Түйіндеме

Вихрлі жылу агыны кезінде, тұрақсыз процесте, фаза аралық беттегі элементтер қалыптасқаннан кейін, жылулық қарсылықтарының фазалардың үстіңгі қабатынан тереңіне тарату байланысуын ерекшелуге болады. Бу түзілудің жылдамдық градиенттерінің үлкен мәндері кинетикалық коэффициенттері бойынша есепке алынатын, заттың фазалық және жылулық ауысымының кедергілерімен анықталады. Температураларының тұрақсыздығын байланысуын, жанасу беттерінің жаңару жылдамдығы буланудың тұрақсыз аралығымен мөлшерлес есептеуінде есепке алу керек. Циркуляциялық агындар арқасында тамшылардағы тиімді жылу өткізу қабілеттілік тек қана $Re_2 > 500$ дің шамасында байқалады.

Resume

In a nonstationary process, the vortex heat flow, following the formation of an interface element can be distinguished from the propagation of thermal perturbation of the contact surface to a depth phases. At high level of gradients, the evaporation's rate determined by a resistance of the phase transition of matter and heat, which takes into account the kinetic coefficients. Transient temperature must be considered in the calculation of such processes, where the rate of renewal of the contact surface is commensurate with the period of unsteady evaporation. The increase in the effective thermal conductivity in the droplets by the circulation flow was observed only for $Re_2 > 500$.