

3. Коэффициент теплоотдачи. При определении среднего коэффициента теплоотдачи для вертикальной поверхности некоторой длины $L_0 \leq L_*$ (L_* — координата по длине, в которой наступает полное затопление канавки), очевидно, нет необходимости вести расчет теплосъема по всему периметру, поскольку достаточно ограничиться рассмотрением элементарного участка шириной, равной шагу ребер S .

Первоначально для заданных условий процесса и геометрических размеров поверхности определяются значения коэффициентов H (2.9) и m (2.4) и по фиг. 4, или по уравнению (2.11), находится уровень заполнения впадин z при $L = L_0$. По известной величине заполнения z определяется расход жидкости через канавку в конце участка

$$G = \frac{0,167\xi^4 \cos(g, l) \operatorname{tg}^3 \varphi \rho^2 h^4 (z + m)^4}{(1 + n)^3 \cos^4 \varphi \mu} \quad (3.1)$$

исходя при этом из формулы (2.6), дающей расход конденсата через половинку канавки.

Тепло конденсации пара $Q = Gr$ передается через пленку жидкости стенке согласно усреднению в виде

$$Q = \alpha^* (t_s - t_w) F_s \quad (3.2)$$

Здесь F_s — полная поверхность теплообмена на элементе шириной s . Отсюда определяется искомый коэффициент теплоотдачи

$$\alpha^* = \frac{Gr}{(t_s - t_w) F_s} \quad (3.3)$$

Проведенное аналитическое исследование закономерностей процесса пленочной конденсации пара на вертикальных мелкорребристых поверхностях позволяет производить оценку эффективности этих поверхностей в области, ограниченной требованиями выбранной физической модели явления ($W \geq 10$; $m \leq 0.5$).

Предварительные теплотехнические расчеты некоторых практически легко осуществимых вариантов поверхностей показывают, что по коэффициенту теплоотдачи они в 1.5—2 раза, а по суммарному теплосъему с учетом развития поверхности за счет оребрения в 4—6 раз превосходят гладкие трубы.

Поступила 15 VIII 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Солодов А. П., Исаченко В. П. Исследование теплоотдачи при конденсации пара на мелковолнистых трубах. Тр. Моск. энерг. ин-та, 1965, вып. 63.
2. Gregorig R. Hautkondensation an feigewellten Oberflächen bei Berücksichtigung der Oberflächenspannungen, Z. angew. Math. und Phys., 1954, Bd. 5, H. 1.
3. Nusselt W. Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes. VDI Zeitschrift, 1916, Bd. 60, H. 27, S. 541, H. 28, S. 559.

О СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ПРОТОЧНОГО ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Ю. П. Гупало, Ю. С. Рязанцев

(Москва)

Задача об определении стационарных режимов работы проточного изотермического реактора в одномерном приближении при учете продольной диффузии вещества сводится к двухточечной краевой задаче для уравнения второго порядка [1]:

$$\frac{d^2\xi}{dx^2} - U \frac{d\xi}{dx} + R(\xi) = 0 \quad \left(U = \frac{u}{D}, \quad R(\xi) = \frac{r(\xi)}{D} \right) \quad (1)$$

$$x = 0, \quad d\xi/dx = U\xi; \quad x = l, \quad d\xi/dx = 0$$

Здесь ξ — степень продвижения реакции, которая предполагается одноступенчатой (обратимой или необратимой), u — скорость потока, D — эффективный коэффициент продольной диффузии, $r(\xi)$ — скорость реакции, реактор занимает область $0 \leq x \leq l$. За исключением случаев реакций нулевого и первого порядка уравнение (1) нелинейное и задача (1) не имеет аналитического решения. Известны попытки численного решения этой задачи [2,3], однако единственность решения при этом не гарантируется. Между тем вопрос о единственности здесь не тривиален, о чем свидетельствует, например, предпринятая недавно попытка анализа этого вопроса численными методами для одного частного случая гетерогенно-каталитической реакции, показавшая возможность наличия трех стационарных режимов [4].

Математически задача (1) полностью эквивалентна рассмотренной в работе [5] задаче о существовании и числе стационарных режимов работы проточного адиабатического реактора. В соответствии с результатами работы [5] можно утверждать: 1) если функция $R(\xi)$ положительная монотонно убывающая, то задача (1) всегда имеет единственное решение; 2) если функция $R(\xi)$ положительная немонотонная, задача (1) всегда (кроме некоторых исключительных случаев) имеет нечетное число решений. Во втором случае определение числа решений может быть сведено к решению задачи, которая в некоторых отношениях более удобна для численного интегрирования, чем задача (1).

Рассмотрим некоторые частные случаи.

1°. Гомогенная обратимая химическая реакция. В этом случае функция $r(\xi)$ имеет вид [1]

$$r(\xi) = k \prod_{j=1}^N c_{j0}^{\beta_j} - k' \prod_{j=1}^N c_j^{\gamma_j} \quad (c_j = c_{j0} + \alpha_j \xi) \quad (2)$$

Здесь k и k' — константы скорости прямой и обратной реакции, β_j и γ_j — порядки прямой и обратной реакции, c_j и c_{j0} — концентрация и начальная концентрация, α_j — стехиометрический коэффициент (индекс j соответствует j -му компоненту смеси исходных веществ и продуктов реакции), N — общее число компонентов.

Обычно (за исключением случаев автокатализа) реагенты ($\alpha_j < 0$) ускоряют прямую реакцию ($\beta_j \geq 0$) и замедляют обратную ($\gamma_j \leq 0$), а продукты ($\alpha_j > 0$) замедляют прямую реакцию ($\beta_j \leq 0$) и ускоряют обратную ($\gamma_j \geq 0$), причем не все β_j и γ_j равны нулю. Поэтому из (2) следует, что функция $r(\xi)$ монотонно убывающая, и задача (1) имеет единственное решение. Отсюда следует, в частности, что стационарные режимы, рассчитанные численными методами для реакций различных порядков в работе [2], единственны. Очевидно, что вывод о единственности решения сохраняет силу при $k' = 0$ (необратимая реакция).

2°. При автокаталитической реакции скорость реакции возрастает при малых степенях продвижения реакции ξ и убывает при больших ξ [1]. Следовательно, функция $R(\xi)$ в этом случае немонотонная, и задача (1) может иметь несколько решений.

3°. При гетерогенно-каталитической реакции эффективная скорость реакции может зависеть от скорости диффузии и адсорбции реагентов, десорбции продуктов реакции и т. д. Поэтому зависимость скорости реакции от ξ может иметь сложный характер и быть немонотонной. Например, в ряде случаев скорость гетерогенно-каталитической реакции можно представить в виде

$$r(\xi) = k \frac{(\xi_m - \xi)^{n_1}}{[1 + \lambda (\xi_m - \xi)]^{n_2}} \quad (3)$$

где k , ξ_m , λ , n_1 и n_2 — положительные константы. В этом случае при $n_2 > n_1$ $[1 + (\lambda \xi)^{-1}]$ функция $r(\xi)$ немонотонная, и задача (1) может иметь несколько решений. Последнее имеет место, например, в случае рассмотренной в работе [4] реакции гидрогенизации этилена.

Поступила 10 XII 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Aris R. Introduction to the analysis of chemical reactors. New Jersey, Prentice — Hall, 1965.
2. Fan L. T., Baillie R. C. Axial diffusion in isothermal tubular flow reactors. Chem. Engng. Sci., 1960, vol. 13, No. 1.
3. Hofmann H., Astheimer H. J. Der einfluss der Vermischung bei heterogenen Reactionen in kontinuierlich — betriebenen isotherm arbeitenden Rohrreactoren. Chem. Engng. Sci., 1963, vol. 18, No. 10.
4. Matsura T., Kato M. Concentration stability of the isothermal reactor. Chem. Engng. Sci., 1967, vol. 22, No. 2.
5. Гуляло Ю. П., Рязанцев Ю. С. О стационарных режимах работы проточного адиабатического химического реактора. ПМТФ, 1967, № 5.