

Тогда отображение p непрерывно и сюръективно, кроме того, диаграмма

$$\begin{array}{ccc} X_1 \times X_2 & \xrightarrow{g} & Y(X_1 \times X_2) \\ f_1 \times f_2 \downarrow & & \downarrow p \\ Y(X_1) \times Y(X_2) & & \end{array}$$

коммутативна. Следовательно, $Y(X_1) \times Y(X_2) \leq Y(X_1 \times X_2)$. Этим доказано второе заключение теоремы.

Определим теперь отображение $\pi : Y(X_1 \times X_2) \rightarrow Y(X_1 \times X_2)$ по правилу $\pi(z) = (p_1(z), p_2(z))$. Отображение π непрерывно. Так как отображения p_1 и p_2 сюръективны, то по построению множества $Y(X_1 \times X_2)$, имеем $\pi(Y(X_1 \times X_2)) = Y(X_1 \times X_2)$, т. е. π – сюръекция. В силу диаграмм (1.3.1), для точек $(x_1, x_2) \in X_1 \times X_2$ имеем

$$p_1 \circ g(x_1, x_2) = (x_1, f_2(x_2)), \quad p_2 \circ g(x_1, x_2) = (f_1(x_1), x_2).$$

Поэтому $\pi(g(x_1, x_2)) = (p_1(g(x_1, x_2)), p_2(g(x_1, x_2))) = (x_1, f_2(x_2), f_1(x_1), x_2)$.

Следовательно, $f_{12} = \pi \circ g$, т. е. коммутативна диаграмма

$$\begin{array}{ccc} X_1 \times X_2 & \xrightarrow{g} & Y(X_1 \times X_2) \\ f_{12} \downarrow & & \downarrow \pi \\ Y(X_1 \times X_2) & & \end{array}.$$

Таким образом, $Y(X_1 \times X_2) \geq Y(X_1 \times X_2)$. Теорема 1 доказана полностью.

Литература:

1. В.К.Бельнов. Структура множества метрических расширений некомпактного метризуемого пространства. //Труды Московского Математического общества. 1975, том 32, стр 3-33.
2. В.К.Бельнов. Некоторые теоремы о метрических расширениях. // Труды Московского Математического общества. 1974, том 29, стр. 115-137.

УДК: 532.72

ВЛИЯНИЕ РЕЦИКЛА НА СТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ РЕДАКТОРА

Канд.физ.-м. наук, доцент АБДУРАХИМОВ А.А. (ТАСИ)

Рассматривается модель реактора с неоднородным псевдооживленным слоем при наличии рецикла. В рамках модели взаимопроникающих двухскоростных континуумов, решена задача о влиянии гидродинамических параметров на стационарные режимы работы неизотермического реактора с неоднородным кипящим слоем, для одностадийной реакции при наличии рециркуляции и без нее. Найдено аналитическое выражение стационарных распределений температуры и степени превращения в плотной и разбавленной фазах, исследовано влияние параметра рецикла и других гидродинамических параметров на степень превращения реагентов и температуры фаз.

Мақолада ўзаро аралашувчи икки фазали модел асосида гидродинамик параметрлар ва ресикларни изотермик бўлмаган реакторнинг статционар иш режасига таъсири тўғрисидаги масала ечилган. Ечимда ресикл ва бошқа гидродинамик параметрларни қуюқ ва аралашган фазалар билан боғловчи ифода топилган. Гидродинамик параметрларнинг сонли кўрсаткичлари орқали боғланишлар ўрганилган.

Based on the interconnected two-phase model the issue of the hydrodynamic parameters and the effect of the residues on the non-issometric reactor's sttionary action plan was solved. In the solution the expression of the residual and other hydrodynamic parameters with the dark and mixed phases was determinated.

Ключевые слова: *адиабатический реактор, бифуркация, гетерогенный, гомогенный, диффузионный перенос, одностадийный, псевдооживленный, катализатор, разбавленная фаза, рецикл, рециркуляция, селективный, степени превращения.*

Технология рециркуляции. Многие процессы органической и неорганической химии осуществляются при неполном превращении исходного сырья, т.е. в конечный продукт реакции превращаются только часть его, остальная остается неизменной. Для того чтобы достичь максимального выхода продукта, часто применяют технологию рециркуляции.

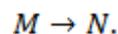
Рециркуляция непрореагировавшего сырья подача части продукта из выхода обратно во вход применяются, как в одностадийных, так и в многостадийных процессах для многократной повторной переработки сырья, вплоть до полного его использования. Кроме того, как в гомогенных, так и в гетерогенных системах она может регулировать скорость химического превращения, направлять реакцию в желаемую сторону и повышать селективность процесса. Иначе говоря, рециркуляция вводит в химическую технологию новые принципы, способные создать серьезный качественный сдвиг при построении совершенных промышленных процессов.

Ниже на основе двухфазной модели решается задача, в которой определяется влияние некоторых гидродинамических параметров на степень продвижения реакции реагента и на температуру каждой фазы. Анализируемая модель химического реактора применима в случаях, когда диффузионным переносом вещества в реакторе можно пренебречь по сравнению с конвективным переносом в плотной фазе, в то время как теплопроводность настолько велика, что

температуру во всех внутренних точках реактора можно считать одинаковой [6].

В условиях псевдооживления температура внутри реактора может быть одинакова [3] в следствие интенсивного переноса тепла частицами катализатора, совершающими быстрое движение как в продольном, так и в поперечном направлении. Процесс переноса реагентов и продуктов реакции во взвешенном слое в общем случае может быть описан уравнением конвективной диффузии и часто близко соответствует режиму идеального вытеснения [5].

Постановка задачи. Пусть в проточном химическом реакторе с неоднородным кипящим слоем происходит одностадийная химическая реакция, т.е.



Предложим, что перенос вещества в плотной и разбавленной фазах, а также тепловая энергия в разбавленной фазе описываются моделью полного вытеснения, а тепловая энергия плотной фазы моделью полного перемешивания.

В реакторе происходит химическая реакция первого порядка, сопровождаемая выделением (поглощением) тепла по закону Аррениуса. Кроме того, осуществляется рецикл, т.е. часть потока, выходящего из реактора, возвращается на его вход [5]. С учетом этих предположений уравнения изменения массы и поля температуры в безразмерном виде для адиабатического реактора можно записать так [7] для плотной фазы:

$$\frac{\partial z_1}{\partial t} + U_1 \frac{\partial z_1}{\partial x} = (1 - z_1)g \exp\left(-\frac{\beta}{T_1}\right) - A(Z_1 - Z_2), \quad (1)$$

$$\frac{dT_1}{dx} = U_1 \omega (U_2 x \gamma T_2 (1) + (1 - \gamma) T_j - (1 - U_1 \gamma (1 - x)) T_1) + \omega g \exp\left(-\frac{\beta}{T_1}\right) \cdot \int_0^1 (1 - Z_1) dx - B(T_1 - \int_0^1 T_2 dx); \quad (2)$$

для разбавленной фазы:

$$\frac{\partial z_2}{\partial t} + U_2 \frac{\partial z_2}{\partial x} = A(z_1 - z_2), \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial x} + U_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = B(T_1 - T_2). \quad (4)$$

Систему уравнения (1) -(4) решаем со следующими начальными и граничными условиями:

при $t=0$

$$Z_1(x, 0) = Z_{10}(x), \quad z_2(x, 0) = z_{20}(x), \quad T_1(0) = T_{10}, \quad T_2(x, 0) = T_{20}(x),$$

при $x=0$

$$Z_1(0, t) = Z_2(0, t) = \gamma(Z_1(1, t)U_1(1-x) + Z_2(1, t)U_2x),$$

$$T_2(0, t) = \gamma(T_1(t) \cdot U_1(1-x) + T_2(1, t)U_2x) + (1-\gamma)T_i;$$

$$\text{Здесь: } A = \frac{A_*L}{(c_i U)B} \quad B = \frac{B_*L}{\rho_* c_* U}; \quad T_n = \frac{c_g \rho_g T_{n*}}{h c_i} \quad (n = 1, n)$$

$$U_n = \frac{U_n}{V} \quad x = \frac{X}{L}; \quad z_n = \frac{c_i - c_n}{c_i};$$

$$t = \frac{V t_*}{L}; \quad g = \frac{K_0 L}{V}; \quad \omega = \frac{E \rho_g C_g}{\rho_* C_*};$$

$$\rho_* C_* = E \rho_g C_g + (1-E)\rho_s C_s; \quad \beta = \frac{c_g \rho_g E}{R h c_i}.$$

Здесь используются обозначения принятые в работе [1].

Решение задачи. Рассмотрим стационарный случай процесса и достаточно важный для практики случай слабого массообмена между пузырями и плотной фазой, что

соответствует малым значением параметра межфазного массообмена $A \ll 1$ (величину параметра межфазного теплообмена B оставим произвольной)[1], тогда решение задачи имеет вид:

$$Z_1^0(x) = 1 + \alpha_1 \left(1 - \frac{Ax}{U_1}\right) \exp\left(-\frac{bx}{U_1}\right), \quad (5)$$

$$Z_1^0(x) = 1 + \alpha_1 - A\alpha_1 U_1 \left(1 - \frac{bx}{U_1} - \exp\left(-\frac{bx}{U_1}\right)\right) / (bU_2), \quad (6)$$

$$T_1^0 = T_i - (\alpha_1 \omega \left(1 - yU_2 \exp\left(-\frac{B}{U_2}\right)\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{B}{U_1}\right)\right) + \frac{A \left(1 + \frac{U_1}{B}\right) \exp\left(-\frac{b}{U_1}\right) - \frac{U_1}{b}}{(\omega U_1 (1 - yU_2 \exp\left(-\frac{B}{U_2}\right)))} - U_2(1-y) \left(\exp\left(-\frac{B}{U_2}\right) - 1\right)), \quad (7)$$

$$T_2^0(x) = T_1^0 + \frac{(T_i - T_1^0)(1-y) \exp\left(-\frac{Bx}{U_2}\right)}{(1-y \exp\left(-\frac{B}{U_2}\right))}. \quad (8)$$

С учетом выражений (5) -(6) изучим изменение выхода продукта

$$Z^0(1) = U_1(1-y)z_{1+U_1}^0 + yz_2^0(1) \quad (9)$$

в реакторе при разных значениях коэффициента массообмена A , параметра рецикла и других гидродинамических параметров системы.

Вычисление по формуле (9) при численных значениях показало, что с увеличением коэффициента массообмена и парамет-

ра рециркуляции, выход продукта монотонно возрастает (рис.1). Массообмен между плотной (эмульсионной) и разбавленной (пузырьковой) фазами играет важную роль в процессах переноса в псевдооживленном слое и часто становится лимитирующей стадией [4].

Как показано на (рис.2,) увеличение температуры плотной фазы положительно влияет на степень продвижения обеих фаз, т.е. с увеличением температуры в плотной фазе ускоряется степень продвижения реакции обеих фаз. Количество стационарных

$$B = 0.01; T_i = 1.65; y = 0.01; U_2 = 1,45; \beta = 50; \omega = 0.9; \varepsilon = 0.1.$$

На рис.3 построена диаграмма бифуркации, соответствующей тепловыделению в плотной фазе. Кривая тепловыделения имеет три точки пересечения $-N$, N , $+N_c$ прямой, параллельной оси температур. Они соответствуют нижнему, среднему, верхнему температурным стационарным режимам с температурами T_{11}^0 , T_{12}^0 и T_{13}^0 . Как следует из (рис.3), при изменении параметра рецикла количество стационарных состояний режима работы реактора может изменяться от одного до трех.

Рассмотрим влияние других гидродинамических параметров на стационарный режим работы реактора. Расчеты по формуле (7) при указанных выше значениях параметров показали, что:

- 1) С увеличением значения парамет-

режимов работы реактора определяется числом решений уравнения (7) относительно T_1^0 с учетом зависимое $\beta(T_1^0)$ [2].

Расчеты проводили при следующих значениях параметров:

$$A=0.01;$$

ра рецикла приводит к сближению нижнего и среднего режимов (рис.4) [4].

Таким образом, повышение скорости потока в реакторе приводит к сближению верхнего и среднего режимов (рис.5), а увеличение доли пузырей в реакторе - к сближению нижнего и среднего режимов (рис.6) работы реактора с неоднородным псевдооживленным слоем при наличии рецикла.

Изложенный выше анализ свидетельствует о разнообразии влияния гидродинамических параметров на режим работы реактора, причем, подбирая значения гидродинамических параметров в допустимом диапазоне, можно регулировать режим работы реактора с неоднородным кипящим слоем для достижения оптимальных условий осуществления технологического процесса.

Литература:

1. Абдурахимов А.А. Работа реактора с псевдооживленным слоем // Труды VII международной конференции по математическому моделированию. Якутск - 2014 С. 114-116.
2. Абдурахимов А.А., Мирзаев С.Т., Джуманиязов К.А., Умаров С.М. Химический реактор с неоднородным кипящим слоем / Тез. докл. VI Всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике. – Ташкент, 1986. - С.7.
3. Аэроз М.Э., Тодес О.М. Гидравлика и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. – Л.: Химия, 1968. - 281 с.
4. Бородуля В.А., Дикаленко В.И., Завьялов В.В., Ковенский В.Й. Массообмен между разбавленной и плотной фазами в псевдооживленном слое // ТОХТ, 1981. Т.15, № 6. - С.346-350.
5. Девидсон И.З., Харрисон Д. Псевдооживление твердых частиц. - М.: Химия, 1965. - 202 с.
6. Гупало Ю.П. Исследования по механике и тепломассообмену дисперсных систем. Докт. дисс. - М., 1974. -312 с.
7. Гупало Ю.П., Абдурахимов А.А., Джуманиязов К.А. Об одной модели химического реактора с неоднородным псевдооживленным слоем // ТОХТ, 1989. Т. XXII, J*6. - С.772.

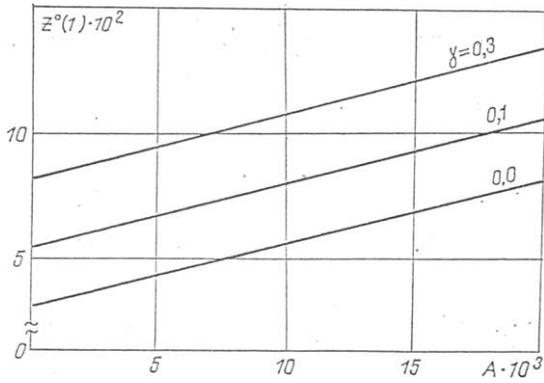


Рис.1. Зависимость выхода продукта от коэффициента массообмена при разных значениях коэффициента рецикла.

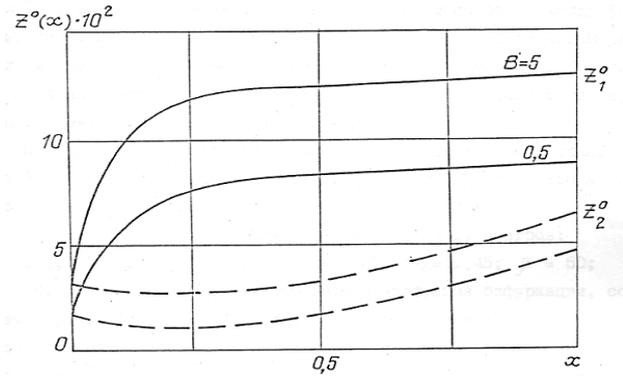


Рис.2. Влияние энергии активации на степень продвижения реакции в плотной и разбавленной фазе.

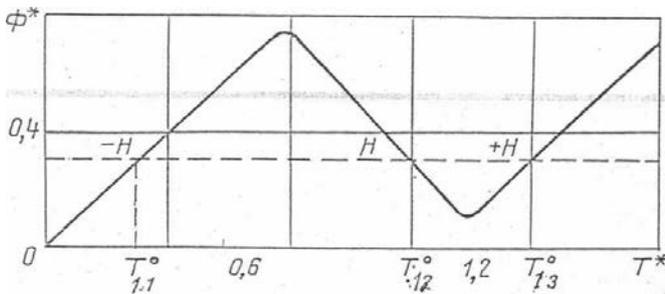


Рис.3. Диаграмма бифуркации, соответствующей тепловыделению в плотной фазе: — Н, Н, +Н - нижний, средний, верхний стационарные режимы.

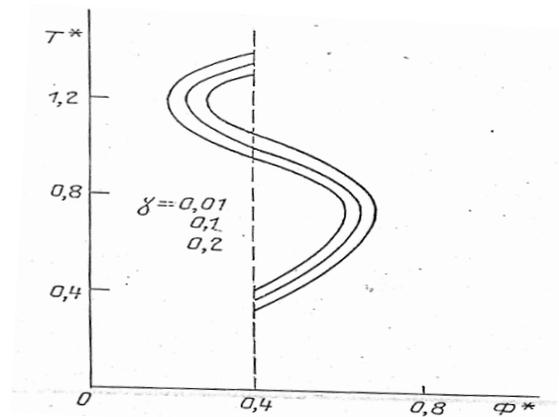


Рис.4. Влияние параметра рецикла (γ) на стационарные значения температуры плотной фазы.

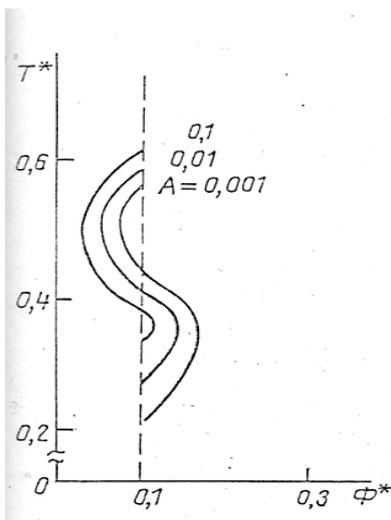


Рис.5. Влияние скорости разбавленной фазы (U_2) на значение стационарной температуры плотной фазы.

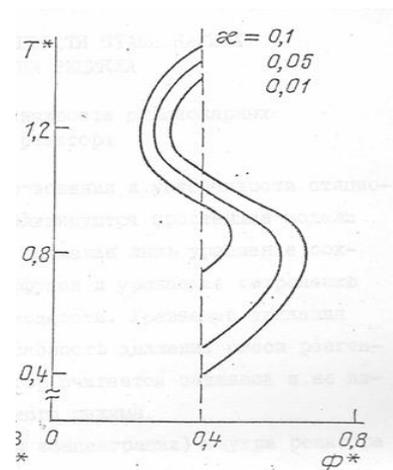


Рис.6. Влияние доли разбавленной фазы (ϵ) на стационарное значение температуры плотной фазы.