

УДК 541.183

**ТЕОРИЯ ДИНАМИКИ СОРБЦИИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТАНТАХ МЕЖФАЗНОГО
ДИФФУЗИОННОГО МАССООБМЕНА**

А. С. КАМЕНЕВ, В. В. РАЧИНСКИЙ, В. Н. МОШАРОВ, Ю. А. ГРОМОВ

(Кафедра применения изотопов и радиации в сельском хозяйстве)

Установлены закономерности динамики сорбции бинарных смесей при различных константах межфазного диффузионного массообмена. Даны межкомпонентные соотношения для концентраций веществ и уравнения профиля стационарного фронта в смешанной зоне.

Показаны ограничения для использования кинетического уравнения внутридиффузионного типа Глюкауфа.

В работе [2] рассматривалась фронтальная равновесная динамика сорбции бинарных систем с учетом продольных факторов размытия стационарных фронтов при различных значениях коэффициентов осевой квазидиффузии для каждого из компонентов смеси. В настоя-

шем сообщении дается анализ неравновесной динамики сорбции двух веществ для внутри- и внешнедиффузионной кинетики при том условии, что продольный массоперенос не является лимитирующим фактором. Это позволяет на основании общей теории динамики сорбции [5] записать межфазное соотношение концентраций бинарной системы в зоне фронта в линейной форме (соотношение Зельдовича)

$$N_2 = n_2 h_2^{-1}; N_1 = (n_1 - n_1^* + h_2 N_1^*) h_2^{-1} = (n_1 - n_{0,1} + h_2 N_{0,1}) h_2^{-1}, \quad (1)$$

где n_i и N_i — линейные концентрации веществ соответственно в жидкой и твердой фазах.

$$i = 1; 2; h_2 = n_{0,2} N_{0,2}^{-1} = (n_{0,1} - n_1^*) (N_{0,1} - N_1^*)^{-1} —$$

распределительное отношение; $n_{0,i}$ и $N_{0,i}$ — концентрации на границе входа в колонку; n_1^* и N_1^* — концентрации в соответствующих фазах первого, менее сорбируемого вещества (скачок концентрации), при полном поглощении второго ($n_2 = N_2 = 0$) [3, 6].

В качестве уравнения статики запишем двухкомпонентную изотерму Ленгмюровского типа с одинаковой максимальной емкостью твердой фазы для каждого компонента

$$N_i = \frac{N_\infty b_i n_i}{1 + b_1 n_1 + b_2 n_2}; n_i = \frac{N_i}{b_i (N_\infty - N_1 - N_2)}, \quad (2)$$

где b_i — коэффициенты удержания (сродства) рассматриваемых веществ по отношению к сорбенту, причем $b_2 > b_1$ как указывалось выше.

Уравнения кинетики запишем в виде известных модельных уравнений движущей силы диффузии Нернста (a) для внешней (пленочной) диффузии и Глюкауфа (b) для внутренней (гелевой) [8]:

$$a) \frac{dN_i}{dt} = \beta_{f,i} (n_i - n_{p,i}); b) \frac{dN_i}{dt} = \beta_{g,i} (N_{p,i} - N_i), \quad (3)$$

где $\beta_{f,i}$ и $\beta_{g,i}$ — коэффициенты соответственно внешнего и внутреннего массообмена феноменологического характера; $n_{p,i}$ и $N_{p,i}$ — равновесные концентрации, определяемые изотермами (2). Заметим, что уравнение (3,а) позволяет получить результаты, хорошо согласующиеся с экспериментом, при этом параметр $\beta_{f,i}$ практически не зависит от концентрации и может считаться истинной константой, тогда как уравнение (3,б) является весьма приближенным, а параметр $\beta_{g,i}$ зависит от концентрации и считается константой в первом приближении, в частности для изотерм относительно слабой выпуклости [4]. Известны различные модификации модельного уравнения (3,б), более адекватно описывающие процесс кинетики сорбции, лимитируемой внутренней диффузией [8].

После перехода к координатам $z_2 = x - v_2 t$, движущимся со скоростью $v_2 = u h_2 (1 + h_2)^{-1}$ фронта второго вещества, подстановки выражений (1) и (2) в кинетическое уравнение (3,а) и исключения координаты dz_2 получаем дифференциальное соотношение

$$\frac{dn_1}{dn_2} = \xi_f \frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{n_1 [b_1 (A - n_1 - n_2) - 1] + B}{n_2 [b_2 (A - n_1 - n_2) - 1]}, \quad (4)$$

где $\xi_f = \beta_{1,f} / \beta_{2,f}$ — безразмерный внешнедиффузионный кинетический параметр;

$$A = n_1^* + h_2 (N_\infty - N_1^*), B = n_1^* - h_2 N_1^*.$$

При $\xi_f = 1$ оно удовлетворяет линейному соотношению концентраций между компонентами [3]

$$n_1 = n_1^* + (n_{0,1} - n_1^*) n_{0,2}^{-1} n_2; N_1 = N_1^* + (N_{0,1} - N_1^*) N_{0,2}^{-1} N_2. \quad (5)$$

Аналогично этому для внутридиффузионной задачи имеем

$$\frac{dn_1}{dn_2} = \xi_g \frac{n_1 (1 + b_1 n_1 + b_2 n_2 - A b_1) - B (1 + b_2 n_2)}{n_2 (1 + b_1 n_1 + b_2 n_2 - b_2 h_2 N_\infty)}, \quad (6)$$

где $\xi_g = \beta_{1,g} g / \beta_{2,g}$ — безразмерный внутридиффузионный кинетический параметр, в первом приближении не зависящий от концентрации, причем при $|\xi|=1$ справедливо решение (5).

О. М. Тодес отмечает [7], что было бы весьма интересно решить задачи, выражаемые уравнениями (4) и (6) для произвольных значений b_i и ξ_i широком интервале их изменения, и что это до сих пор в общем случае не сделано, даже для двухкомпонентной системы. Данные уравнения не имеют точного решения в квадратурах из-за неразделимости переменных, а попытки численного решения на ЭВМ позволили выявить весьма высокую их критичность, особенно для сильно выпуклых изотерм ($b_i \gg 1$) и далеких от единицы значений ξ_i . Метод численного счета Адамса — Крылова ГП1 в связи с неоправданно большими затратами времени для получения приемлемой точности ($\approx 0,5\%$ в конечной точке интервала $U \div n_{0,2}$) использовался нами лишь в некоторых случаях как дополнительный контроль точности приближенного аналитического решения, получаемого методом аппроксимирующих функций (МАФ). Заметим также, что задача равновесной фронтальной хроматографии бинарных смесей с учетом продольных эффектов [2] в математическом отношении тождественна внутридиффузионной — уравнение (6) с безразмерным динамическим параметром $\varepsilon^* = D_2^* / D_1^*$. Различие состоит в том, что в отличие от (1) межфазное соотношение концентраций описывается уравнением изотермы (2).

Перейдем в уравнениях (4) и (6) от переменных n_2, n_1 к N_2, N_u согласно межфазным соотношениям (1) и (2), тогда имеем

$$\frac{dN_1}{dN_2} = \xi_f \frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{(h_2 N_1 + B)(M b_1 h_2 - 1) + B}{h_2 N_2 (M b_2 h_2 - 1)} \quad (7)$$

для внешнедиффузионной кинетики,

$$\frac{dN_1}{dN_2} = \xi_g \frac{(h_2 N_1 + B) R - B(1 + b_2 h_2 N_2)}{h_2 N_2 (R + A b_1 - b_2 h_2 N_\infty)} \quad (8)$$

— для внутридиффузионной,

$$\frac{dN_1}{dN_2} = \frac{\xi^* [N_1 (M + N_2) (1 - h_2 b_1 M) - B b_1 M (M + N_2)] - N_1 N_2 (1 - h_2 b_2 M)}{N_2 \{ \xi^* [B b_2 M - N_1 (1 - h_2 b_1 M)] + (M + N_1) (1 - h_2 b_2 M) \}} \quad (9)$$

— для равновесной динамики с учетом продольных эффектов. Здесь

$$M = N_\infty - N_1 - N_2, \quad R = 1 + h_2 (b_1 N_1 + b_2 N_2) - b_1 h_2 N_\infty,$$

А и В см (4). Искомое решение $N_1 = \psi(N_2)$ согласно МАФ представим в виде малопараметрической функции дробно-рационального типа

$$N_1 = \psi(N_2) = (k_1 N_2^2 + k_2 N_2 + k_3) (1 + k_4 N_2)^{-1}, \quad (10)$$

где константы k_i находятся по формулам

$$k_4 = \frac{2(N_{0,1} - N^*) - N_{0,2}(N'_{0,1} + N'_*)}{N_{0,2}(N_{0,2} N'_{0,1} - N_{0,1} + N^*)}, \quad k_3 = N^*, \quad (11)$$

$$k_1 = \frac{(1 + k_4 N_{0,2})(N_{0,1} - N^*) - N_{0,2} N'_*}{N_{0,2}^2},$$

$$k_2 = N'_* + k_4 N^*.$$

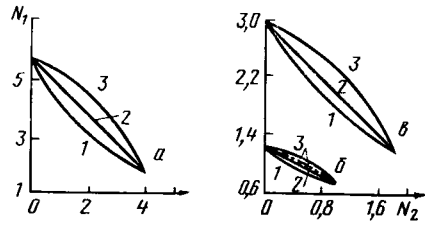
Краевые значения производных N'_0 и N' для внутри- и внешнедиффузионной задач в силу линейного соотношения (1) равны соответственно n' , и n' [3], эти выражения здесь не приводятся. В случае равновесной задачи с учетом продольного массопереноса значения $N'_{0,1}$ и N' совпадают с производными, соответствующими внешнедиффузионной задаче, хотя значения $n'_{0,1}$ и n'_0 такие же, как для внутридиффузионной, что объясняется нелинейностью межфазного соотношения концентраций (2), т. е. изотермы. Использование выражения (10) для аппроксимации точного решения уравнений

(7), (8), (9) принципиально упрощает задачу, сводя решение дифференциальных уравнений с неразделяющимися переменными к ряду алгебраических операций, обеспечивая при этом достаточно высокую точность по аргументу N_1 .

Результаты расчетов $N_1 - \psi(N_2)$ (10) для некоторых групп параметров уравнений (7), (8), (9) представлены на рис. 1. Очевидно, как

Рис. 1. Межкомпонентные соотношения концентрации (усл. ед.) в твердой фазе для различных постановок задачи.

$a - n_{0,1}=8, n_{0,2}=4, N_\infty=6, b_1=2, b_2=8,5;$
 $b - n_{0,1}=0,8, n_{0,2}=0,4, N_\infty=3, b_1=0,7, b_2=$
 $=2,1; c - n_{0,1}=0,8, n_{0,2}=0,4, N_\infty=3, b_1=$
 $=70, b_2=210. 1, 2 и 3 - значения ξ равны$
 соответственно 3, 1 и 1/3 для внутридиффузионной задачи. Для внешнедиффузионной и равновесной задач с учетом продольных эффектов все варианты практически совпадают с вариантом 2 (b при $\xi=*$ — 1/3 — пунктир).



в зоне насыщения, так и в области фронта должно выполняться условие

$$N_2 = N_1 + N_2 \leq N_\infty, \quad (12)$$

однако оно не всегда выполняется. Для внутридиффузионной кинетики (8) при и весьма выпуклых изотермах (большие значения b_i) или при значительных входных концентрациях ($n_{0,i} \sim N_\infty$) условие (12) может нарушаться, что противоречит физическому смыслу, хотя формально и удовлетворяет исходным уравнениям с хорошей точностью; результаты численного решения также подтверждают это.

Таким образом, возникает вопрос о введении некоторых, дополнительных к рассмотренным [6], ограничений и условий по отношению к параметрам изотермы и начальным концентрациям, с одной стороны, и значениям кинетических констант, с другой. Ввиду большого количества исходных параметров невозможно получить удобного алгебраического соотношения между ними, но можно ввести общий критерий, невыполнение которого делает данную задачу бессмысленной, несмотря на формальную корректность. В качестве такового можно предложить уравнение

$$N_{1,m} + N_{2,m} \leq N_\infty, \quad (13)$$

$N_{2,m}$ — значение концентрации в зоне фронта, получаемое из соотношения (10) при подстановке в него $N_{2,m}$, которое определяется при нахождении экстремума выражения (12)

$$N_{2,m} = \left[-1 \pm \sqrt{1 - k_4 (1 + N_1^*) (k_4 + k_1)^{-1}} \right] k_4^{-1}. \quad (14)$$

N_{2im} должно быть проверено на максимум, поскольку при минимуме в точке ($N_{2i,m} > N_{pm}$) условие (12) выполняется во всей области изменения концентраций. Здесь $N_1^* = dN_1/dN_2$ при $N_2=0, N_1 = N_1^*$ определяется путем предельного перехода в уравнении (8) [2, 3].

Если условие (13) при подстановке значения $N_{2i,m}$ выполняется, то, очевидно, что оно выполняется и во всем интервале рассматриваемых концентраций (12), следовательно, задача корректна во всех отношениях. Выражения (13) и (14) содержат ограничения, накладываемые на параметры $n_{0,i}, b_i, \xi_i$ или на их комбинации.

Как следует из изложенного, именно линейное внутридиффузионное уравнение кинетики Глюкауфа первого рода (3,б) неадекватно двухкомпонентной модели, что ограничивает его использование при решении задач хроматографии смесей, однако это не проявлялось в однокомпонентной динамике сорбции и не вызывало возражений. Возможно, что введение соответствующей функции заполнения твердой фазы (переход к нелинейному уравнению) позволит соблюсти условие

(12) и приведет к снятию ограничений типа (13) во всей области существования статических и кинетических параметров и при любых концентрациях компонентов. Во всяком случае, использование уравнения Глюкауфа второго рода $dN/dt = \beta_g(N_p - N) + kdN_p/dt$ и уравнения Вермюлена $dN^2/dt = \beta_g(N_p^2 - N^2)$, взятых нами из [8], не привело к снятию ограничений (13) и, следовательно, последние в целом также нельзя считать адекватными двухкомпонентной задаче динамической сорбции при внутридиффузионной кинетике. Попытка использовать уравнения внутридиффузионного типа в матричной форме [11]

$$dN_i/dt = \beta_{i,i}(N_{p,i} - N_i) + \beta_{i,j}(N_{p,j} - N_j); \quad i = 1, j = 2$$

также в общем случае не разрешила возникшей проблемы. Очевидно, здесь требуются дальнейшие поиски.

Необходимо отметить, что при феноменологическом моделировании динамической сорбции к уравнению баланса массы вещества, переносимого через сечение колонки, которое выводится из строгих гидродинамических условий [5], несколько искусственно добавляется уравнение кинетики того или иного типа, которое более или менее адекватно описывает процесс массообмена между твердой и жидкой фазами, но при этом может не соответствовать уравнению динамики по своему математическому виду, что проявляется в многокомпонентном случае для внутридиффузионной задачи.

Анализ графического материала (рис. 1) показывает, что зависимость $N_1 = \psi(N_2, \xi^*, b_i)$ в случае равновесной динамики сорбции с учетом продольных эффектов, описываемой через переменные N_1, N_2 (твердая фаза), практически при любых $\xi^*, b_i, n_{0,1}$ является линейной, т. е. представляет собой с высокой точностью известное соотношение Янковского [5].

$$N_1 = N_1^* - (N_1^* - N_{0,1}) N_{0,2}^{-1} N_2 = N_1^* - \alpha N_2, \quad (15)$$

хотя межкомпонентное соотношение концентрации в жидкой фазе $n_i = \psi(n_2, \xi, b_i)$ может быть существенно нелинейным, особенно для больших n_{0i} и b_i и малых ξ (рис. 2). Таким образом, переход к переменным iV^* не только линеаризует решение уравнения $dN_i/dN_2 = \psi'(N_1, N_2, b_i, \xi^*)$ но и, как следствие, значительно повышает точность аппроксимации, при этом различие между истинным и приближенным решением по интегральным кривым составляет несколько десятых долей процента.

Линейное упрощение (15) несколько ухудшает аппроксимацию (до $\sim 1-5\%$) по интегральным кривым и в основном при малых значениях b_i . Межкомпонентные соотношения концентраций при внешнедиффузионной кинетике (7) в обеих фазах имеют тенденцию к линеаризации при увеличении b_i (рис. 1 и 2), что приводит к автоматическому выполнению условия (12) и улучшает качество аппроксимации формулами (10), (11) от 3—5 % при слабовыпуклых до 1 % и менее для сильновыпуклых изотерм (2), независимо от прочих параметров.

Что же касается внутридиффузионной кинетики (8), то математическая форма уравнения (3, б) обуславливает существенную нелинейность как $n_1 = \psi(n_2, \xi_g, b_1)$, так и $N_1 = \Psi(N_2, \xi_g, b_i)$ в силу линейной связи (1). Это приводит к нарушению условия (12) и доказывает неадекватность уравнения (3, б) двухкомпонентной задаче динамики сорбции во внутридиффузионной кинетической области и, следовательно, ставит вопрос о поиске более подходящего модельного уравнения гелевой кинетики.

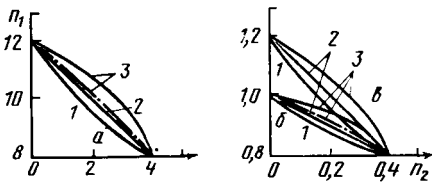


Рис. 2. Межкомпонентные соотношения концентраций в жидкой фазе для различных постановок задачи.

Обозначения те же, что на рис. 1; кривые для внутридиффузионной и равновесной задач с учетом продольных эффектов совпадают; а и б при $\xi = 1/3$ для внешнедиффузионной задачи даны пунктиром.

Имея межкомпонентное соотношение концентраций (10) и межфазное соотношение, соответствующее данному типу задачи — (1) или (2), можно из уравнений кинетики (3) или динамики для второго вещества $(u-v_2)n_2-v_2N_2-D^* dn_2/dz_2$ вывести выражение, описывающее колоночное распределение концентраций $z_2(N_2)$ или выходное $z_2(n_2)$, и на основании (10) построить $z_2(N_1)$ или $z_2(n_1)$ в той же зоне.

Для внешнедиффузионной кинетики после интегрирования и преобразований получим [9]

$$z(N_2) = \frac{uh_2(1+h_2)^{-1}}{2\beta_2, fh_2(b_2h_2R_3+1)} \left[\frac{k_4(1+2b_2h_2R_3)-b_2h_2R_2}{V-p_1} \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{W_1}{W_2} - \ln W_3 - 2b_2h_2R_3 \ln N_2 \right] + \text{const}, \quad (16)$$

$$\text{где } W_{1,2} = 2h_2b_2R_1N_2 + k_4 + h_2b_2R_2 \pm \sqrt{-p_1},$$

$$W_3 = h_2b_2R_1 + k_4 + h_2b_2R_2 + 1 + h_2b_2R_3, \quad R_1 = k_1 + k_4, \quad R_2 = 1 + k_2 - k_4N_\infty,$$

$$R_3 = k_3 - N_\infty, \quad p_1 = 4b_2h_2R_1(1+h_2b_2R_3) - (k_4 + h_2b_2R_2)^2 < 0;$$

при $p_1 > 0$ $\ln W_1/W_2$ переходит в $\frac{2}{V-p_1} \arctg(2h_2b_2R_1N_2 + h_2b_2R_2 + k_4)$.

Решение внутридиффузионной задачи приводит к такому выражению профиля стационарного фронта

$$z_2(N_2) = \frac{uq(1+h_2)^{-1}}{2\beta_2, gh_2(r_3-q)} \left[\frac{k_4(2r_3-q)-r_2}{V-p_2} \ln \frac{J_1}{J_2} - \ln J_3 + \frac{2r_3}{q} \ln N_2 \right] + \text{const}, \quad (17)$$

где $J_{1,2} + 2r_1N_2 + r_2 - qk_4 \mp \sqrt{-p_2}$, $J_3 = r_1N_2 + r_2 - qk_4 + r_3 - q$, $r_1 = k_1 + b_2h_2k_4$, $r_2 = k_2 + b_2h_2 + k_4(1+Bb_1)$, $r_3 = 1 + k_3 + b_1B$, $q = b_2h_2N_\infty$, $p_2 = 4r_1(r_3-q) - (r_2 - qk_4)^2 < 0$.

И, наконец, при равновесной динамике с учетом продольных эффектов получаем для интегрирования довольно сложное и громоздкое выражение

$$z_2(N_2) = \frac{D_2^*(1+h_2)}{u} \int \frac{M + N_2(1+N_1')}{N_2M(1-b_2h_2M)} dN_2 + \text{const}, \quad (18)$$

$$\text{где } N_1' = dN_1/dN_2 = (k_1k_4N_2^2 + 2k_1N_2 + k_2 - k_3k_4)(1+k_4N_2)^{-2}.$$

Его также можно свести к сумме табличных интегралов, аналогичных (16) и (17), однако проще готовое решение типа (18), полученное для $z_2(n_2)$ [3], преобразовать к виду $z_2(N_2)$ согласно межфазному (2) и межкомпонентному (10) соотношениям. Заметим, что при значительных коэффициентах сродства b_i согласно изложенным выше закономерностям уравнения (10) производная $N_1' \rightarrow -1$ и интеграл (18) существенно упрощаются, $z_2(N_2) \simeq D_2^*(1+h_2)u^{-1} \int N_2^{-1}(1-b_2h_2M)^{-1} dN_2$, и после преобразовании получаем формулу стационарного фронта

$$z_2(N_2) \simeq \frac{D_2^*(1+h_2)}{2u(1+b_2h_2R_3)} \left[\frac{k_4(1+2b_2h_2R_3)-b_2h_2R_2}{V-p_1} \right. \\ \left. \ln \frac{W_1}{W_2} - \ln W_3 + 2 \ln N_2 \right] + \text{const}, \quad (19)$$

где W_i, R_i — те же, что и в (16).

В случае внутридиффузионной кинетики при $\xi \ll 1$ и $b_i \gg 1$ или $n_{0,i} \sim N_\infty$ нарушаются условия (12) — (16), что приводит к переполнению твердой фазы (рис. 3, **A**, **B**), а следовательно, доказывает неадекватность уравнения внутридиффузионной кинетики (3,6) в общем случае. Поведение выходных кривых $n_1(n_2, b_2 \xi)$ аналогично, согласно (1). Профиль фронта для внешнедиффузионной задачи не приводится из-за отсутствия каких-либо аномалий при любых значе-

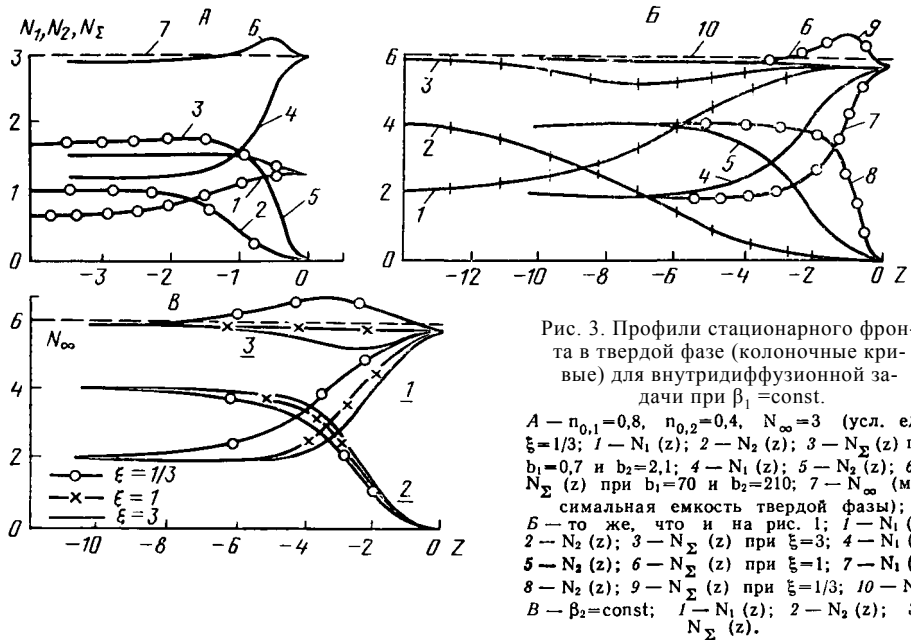


Рис. 3. Профили стационарного фронта в твердой фазе (колоночные кривые) для внутридиффузионной задачи при $\beta_1 = \text{const}$.
 А — $n_{0,1} = 0,8$, $n_{0,2} = 0,4$, $N_{\infty} = 3$ (усл. ед.), $\xi = 1/3$; 1 — $N_1(z)$; 2 — $N_2(z)$; 3 — $N_{\Sigma}(z)$ при $b_1 = 0,7$ и $b_2 = 2,1$; 4 — $N_1(z)$; 5 — $N_2(z)$; 6 — $N_{\Sigma}(z)$ при $b_1 = 70$ и $b_2 = 210$; 7 — N_{∞} (максимальная емкость твердой фазы);
 Б — то же, что и на рис. 1; 1 — $N_1(z)$; 2 — $N_2(z)$; 3 — $N_{\Sigma}(z)$ при $\xi = 3$; 4 — $N_1(z)$; 5 — $N_2(z)$; 6 — $N_{\Sigma}(z)$ при $\xi = 1$; 7 — $N_1(z)$; 8 — $N_2(z)$; 9 — $N_{\Sigma}(z)$ при $\xi = 1/3$; 10 — N_{∞} ;
 В — $\beta_2 = \text{const}$; 1 — $N_1(z)$; 2 — $N_2(z)$; 3 — $N_{\Sigma}(z)$.

ниях ξ , b_i , n_{0i} вследствие склонности соотношений концентраций указанных компонентов к линейаризации (рис. 1 и 2).

Для равновесной задачи с учетом продольных эффектов поведение кривых, описывающих распределение концентраций в жидкой фазе, соответствует аналогичным закономерностям, свойственным внутридиффузионной задаче, однако в силу нелинейности соотношения (2) условие (12) для твердой фазы выполняется и отмеченных выше аномалий не возникает.

При анализе тенденций размытия фронтов выявлено два противоположных случая (рис. 3, Б, В). Здесь для одних и тех же значений безразмерного кинетического параметра ξ и при прочих равных условиях изменялись коэффициенты межфазного массообмена β_i . Это привело к тому, что в первом случае (рис. 3, Б) при $\beta_1 = \text{const}$ размытие фронта второго, более сорбируемого вещества сильно зависело от β_2 (что естественно) и обуславливало такое же в качественном отношении размытие фронта первого вещества. В случае $\beta_2 = \text{const}$ (рис. 3, В) размытие фронта второго вещества не зависело от β_1 и весьма слабо зависело от $|\cdot|$. Размытие фронта первого вещества в силу межкомпонентного соотношения концентраций (рис. 1 и 2) обратно пропорционально значению

При этом разница между отдельными случаями резко уменьшается, т. е. все профили как бы поджимаются друг к другу и резко выступает зависимость уширения от статических параметров n_{0i} , b_i и N_{∞} (рис. 3, А).

Точно такие же тенденции отмечены для внешнедиффузионной и равновесной задач с учетом продольных эффектов, причем в случае, аналогичном 3, В, все профили расположены еще ближе друг к другу, т. е. зависимость от $|\cdot|$ практически не проявляется в силу линейности межкомпонентного соотношения концентраций в фазовой плоскости $N_1(N_2)$ (рис. 1 и 2), особенно для сильно выпуклых изотерм и больших входных концентраций сорбируемых веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гутер Р. С., О вч и некий Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов. — М.: Наука, 1970, с. 187. — 2. Каменев А. С., Мошаров В. Н., Громов Ю. А. Фронтальная равновесная динамика сорбции бинарных смесей. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 4, с. 163—167. — 3. Каменев А. С. Решение уравнений неравновесной фронтальной хроматографии бинарных смесей

методом аппроксимирующих функций. — Изв. ТСХА, 1984, вып. 1, с. 167—170. — 4. Каменев А. С. К теории динамики нелинейного массопереноса. Сообщение I и II. — Журн. физ. химии, 1985, т. 59, с. 2480—2486. — 5. Рачинский В. В. Введение в общую теорию динамики сорбции и хроматографии. — М.: Наука, 1964. — 6. Веницианов Е. В., Рубинштейн Р. Н. Динамика сорбции из жидких сред. — М.: Наука, 1983. — 7. Тодес О. М. Проблемы теории динамики сорбции смесей. — В кн.: Кинетика и динамика физической адсорбции. М.: Наука, 1973, с. 205. — 8. Горочешников Н. С., Кельцев Н. В., Шу-

мяцкий Ю. И. Динамика изотермической адсорбции в режиме параллельного переноса фронта сорбции. — В кн.: Кинетика и динамика физической адсорбции. М.: Наука, 1973, с. 110. — 9. Каменев А. С., Рачинский В. В., Мошаров В. Н. Решение задачи фронтальной двухкомпонентной динамики сорбции методом аппроксимирующих функций для внешнедиффузионной кинетики. — Журн. физ. химии, 1986, т. 60, № 9, с. 2327—2329. — 10. Марутовский Р. М., Жуков П. Ф. Приближенные уравнения внутридиффузионной кинетики сорбции многокомпонентных смесей. — Журн. физ. химии, 1986, т. 60, № 9, с. 2341—2343.

Статья поступила 20 апреля 1987 г.

SUMMARY

Regularities in variations in binary mixtures sorption at different constants of interphase diffusive mass exchange have been found. Intercomponent correlations for substance concentrations and equations of stationary front profile in mixed area are given.