

А.А. Исмаилов, соискатель;

Ш.П. Нуруллаев, проф., канд. хим. наук
(ТХТИ, г. Ташкент, Узбекистан);

И. Рузметов, доц. (ДжПИ, г. Джизак, Узбекистан);

Ф. Раимбердиев, магистр; З.С. Алихонова, доц.
(ТХТИ, г. Ташкент, Узбекистан)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО АДСОРБЕНТА С МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА

Введение. Запишем математическую модель процесса получения композиционного адсорбента в присутствии отхода древесного волокна (ДВ) [1-3], снабженной лопастной и инерционной смесителями, написанного ниже:

$$\begin{aligned} \frac{d \sqrt{\sigma_1^2}}{\sqrt{n l} dt} &= -k_1 \frac{\lambda_1 + 1}{\lambda_1} \left[\sqrt{\sigma_1^2 \sigma_2^2} + \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_3^2} \right] + \frac{k_1}{\lambda_1}; \\ \frac{d \sqrt{\sigma_2^2}}{\sqrt{n l} dt} &= -k_2 \frac{\lambda_2 + 1}{\lambda_2} \left[\sqrt{\sigma_1^2 \sigma_2^2} + \sqrt{\sigma_2^2 \sigma_3^2} \right] + \frac{k_2}{\lambda_2}; \\ \frac{d \sqrt{\sigma_3^2}}{\sqrt{n l} dt} &= -k_3 \frac{\lambda_3 + 1}{\lambda_3} \left[\sqrt{\sigma_1^2 \sigma_3^2} + \sqrt{\sigma_2^2 \sigma_3^2} \right] + \frac{k_3}{\lambda_3}; \\ \lambda_1 &= \frac{1 - \sigma_{p1}^2}{\sigma_{p1}^2}; \quad \lambda_2 = \frac{1 - \sigma_{p2}^2}{\sigma_{p2}^2}; \quad \lambda_3 = \frac{1 - \sigma_{p3}^2}{\sigma_{p3}^2}; \\ t = 0, \quad \sigma_i^2 &= 1, \quad t = \infty, \quad \sigma_i^2 = \sigma_{pi}^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где: $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ – дисперсии концентрации 1, 2 и 3-го компонентов смеси; k_1, k_2, k_3 – константы скорости перемешивания 1, 2 и 3-го компонентов; $\sigma_{p1}^2, \sigma_{p2}^2, \sigma_{p3}^2$ – равновесные (предельные) дисперсии концентрации 1, 2 и 3-го компонентов; $i = 1, 2, 3$.

Модель (1) решается численно методом Рунге-Кутты. Однако при проведении идентификации параметров модели, то есть констант скоростей процесса перемешивания k_1, k_2, k_3 и равновесных дисперсий концентрации компонентов $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ – необходимо решать систему уравнений относительно констант скоростей перемешивания k_1, k_2, k_3 при известных экспериментальных значениях дисперсий компонентов на смеси $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$. В этом случае надо знать значения производных в те времена, в которые определены значения дисперсий. Для этого представляется целесообразным сначала найти аппрок-

симирующую зависимость $\sigma_i^2 = f(t)$ ($i = 1, 2, 3$) и по ней вычислять значения производных. Так, в рассматриваемом случае для трехкомпонентной смеси (отходы ДВ+оксиды железа+госсиполовая смола-ГС) наилучшая (в смысле среднеквадратичной погрешности) аппроксимирующая зависимость имеет вид

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{(1 + a_i t^{b_i})^{1/2}} \quad i = 1, 2, 3. \quad (2)$$

Дифференцируя выражение (2) по t , получим

$$\frac{d \sqrt{\sigma_i^2}}{dt} = - \frac{a_i b_i t^{b_i-1}}{2 (1 + a_i t^{b_i})^{3/2}} \quad i = 1, 2, 3, \quad (3)$$

где: $a_i b_i$ – соответствующие аппроксимирующие коэффициенты.

Подставляя выражения (3) в (1) и выражая их относительно k_i ($i = 1, 2, 3$) получим

$$k_1 = \frac{a_1 b_1 t^{b_1-1}}{2 \sqrt{n l} (1 + a_1 t^{b_1})^{3/2}} \times \left[\frac{\lambda_1 + 1}{\lambda_1} \left(\sqrt{\sigma_{1эксп}^2 \sigma_{2эксп}^2} + \sqrt{\sigma_{1эксп}^2 \sigma_{3эксп}^2} \right) - \frac{1}{\lambda_1} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{a_2 b_2 t^{b_2-1}}{2 \sqrt{n l} (1 + a_2 t^{b_2})^{3/2}} \left[\frac{\lambda_2 + 1}{\lambda_2} \left(\sqrt{\sigma_{1эксп}^2 \sigma_{2эксп}^2} + \sqrt{\sigma_{2эксп}^2 \sigma_{3эксп}^2} \right) - \frac{1}{\lambda_2} \right]^{-1} \quad (5)$$

$$k_3 = \frac{a_3 b_3 t^{b_3-1}}{2 \sqrt{n l} (1 + a_3 t^{b_3})^{3/2}} \left[\frac{\lambda_3 + 1}{\lambda_3} \left(\sqrt{\sigma_{1эксп}^2 \sigma_{3эксп}^2} + \sqrt{\sigma_{2эксп}^2 \sigma_{3эксп}^2} \right) - \frac{1}{\lambda_3} \right]^{-1} \quad (6)$$

Для идентификации параметров и проверки адекватности математической модели (1) проводили экспериментальное исследование кинетики перемешивания тройных композиций, содержащих твердую фазу, в лопастном двухвальном и инерционном смесителях. Методика проведения опытов была та же, что и при исследовании бинарных композиций, при этом определялись концентрации каждого компонента в пробе, рассчитывались дисперсии и строились кинематические кривые, характеризующие распределение компонента при формировании тройной смеси. При исследовании процесса перемешивания тройных композиций в лопастном двухвальном смесителе в первом опыте смешивались отходы ДВ, оксиды железа и ГС, взятые в весовом отношении 1:1:1. Объем смешиваемых компонентов составлял 1500 см³, а число оборотов вала смесителя - 40 об/мин. Экспериментальные и расчетные данные опытов приведены в таблице и на рис.1. Оптимальные значения константы скорости смешения $k_{iопт}$ ($i = 1, 2, 3$) рассчитывали по экспериментальным данным с помощью алгоритма, где использовали выражения (4)-(6). Среднеквадратичный

критерий соответствия экспериментальных и рассчитанных по модели (1) значений дисперсий концентрации компонентов смеси не превышает 15%, что свидетельствует об адекватности модели (1) эксперименту (рис.1). Из приведённых исследований видно, что распределение каждого компонента характеризуется своей кинетической кривой с присущими ей значениями k и σ_p^2 . Поэтому, как было отмечено, нет оснований оценивать состояние смеси по распределению одного так называемого "ключевого" компонента.

Таблица – Экспериментальные и расчётные данные для трехкомпонентной смеси, состоящей из отходов ДВ, оксидов железа и ГС, в лопастном двухвальном смесителе

№	t, с	$\sigma_{1\text{эксп}}^2$	$\sigma_{2\text{эксп}}^2$	$\sigma_{3\text{эксп}}^2$	$k_1, 1/\text{с}$	$k_{1\text{опт}}, 1/\text{с}$	$k_2, 1/\text{с}$	$k_{2\text{опт}}, 1/\text{с}$	$k_3, 1/\text{с}$	$k_{3\text{опт}}, 1/\text{с}$	$\sigma_{1\text{расч}}^2$	$\sigma_{2\text{расч}}^2$	$\sigma_{3\text{расч}}^2$
1	15	0,177	0,062	0,097	0,014	0,007	0,018	0,008	0,016	0,008	0,239	0,080	0,081
2	75	0,024	0,009	0,024	0,010		0,008		0,008		0,061	0,031	0,031
3	215	0,015	0,001	0,013	0,004		0,004		0,003		0,016	0,003	0,004
4	515	0,002	0,000	0,001	0,009		0,007		0,006		0,007	0,000	0,000
5	1115	0,0021	0,0001	0,0005	0,0047		0,0036		0,0034		0,0066	0,0001	0,0002
$\sigma_{p1}^2 = 0,002 \quad \sigma_{p2}^2 = 0,001 \quad \sigma_{p3}^2 = 0,0004$													

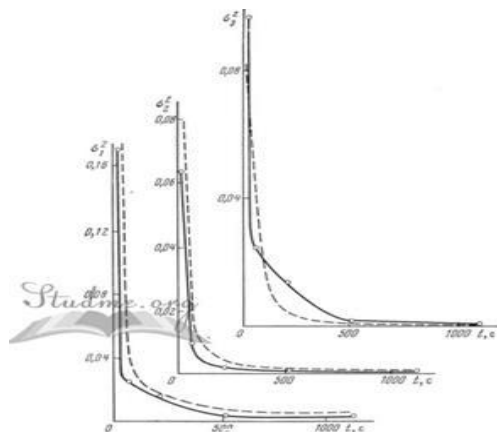


Рисунок 1 – Экспериментальные (сплошные линии) и рассчитанные по модели (1) (пунктир) кинетические кривой для трехкомпонентной смеси, состоящей из отходов ДВ, оксидов железа и ГС в лопастном двухвальном смесителе

В инерционном смесителе для идентификации параметров и проверки адекватности модели (1) проводилось анализ тройной композиции, состоящей из отходов ДВ, оксидов железа и других видов наполнителей на пример, с применением параформа. При проведении эксперимента при переменной температуре смесь подогревалась за счет помещения большого смесительного барабана в воздушный термостат, при этом параформ начал менять свое агрегатное состояние.

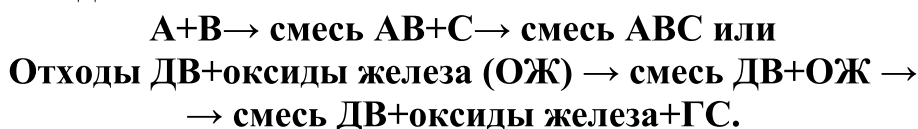
Смешение в инерционном смесителе, когда один из компонентов за счет теплоподвода меняет агрегатное состояние и при этом образуются льющиеся смеси, широко распространено в различных отраслях промышленности. При смешении с изменением агрегатного состояния одного из компонентов имеет место резкое повышение дисперсии концентраций всех компонентов, что происходит вслед-

ствие неравномерности появления и распределения жидкой фазы. На основе таких анализов найдено, что такой процесс смешения не может быть адекватно описан моделью (1), поскольку в момент времени t_1-t_2 возникают дополнительные источники дисперсии для всех компонентов смеси, которые должны быть введены в кинетические уравнения модели (1). Тогда модель (1) примет вид

$$\begin{aligned}\frac{d\sqrt{\sigma_1^2}}{\sqrt{n}l dt} &= -k_1 \frac{\lambda_1 + 1}{\lambda_1} \left[\sqrt{\sigma_1^2 \sigma_2^2} + \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_3^2} \right] + \frac{k_1}{\lambda_1} + \int_{t_1}^{t_2} f_1(t) dt; \\ \frac{d\sqrt{\sigma_2^2}}{\sqrt{n}l dt} &= -k_2 \frac{\lambda_2 + 1}{\lambda_2} \left[\sqrt{\sigma_1^2 \sigma_2^2} + \sqrt{\sigma_2^2 \sigma_3^2} \right] + \frac{k_2}{\lambda_2} + \int_{t_1}^{t_2} f_2(t) dt; \quad (7) \\ \frac{d\sqrt{\sigma_3^2}}{\sqrt{n}l dt} &= -k_3 \frac{\lambda_3 + 1}{\lambda_3} \left[\sqrt{\sigma_1^2 \sigma_3^2} + \sqrt{\sigma_2^2 \sigma_3^2} \right] + \frac{k_3}{\lambda_3} + \int_{t_1}^{t_2} f_3(t) dt,\end{aligned}$$

где $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$ – функции, характеризующие дополнительные источники для 1-го, 2-го и 3-го компонентов смеси за счет изменения агрегатного состояния одного из компонентов.

На основе математической модели можно указать, что изменение агрегатного состояния можно рассматривать как смешение, когда в смесь в определённый момент времени вводится дополнительно еще один компонент, приводящий к всплеску на кинетической кривой. Поэтому схему получения тройной смеси в инерционном смесителе при последовательном вводе компонентов можно представить в следующем виде:



ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Исмаилов, Ш.П. Нуруллаев, И. Рузметов, З.С. Алихонина. Очистка сточных и природных вод от нефтепродуктов композиционными сорбционными материалами на основе отходов древесного волокна. Сборник статей республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых. 2023 г. стр.80-82.

2. А.А.Исмаилов. Получение сорбционных материалов на основе деревообрабатывающих производств и применение для очистки ионов тяжелых металлов сточных вод. Там же стр.80-86.

3. I.Ruzmatov, Sh.P.Nurullaev, D.B.Saidmirzaeva. The sorbents with using rotory slag and physico-chemical characteristic of the absorption. AIP Conference Proceedings 2432, 050058 (2022), <https://doi.org/10.1063/-5.0090651>, 2022 Author (s).