

05.00.00 Technological sciences

05.00.00 Технические науки

UDC 512.312

### Computer Model and Computing Experiment for Technological Process of Multicomponent Mixtures Filtering Study

<sup>1</sup>Normahmad Ravshanov<sup>2</sup>Bozorboy Palvanov<sup>3</sup>Zafar Ravshanov

<sup>1</sup>Institute of Mathematics and Information Technologies of NAS, Uzbekistan  
29 Durmon yuli Str., Tashkent, 100125  
Dr. (Technical)

E-mail: ravshanzade-09@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Mathematics and Information Technologies of NAS, Uzbekistan  
29 Durmon yuli Str., Tashkent, 100125

Junior research scientist

E-mail: bpolvonov@mail.ru

<sup>3</sup>Institute of Mathematics and Information Technologies of NAS, Uzbekistan  
29 Durmon yuli Str., Tashkent, 100125

Junior research scientist

**Abstract.** To analyze the functioning of the filtration process of the suspension, the author has developed the appropriate mathematical model, numerical algorithm and the computational experiments conducted on a computer. The results of computational experiments are illustrated in the diagrams.

**Keywords:** Computer model; computational experiment; technological process; filtration.

**Введение.** Во всех отраслях пищевой промышленности существуют проблемы, связанные с повышением эффективности общественного производства. При приготовлении пищевых и фармацевтических продуктов, очистки питьевых вод от ионов и гель-частиц, защиты подземных вод от источников загрязнения, фильтрации промышленных жидких отходов выбрасываемых из объектов производства и т.д., важную роль играет технологический цикл – пропускание их через фильтровальную перегородку. В результате происходит очищение вод от нежелательных элементов и повышение качества.

Так как фильтрования растворов осуществляется с помощью различных видов фильтров, неправильный выбор режима работы и толщины фильтра, способа и скорости поддачи фильтрата в фильтровальную колонку приводит к значительным потерям ценного сырья, снижению производительности и качества получаемого выходного продукта в целом.

В процессе фильтрования жидкостей используются различные по физико-механическим свойствам фильтры и фильтровальные перегородки. Работоспособность агрегатов определяется состоянием фильтрующих перегородок, с помощью которых отделяются частицы твердой фазы от жидкости или адсорбируются от нежелательных ионов. Качество фильтрования зависит от устойчивости фильтрующих сводов по отношению к образовавшемуся давлению внутри колонки.

Степень очищения жидких сильнозагрязненных ионизированных растворов зависит от образовавшегося слоя осадка, закупоривания пор фильтра, сжимаемости фильтровальной колонки и устойчивости работы фильтрующих сводов.

Как уже отмечалось при моделировании и фильтрации сильнозагрязненных жидкостей действует множество параметров с различными удельными весами. Отклонение этих параметров от нормы приводит к качественному и количественному изменениям процесса в целом. В связи с этим для реализации этих задач необходимо произвести комплексное исследование с помощью математического аппарата (модель – алгоритм –

программа) и провести вычислительный эксперимент на ЭВМ, в результате которого определяется основные параметры и их диапазонов изменения.

Материалы и методы. Для анализа, исследования, а также управления сложного нестационарного технологического процесса фильтрования сильнозагрязненных ионизированных жидких растворов разработана математическая модель в безразмерной форме, основанная на законах сохранения массы, количества движения, кинетики рассматриваемого процесса, в которой учитываются основные факторы, действующие на технологический процесс [1-3]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \text{Re}W \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{W}{1-\Theta_3} \frac{d\Theta_3}{dt} = -Eu \cdot \text{Re} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{HK_0}{H_0^3} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - \frac{W}{(1-\Theta_3)(1-\delta)^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{1}{Eu} \left[ \frac{m}{\text{Re}(1-\delta)^2} - \frac{d\Theta_3}{dt} \right]; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = -\frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial t} - (1-m_0) \frac{\partial \delta}{\partial t} + \frac{\mu_{0\alpha\tau}}{H_0^2} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \lambda(\Theta - \gamma\delta);$$

$$\Theta - \Theta_3 = \frac{\alpha}{1-\delta}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Theta_3}{\partial t} = \frac{1-\bar{\Theta}}{2-\delta} \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial t} + \frac{1}{1-\delta} \left[ (1-\bar{\Theta}) \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial t} - \frac{\Theta_1 W_0}{mH_0(1-\delta_1)} \right] + \Theta_3 \left[ \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial t} + \frac{W_0}{mH_0(1-\delta_1)} \right] \frac{1}{2-\delta}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial \mathcal{N}}{\partial t} = SW \quad (6)$$

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = -\frac{W_0 \alpha_\tau}{H_0 m} \frac{\partial n_i}{\partial x} - \frac{N_0}{n_i m} + \frac{\partial N_i}{\partial t} + \frac{D_a \alpha_\tau}{H^2 m} \frac{\partial^2 n_i}{\partial x^2} + \frac{\alpha_\tau D_b}{PH_0} \frac{\partial P}{\partial x}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = \frac{\alpha_\tau \beta}{1} \left[ \frac{n_0 n_i}{N_0} - \frac{a}{a - bN_i N_0} \right]; \quad (8)$$

с краевыми условиями

$$\Theta = e^{-\lambda H_0 Bx}, \quad \delta = 0, \quad n_1 = 0, \quad N_1 = \phi_3, \quad (9)$$

$$N_2 = 1, W = 0, \Theta_3 = 0, \delta = 0, n_2 = \phi_2 \quad \text{при } t = 0$$

$$\Theta = 1, \quad P = 1, \quad n_1 = 1/n_0, \quad W = 1, \quad n_2 = 0 \quad \text{при } x = 0; \quad (10)$$

$$\Theta = \Theta_0 e^{-\lambda B H_0 t} \left[ e^{-\lambda B t} I_0 \left( 2\sqrt{\lambda^2 \gamma H_0 t} \right) + \frac{1}{\lambda B H_0} \int_0^{\lambda^2 B H_0 \gamma t} e^{\tau/\lambda B H_0} I_0 \left( 2\sqrt{\tau} \right) d\tau \right], \quad (11)$$

$$\frac{\partial n_1}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{a_0 H_0}{W_0}, \quad n_2 = \frac{n_0}{N_0}, \quad \text{при } x = 1,$$

где

$$\bar{\Theta}(t) = \int_0^1 \theta(x,t) dx, \quad \bar{\delta}(t) = \int_0^1 \delta(x,t) dx, \quad B = \frac{m_0(1-m)}{W}, \quad Eu = \frac{\rho W^2}{P_0 m} -$$

число

Эйлера;  $Re = \frac{\rho k_0 W}{\mu H_0}$  - число Рейнольдса.

Здесь  $I_0$  - функция Бесселя нулевого порядка,  $n_i$  и  $N_i$  - неравновесные концентрации обменивающихся ионов в растворе и сорбенте;  $P$  - перепад давления;  $\Theta$  - концентрация взвеси, оседающая на поверхности фильтра;  $\Theta_1$  - исходная концентрация взвеси в суспензии;  $\Theta_3$  - концентрация частиц, протекающая через фильтровальную перегородку;  $\delta$  - концентрация взвеси, оседающая в порах фильтра;  $m$  - пористость осевшей массы в порах фильтра;  $m_0$  - начальная пористость,  $H_0$  - толщина фильтра;  $\rho$ ,  $\mu$  - вязкость и плотность фильтрата;  $\lambda$  - кинематический коэффициент;  $\gamma$  - параметр фильтрования;  $W$  - скорость фильтрования;  $\beta$  - эффективная константа обменивающихся ионов;  $a, b$  - постоянные изотерами;  $D_a, D_b$  - коэффициенты продольной диффузии и бародиффузии;  $\mu_0$  - коэффициент искусственной вязкости;  $V$  - объем фильтрата, проходящего через фильтровальную колонку;  $S$  - площадь фильтра.

Для решения поставленной задачи к уравнениям (1) - (11) добавляются уравнения эквивалентности обмена

$$n_1 + n_2 = n_0, \quad N_1 + N_2 = N_0,$$

где  $n_0$  - исходная концентрация в растворе вводимого в колонку иона,  $N_0$  - обменная емкость поглощения сорбента, в силу которых достаточно найти решения для одного из обменивающихся ионов.

Так как, система уравнений (1) - (11) является нелинейной, то для ее решения использовано векторная схема Самарского - Фрязинова [4] а аппроксимируя их разностной схемой с точностью  $O(h^2)$ , полученная система алгебраических уравнений решается методом совместной прогонки. При этом для нелинейных членов применяется метод квазилинеаризации Беллмана [5].

Результаты. Для исследования и анализа данного процесса на основе разработанного алгоритма решения задач составлен комплекс программ, с помощью которого проведен вычислительный эксперимент на ЭВМ. Результаты приведены на рис. 1-3. Вычислительные эксперименты проведены при

$$\alpha = \theta(1 - \delta); \quad H = 0.2; \quad W_0 = 0.0025; \quad \theta_0 = 0.00001.$$

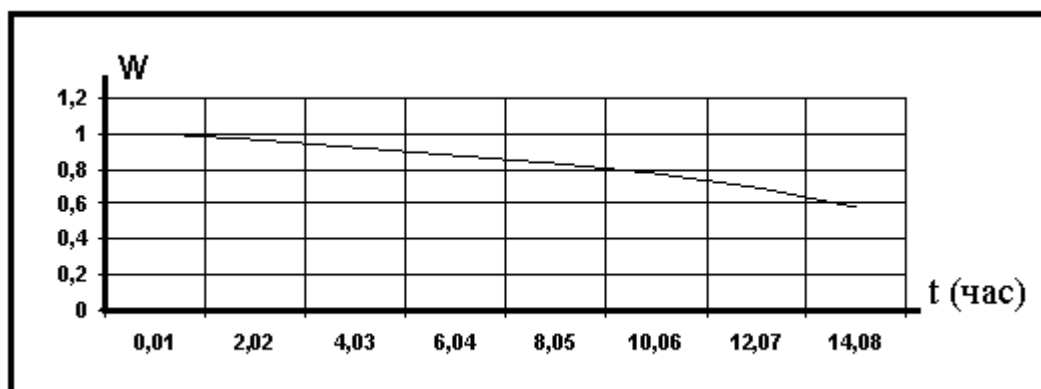


Рис. 1. Изменения скорости фильтрования во времени

В связи с закупориванием пор фильтра гель - частицами скорость фильтрации уменьшается (рис. 1), в результате чего появляется дополнительное давление внутри колонки агрегата. С образованием слоя осадка над поверхностью фильтра скорость осаждения и проникновения гель - частиц внутри фильтровальной перегородки линейно

убывает. Насыщение пор фильтра взвешенными частицами в целом происходит по линейному закону.

На рис. 2 приведены изменения обменивающихся ионов в растворе по времени. Как видно из кривых рис. 2 концентрация обменивающихся ионов в растворе экспоненциально уменьшается. За счет уменьшения концентрации обменивающихся ионов в растворе увеличивается концентрация обменивающихся ионов в сорбенте (Рис. 3).

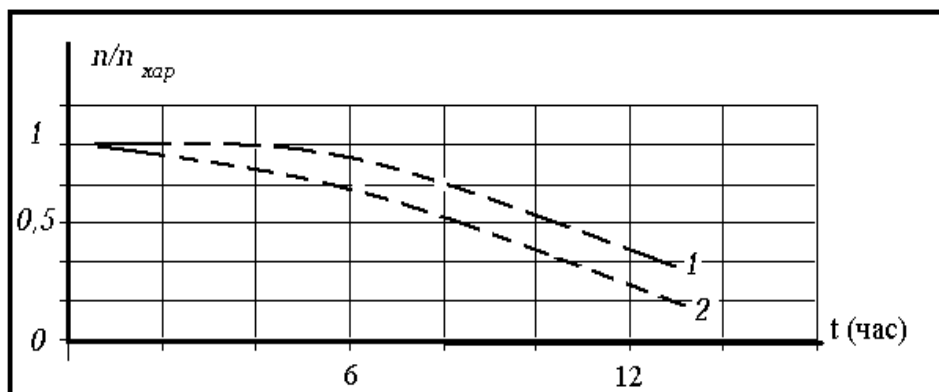


Рис. 2. При коэффициенте бародиффузии  
1-  $D_b = 3 \cdot 10^{-6}$ ; 2-  $D_b = 3 \cdot 10^{-5}$

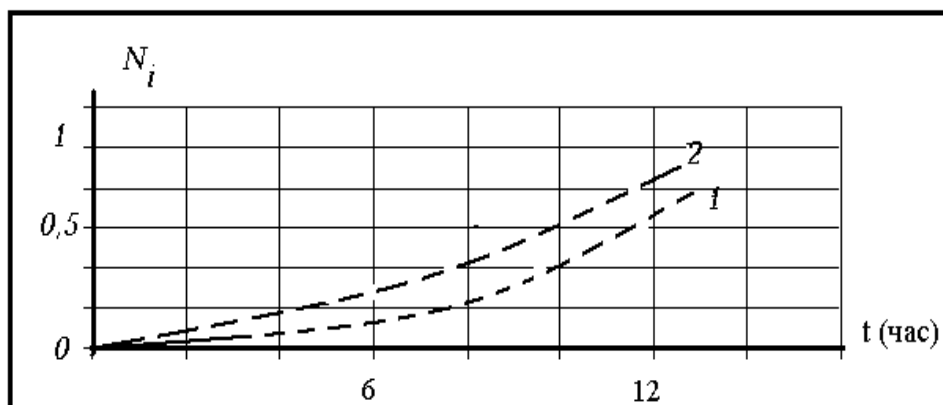


Рис. 3. При коэффициенте бародиффузии  
1-  $D_b = 3 \cdot 10^{-6}$ ; 2-  $D_b = 3 \cdot 10^{-5}$

Проведенными ВЭ установлено, что при фильтровании фильтрата с помощью многослойного фильтра, во-первых, растет степень очистки растворов от примесей и технологических отходов, во-вторых, растет время эксплуатации фильтра в 1,2–1,3 раза; в-третьих, увеличивается его пропускная способность. Средний удельный вес примесей при проходе через первый слой равняется 0.0405, а после прохода через второй слой он будет равен 0.0285. Отсюда следует, что при фильтровании смесей с помощью двухслойного фильтра объем удерживаемой примеси и гель-частиц почти в два раза больше, чем при однослойном фильтре. С ростом скорости осаждения гель-частиц в порах фильтра уменьшается его пропускная способность во внутренних, а затем и в верхних слоях. ВЭ определен скорость осаждения гель-частиц в слоях фильтра, в результате чего уменьшается пропускная способность фильтровального агрегата. Проведенные численные расчеты при различных режимах фильтрования показали, что с изменением значения коэффициента бародиффузии изменяется скорость обменов ионов в сорбенте и в растворе.

Итак, с помощью разработанной математической модели, численного алгоритма и программного комплекса можно прогнозировать и исследовать сложными нестационарными технологическими процессами ионообменного фильтрования растворов.

**Примечания:**

1. Равшанов Н., Шерматова Г.У. Вычислительный эксперимент для анализа и исследования нестационарного технологического процесса фильтрования ионизированных жидких растворов // Технические и естественные науки. 2006. № 6. С. 192-196.
2. Равшанов Н., Шарипов Д., Ходжабаев А.А., Равшанов З. Компьютерная модель технологических процессов сепарирования многокомпонентных смесей // Технические и естественные науки. 2006. № 6. С. 245-248.
3. Равшанов Н. Исследование сложных технологических процессов фильтрования многокомпонентных суспензий и управление ими // Химическая технология. Контроль и управление. Ташкент, 2008. № 6. С. 41-47.
4. Самарский А.А., Фрязинов В.И. Успехи математических наук. М.: Наука. 1980. 78 с.
5. Беллман Р., Калаба Р. Квазилинеаризации и нелинейные краевые задачи. М.: Мир, 1968. 154 с.

УДК 512.312

**Компьютерная модель и вычислительный эксперимент для исследования технологического процесса фильтрования многокомпонентных смесей**

<sup>1</sup>Нормахмад Равшанов

<sup>2</sup>Бозорбой Палванов

<sup>3</sup>Зафар Равшанов

<sup>1</sup> Институт математики и информационных технологий АН РУз, Узбекистан  
ул. Дурмон йули 29, Ташкент, 100125  
Доктор технических наук  
E-mail: ravshanzade-09@mail.ru

<sup>2</sup> Институт математики и информационных технологий АН РУз, Узбекистан  
ул. Дурмон йули 29, Ташкент, 100125  
Младший научный сотрудник  
E-mail: bpolvonov@rambler.ru

<sup>3</sup> Институт математики и информационных технологий АН РУз, Узбекистан  
ул. Дурмон йули 29, Ташкент, 100125  
Младший научный сотрудник

**Аннотация.** Для анализа функционирования технологического процесса фильтрования суспензии разработана адекватная математическая модель, численный алгоритм и проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ. Результаты вычислительных экспериментов проиллюстрированы в виде графиков.

**Ключевые слова:** Компьютерная модель; вычислительный эксперимент; технологический процесс; фильтрования.