

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHII (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2017 Issue: 04 Volume: 48

Published: 30.04.2017 <http://T-Science.org>

Normaxmad Ravshanov

Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory,
Centre for the Development of Software and
Hardware-Program Complexes, Tashkent, Uzbekistan

Bozorboy Yusupovich Palvanov

Senior Researcher,
Centre for the development of software
and hardware-program complex, Tashkent, Uzbekistan
bozorboy@yandex.ru

SECTION 2. Applied mathematics. Mathematical modeling.

NUMERICAL SOLUTION OF INVERSE PROBLEMS FILTERING PROCESS OF LOW-CONCENTRATION SOLUTIONS

Abstract: The researched of the technological process of filtering low-concentration suspensions. The mathematical model described by system of differential equations with corresponding initial conditions taking into account the main parameters of the aggregates and properties of solutions, playing a significant role in the studied process: the deposition rate of the gel-particles in the pores of the filter, the pressure change within the column Assembly, the filtering rate and etc.

Based on the proposed model, the developed software for the solution of inverse problems of technological process of filtering of liquid solutions, allowing not to turn to laboratory experiments. The result of solving the problem was determined as the kinematic factor and parameter filtering. With these parameters overridden main variables of the filtration process (the deposition rate of the gel-particles in the pores of the filter, the increase in the hydrodynamic pressure formed inside of the filter column, speed filtering)

Key words: mathematical model, suspension, the filtration process, inverse problem, numerical algorithm.

Language: Russian

Citation: Ravshanov N, Palvanov BY (2017) NUMERICAL SOLUTION OF INVERSE PROBLEMS FILTERING PROCESS OF LOW-CONCENTRATION SOLUTIONS. ISJ Theoretical & Applied Science, 04 (48): 137-144.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-48-22> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2017.04.48.22>

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ МАЛОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ

Аннотация: Исследуется технологический процесс фильтрации малоконцентрированных суспензий. Приведена математическая модель, описываемая системой дифференциальных уравнений с соответствующими начальными условиями с учетом основных параметров агрегата и свойств растворов, играющих значимую роль в исследуемом процессе: скорость осаждения гель-частиц в порах фильтра, изменение давления внутри колонки агрегата, скорость фильтрации и др.

На основе предложенной модели, разработано математическое обеспечение для решения обратной задачи технологического процесса фильтрации жидких растворов, позволяющее не обращаться к лабораторным экспериментам. В результате решения задачи были определены кинематический коэффициент и параметр фильтрации. С помощью уточненных параметров переопределены основные переменные процесса фильтрации (скорость осаждения гель-частиц в порах фильтра, рост изменения гидродинамического давления, образовавшегося внутри фильтровальной колонки, скорость фильтрации).

Ключевые слова: математическая модель, суспензия, процесс фильтрации, обратная задача, численный алгоритм.

Введение.

Технологический процесс (ТП) сепарирования и фильтрации жидких и ионизированных растворов от мелкодисперсных частиц и нежелательных ионов играет важную роль при приготовлении и очищении пищевых,

масложировых, нефтесырьевых, фармацевтических и др. продуктов.

Технология фильтрации, режим и время работы агрегатов и машин, степень очищения и т.д. зависят от физико-механических свойств,



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

химического состава и степени засоренности исходного сырья.

Так как ТП фильтрования смесей осуществляется с помощью различных видов агрегатов и машин, неправильный выбор технологий, устройств и их режимов работы приводит к значительной потере ценного сырья, уменьшению производительности фильтров, снижению качества получаемого выходного продукта.

Анализ проведенных исследований ТП и результатов экспериментальных данных показал, что на очищение жидких растворов от различных загрязнений и нежелательных ионов воздействует множество параметров с удельными весами. Исходя из сказанного выше, задачей настоящего исследования является всестороннее изучение данного процесса с учетом дополнительных

факторов с помощью математического моделирования и вычислительного эксперимента (ВЭ) на ЭВМ.

Надо отметить, что проблемой математического моделирования ТП фильтрования суспензий занимаются многие отечественные и зарубежные ученые.

В частности, авторами [1] разработана обобщенная математическая модель процесса адсорбции раствора сверхкритического углекислого газа на активизированном угле. Адсорбционные кривые получены на лабораторной установке (адсорбент 10 мл), что позволило усовершенствовать математический аппарат объекта исследования. Математическая модель (ММ) была разработана с помощью уравнения сохранения баланса массы:

$$\begin{aligned}\varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} &= -u_z \frac{\partial c}{\partial z} + \varepsilon D_{az} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - k_f a (1 - \varepsilon) (c - c_i) \Big|_{r=R_p}, \\ \beta \frac{\partial c_i}{\partial t} &= D_e \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial c_i}{\partial r} \right) - \rho_s \frac{\partial c_s}{\partial t}, \\ \frac{\partial c_s}{\partial t} &= k_a c_i - k_d c_s\end{aligned}$$

с начальными и краевыми условиями:

$$c = 0, \quad c_i = 0, \quad c_s = 0 \quad \text{при } t = 0,$$

$$c = c_0 + \frac{\varepsilon D_{az}}{u_z} \frac{\partial c}{\partial z} \quad \text{при } z = 0,$$

$$\frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = L,$$

$$\frac{\partial c_i}{\partial r} = 0 \quad \text{при } r = 0,$$

$$D_e \left(\frac{\partial c_i}{\partial r} \right)_{r=R_p} = k_f (c - c_i) \Big|_{r=R_p} \quad \text{при } r = R_p.$$

Здесь a - определенная поверхность твердой фазы; c_i - концентрация в порах фильтра (мол/м³); c - концентрация раствора в жидкой фазе (моль/м³); c_0 - начальная концентрация раствора в жидкой фазе; c_s - концентрация раствора в твердой фазе (моль/кг); R_p - радиус сферических частиц; D_{az} - осевой коэффициент дисперсии (м²/с); D_e - эффективный коэффициент диффузии (м²/с); β - пористость

частиц; k_f - коэффициент переноса массы в жидкой среде (м/с); ρ_s - плотность частиц (кг/м³); ε - коэффициент пористости.

Поставленная задача была решена с использованием известного метода линеаризации.

В работе [2] предложена ММ ТП адсорбции цефалоспорины в неподвижном слое колонки с применением оптимизации роя частиц. Для оценки параметра адсорбционного процесса задача имеет следующий вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v_z \cdot \frac{\partial C}{\partial z} - \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right) \cdot \frac{3 \cdot k_f}{R_p} (C - C_{r=R_p})$$

при начальных и краевых условия :

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

$$t = 0 \rightarrow C(z, 0) = 0$$

$$z = 0 \rightarrow C = C_0 + \frac{D_F \cdot \varepsilon}{v_z} \cdot \frac{\partial C}{\partial z}$$

$$z = H \rightarrow \frac{\partial C}{\partial z} = 0$$

В математической постановке задачи D_L - коэффициент дисперсии; k_f - коэффициент перемещения массы жидкого слоя; v_z - скорость жидкости; R_p - радиус частиц смолы; ε - пористость.

Для численного интегрирования задачи авторами использован конечно-разностный метод Кранк-Николсона.

В статье [3] разработана ММ для исследования непрерывного процесса адсорбции с использованием неподвижной перегородки слоя фильтра для удаления Сг (VI) от водных растворов. Авторами исследованы существенные параметры процесса: расход и масса адсорбента, начальный Сг (VI) концентрация и др. Получена зависимость для определения времени прорыва массы в зависимости от адсорбирующего элемента для активизированных семян индийского финика.

Авторами работы [4] представлены экспериментальные измерения сорбции и кривые вымывания для системного водяного пара геля кварца, который характерен капиллярным уплотнением. Эксперименты были выполнены при различных температурах, скоростях потока инертного газа, и различной относительной влажности. Решения, полученные по математической модели процесса, были сопоставлены с экспериментальными данными.

Результаты апробации составленной математической модели для процесса очистки промышленных газов от диоксида углерода представлены в [5]. Исследователями получено подтверждение работоспособности математической модели для расчёта выходных концентраций диоксида углерода по газу и жидкости. Показаны зависимости абсорбционной ёмкости и количества поглощаемого CO₂ от расхода по жидкости. Проведенное исследование показало, что отсутствие необходимости использования расхода жидкости близкого по значению к «захлёбыванию» абсорбера, так как на определенном этапе увеличение расхода жидкости перестает оказывать значительное влияние на общую поглотительную способность раствора. Так же результаты исследования

показали, что погрешность расчёта отдельных параметров процесса не превышает допустимой величины.

Применение математического моделирования для расчетов некоторых параметров адсорбции рассматривается в [6] на примере ММ адсорбции на границе раздела фаз «твердое тело – газ», а в работе [7] рассмотрен процесс адсорбции на границе раздела «твердое тело–газ» для многокомпонентной газовой смеси. Авторами [7] разработан алгоритм и математическая модель процесса адсорбции вредных примесей из воздушной среды. Проведено исследование воздействия основных факторов на протекание процесса адсорбции.

В работе [8] проведено исследование процесса очистки растворов урановой руды от нерастворимых труднофильтруемых компонентов на осадительной шнековой центрифуге. Выбор оптимального режима работы для конкретного вида сырья осуществляется подбором угловых частот вращения ротора и шнека. Сделан вывод о том, что автоматизированное управление частотой вращения электроприводов ротора и шнека и относительного отставания шнека от ротора с помощью частотных преобразователей является оптимальным для исследования режимов разделения суспензий на шнековых центрифугах.

В статье [9] разработана математическая модель процесса адсорбции углекислого газа. Показаны особенности алгоритма расчета уравнений математической модели, а также решена задача параметрической идентификации неизвестных параметров.

Анализ вышеуказанных работ показал, что определение основных параметров ТП фильтрования растворов и их диапазонов изменения является одной из основных задач. Решение данной проблемы обеспечивает повышение достоверности и адекватности разрабатываемого математического аппарата объекта исследования.

Постановка задачи.

Исходя из сказанного выше, рассмотрим математическую модель процесса фильтрования раствора через пористую среду [10-11]:

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

$$\begin{cases} \frac{dW(1-\theta_3)}{dt} = \frac{\Delta P}{\rho H} - \frac{\mu H_0 W}{\rho H K_0 (1-\delta)^2}, \\ \frac{d\Delta\theta}{dt} = \frac{\theta_1 - \theta_3}{H_0(1-\theta_1)} W, \\ \frac{dV}{dt} = FW, \end{cases} \quad (1)$$

$$W = W_0, \Delta\theta = 0, V = 0, \delta = 0 \text{ при } t = 0. \quad (2)$$

Здесь ΔP - перепад давления; V - объем фильтрата, протекающий через фильтровальные перегородки; F - площадь фильтра; θ_1 - исходная концентрация взвеси в суспензии; θ_3 - концентрация частиц, протекающая через фильтровальную перегородку; W - скорость фильтрования; H_0 - толщина фильтра; H - высота фильтровальной колонки; ρ, μ - плотность и вязкость жидкости; $\Delta\theta$ - концентрация взвеси, оседающая на поверхности фильтра; δ - концентрация взвеси, оседающей в порах фильтра.

Для простоты сначала рассмотрим упрощенную модель, когда функция $\delta(t)$ как коэффициент заполнения пор в процессе работы фильтра, представлена в виде

$$\delta(t) \approx C_0 V. \quad (3)$$

C_0 , как опытный параметр, представляющий собой коэффициент закупорки, исходя из физических соображений можно записать в виде [13]:

$$C_0 = \frac{b\mu r}{\Delta P}, \quad (4)$$

где b - константа; r - сила сопротивления, приходящаяся на единицу веса осадка.

Если в качестве r принимать коэффициент гидравлического сопротивления, а $b = \frac{W_0}{F^2}$, то

тем самым можно получить численное значение параметра C_0 , не прибегая к опытным данным (рис.1). Однако, такой подход также приближенный, т.к. для определения гидравлического сопротивления выведены многочисленные формулы [10-13] которые, естественно содержат определенные предположения.

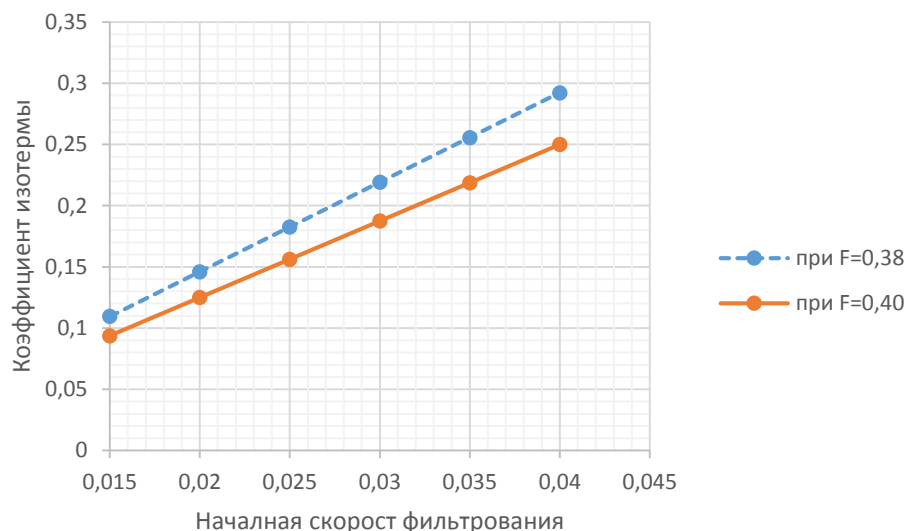


Рисунок 1 - Зависимости коэффициента изотермы от начальной скорости фильтрования при различных значениях площади фильтра.

Другой опытный параметр - коэффициент проницаемости имеет исключительно важное значение при выполнении расчетов на ЭВМ, связанных с ламинарным течением жидкости

через пористые среды. Поэтому, вопросу определения значения этого параметра в лабораторных условиях в зависимости от размеров частиц, от вязкости жидкости и ее

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

температуры уделено много внимания. Так, в работах [12-13] приведена методика определения проницаемости пористой среды фильтрацией через нее воздуха, а в работах [13-14] - фильтрацией через пористую среду жидкостей. В результате было установлено, что проницаемость, определенная по газу значительно выше проницаемости той же породы при фильтрации жидкости. Кроме того было установлено, что проницаемость среды зависит от свойства жидкости.

При лабораторных измерениях коэффициента проницаемости, из-за чрезвычайной сложности проведения экспериментов нередко допускаются ошибки (эти могут быть как ошибки экспериментатора, так и погрешности приборов), которые приводят к неточному значению параметра.

Следовательно, полученные значения прямой задачи с таким параметром могут привести к несоответствию результатов математической модели с экспериментальными данными. С этой точки зрения, проведение дополнительных расчетов с использованием уже других опытных данных путем минимизации разностей этих данных с математической моделью, т.е. решение обратной задачи, представляет особый интерес.

Метод решения. Если существуют опытные данные $W(t_j)$ при $\Delta P = const$ или $\Delta P(t_j)$ при $W = const$, то решая обратную задачу, можно определить численные значения C_0 и K_0 . Отметим, что получение этих данные намного проще и дешевле, чем определение параметров.

Из уравнения (1) при $W = const$ получим:

$$\Delta P(t) = \frac{\mu H_0 W_0}{K_0 (1 - C_0 V)^2} \quad (5)$$

Для отыскания параметров C_0 и K_0 , представим их в виде:

$$\left. \begin{aligned} K_{0n+1} &= K_{0n} + \Delta_1 \\ C_{0n+1} &= C_{0n} + \Delta_2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где K_{0n} и C_{0n} - известные величины, а Δ_1 и Δ_2 - неизвестные поправки, которые могут быть получены из минимума функционала

$$R = \int_0^t [\Delta P(\tau, K_{0n+1}, C_{0n+1}) - \Delta \tilde{P}(\tau)] d\tau = \min \quad (7)$$

Откуда

$$\frac{\partial R}{\partial \Delta_1} = 0, \quad \frac{\partial R}{\partial \Delta_2} = 0.$$

Если опытные данные $\Delta \tilde{P}_j$ подставить в (7), а интеграл заменить суммой, то вообще говоря, получится способ для определения K_{0n} и C_{0n} .

Но такой метод из-за неточности $\Delta \tilde{P}_j$, как известно, будет неустойчивым, т.е. для определения поправок могут получаться плохо обусловленные линейные системы. Применяя метод регуляризации А.Н. Тиханова [15], можно решать задачу однозначно. Однако, для массовой обработки опытных данных, с достаточной для практики точностью, можно получить устойчивый метод решения обратной задачи, используя методику, приведенную в работе [16].

Опытные данные $\Delta \tilde{P}_j$ заданные таблично аппроксимируем полиномом Чебышева. Оценку дисперсий аппроксимирующих полиномов степеней n и $n+1$ обозначим через S_n и S_{n+1} .

Если $S_n > S_{n+1}$, то степень $n+1$ предпочтительна, но для принятия окончательного решения необходимо использовать критерий Фишера, т.е. если:

$$\frac{S_n}{S_{n+1}} > F_p(f_1, f_2)$$

(P - уровень значимости; f_1 и f_2 - степень свободы), то степень аппроксимирующего полинома принимается равной $n+1$, в противном случае $-n$. Повторяя этот процесс для $n = 1, 2, 3, \dots$ находим степень аппроксимирующего полинома.

Аппроксимирующий полином представляется в виде:

$$\varphi(t) = \sum_{k=1}^n a_k \varphi_k(t), \quad \varphi_k(t) = \frac{\sum_{j=1}^m \Delta \tilde{P}_j \varphi_k(t_j)}{\sum_{j=1}^m \varphi_k^2(t_j)}$$

где φ_k - Полином Чебышева k -ой степени, a_k - коэффициенты аппроксимирующего полинома, которые определяются по известным рекуррентным соотношениям [17].

Подставляя в (7) вместо опытных данных $\Delta \tilde{P}_j$ полиномы Чебышева получим

$$R = \int_0^t [\Delta P(\tau) - \varphi(\tau)]^2 d\tau = \min$$

или

$$R = \sum_{i=1}^m \left[\Delta P_{ni} + \sum_{l=1}^2 \frac{\partial \Delta P_{ni}}{\partial a_l} \Delta_l - \varphi_i \right]^2 = \min$$

Здесь, учитывая непрерывную зависимость ΔP от параметров, предварительно сделано разложение последней в ряд Тейлора

$$\Delta P_{n+1} = \Delta P_n + \sum_{l=1}^2 \frac{\partial \Delta P_{ni}}{\partial a_l} \Delta_l + O(\Delta_l^2),$$

$$\Delta P_{ni} = \Delta P_n(t_i) = \Delta P(t_i, K_{0n}, C_{0n}),$$

$$\frac{\partial \Delta P_{ni}}{\partial a_l} = \left. \frac{\partial P(t_i)}{\partial a_l} \right|_{\substack{a_1=K_{0n} \\ a_2=C_{0n}}}$$

$$\varphi_i = \varphi(t_i) = \sum_{l=1}^m a_l \varphi_l(t_i).$$

Таким образом, Δ_1 и Δ_2 находятся из решения системы алгебраических уравнений.

Итерационный процесс продолжается до выполнения условий

$$\max_l |\Delta_l| < \varepsilon, \quad \varepsilon > 0.$$

По предложенному алгоритму проведен ряд расчетов и получены значения параметров

$$K_0 = 0.136 \cdot 10^{-7}$$

$$C_0 = 17956.868.$$

Рассмотрим математические модели, не связанные с допущением (4). Для замыкания системы (1)-(3) при $\theta_3 = \theta_3(t)$, воспользуемся уравнением кинетики, полученным из уравнения Ю.М. Шехтмана [13]:

$$\frac{d\delta}{dt} = \lambda(\Delta\theta - \gamma\delta) \quad (9)$$

где λ и γ - опытные параметры.

Решение (9) при $\delta(0) = 0$ имеет вид

$$\delta = \frac{bt}{a_0} - \frac{1 - be^{-a_0 t}}{a_0^2}, \quad (10)$$

где

$$a_0 = \lambda\gamma, \quad b = \frac{\theta_1 W}{H_0(1 - \theta_1)}.$$

Применяя вышеизложенный метод, из (1) и (10)

при $\theta_3 = \theta_3(t)$ определены параметры:
 $\lambda = 0.10$; $\gamma = 0.006$.

Путем вычислительного эксперимента, для второй стадии процесса фильтрования при заданном значении K_0 определены значения λ и γ :

$$\lambda = 0.06, \quad \gamma = 0.008.$$

Численный эксперимент и обсуждение результатов.

С помощью вычисленных значений параметров λ, γ проведены вычислительные эксперименты для определения концентрации взвешенных частиц в порах перегородки фильтра (рис.1-4.).

Численные расчеты показывают, что на первой стадии фильтрования изменение концентрации в порах фильтра при различных значениях λ, γ прямо зависит от начальной скорости фильтрования и толщины слоя фильтра (рис.2-3). Из рисунка видно, что при увеличении начальной скорости движущейся смеси, концентрация в порах фильтра со временем также увеличится, а распределение объемной концентрации в порах фильтра при увеличении толщины фильтра уменьшается.

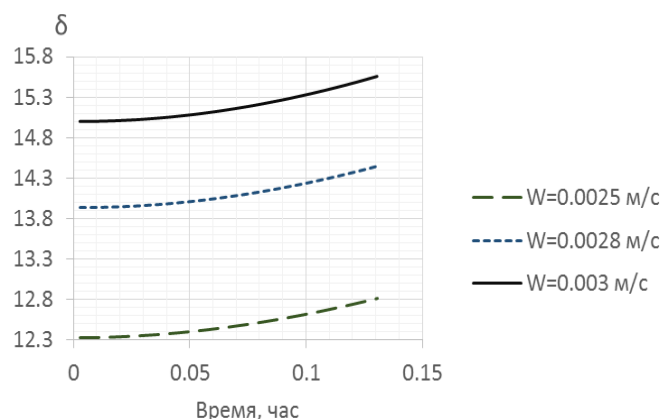


Рисунок 2 - Изменения скорости осаждения гель-частиц (грамм/литр) в порах фильтра при первой стадии фильтрования.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

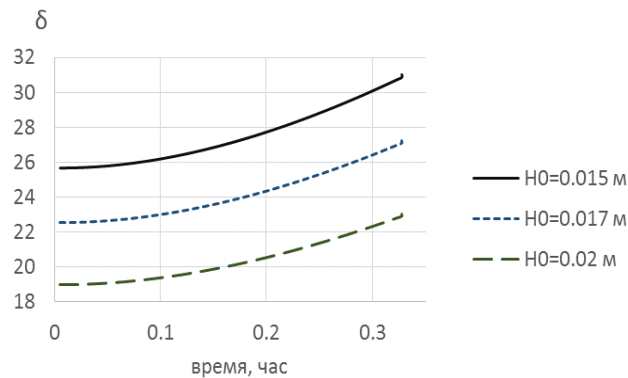


Рисунок 3 - Изменения скорости осаждения гель-частиц (грамм/литр) в порах фильтра при различных значениях толщины фильтра.

Проведенные вычислительные эксперименты на ЭВМ в зависимости от параметров λ, γ показали, что на второй стадии фильтрования изменение концентрации в порах фильтра также зависит от начальной скорости фильтрования смеси (рис.4), а скорости осаждения гель-частиц в порах фильтра умеренно растет со временем.

Вычислительным экспериментом установлено (рис.5), что распределение объемной концентрации смеси в порах фильтра тоже будет расти как при первой стадии фильтрования. А увеличения концентрации в порах фильтра на второй стадии фильтрования умеренно растет со временем.

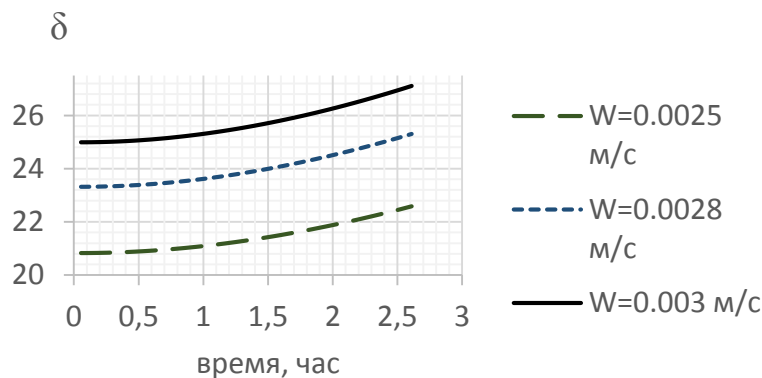


Рисунок 4 - Изменения скорости осаждения гель-частиц (грамм/литр) в порах фильтра на второй стадии фильтрования.

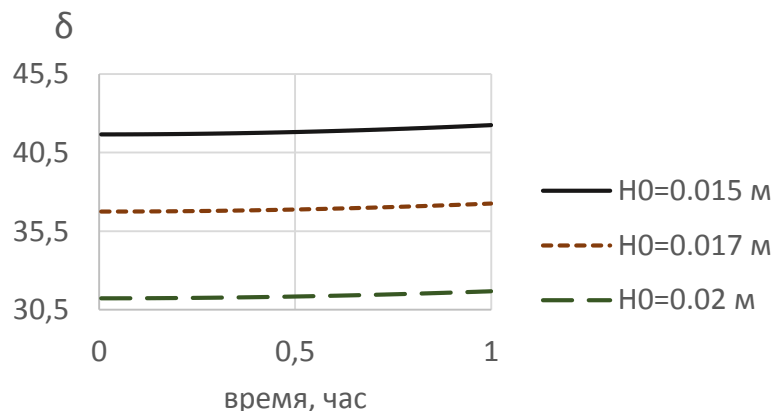


Рисунок 5 - Изменения скорости осаждения гель-частиц (грамм/литр) в порах фильтра при различных значениях толщины фильтра на второй стадии фильтрования.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 3.860	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

Выводы.

На основе решения обратной задачи фильтрования определены кинематический коэффициент и параметр фильтрования λ , γ не проводя лабораторные эксперименты.

По достоверным параметрам процесса фильтрования переопределены основные переменные, описывающие процесс фильтрования: скорость осаждения гель-частиц в порах фильтровальной перегородки, рост изменения гидродинамического давления,

образовавшегося внутри фильтровальной колонки фильтра, зависимости концентрации в порах фильтра от начальной скорости движущейся смеси на первой и второй стадиях процесса фильтрования.

По вычисленным параметрам процесса на основе проведенного вычислительного эксперимента установлено, что распределение объемной концентрации смеси в порах фильтра будет расти как при первой, так и при второй стадиях фильтрования.

References:

1. Lucas S, Calvo MP, Palencia C, Alonso E, Cocero MJ (2007) Mathematical model of supercritical CO₂ adsorption on activated carbon applied to adsorption scale-up // The Journal of Supercritical Fluids. Volume 40. Issue 3. p.331-354.
2. Carlos Andre V. Burkert, Geraldo N.O. Barbosa, Marcio A. Mazutti., Francisco Maugeri (2011) Mathematical modeling and experimental breakthrough curves of cephalosporin C adsorption in a fixed-bed column // Process Biochemistry. № 46. p.1270–1277.
3. Suresh Gupta, Babu BV (2010) Experimental Investigations and Theoretical Modeling Aspects in Column Studies for Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Activated Tamarind Seeds // J. Water Resource and Protection. 2010, № 2. p. 706-716. doi:10.4236/jwarp.2010.28081.
4. Soos M, Rajniak P, Zajdlík R (2000) Mathematical and Experimental Modelling of Sorption Processes in a Fixed Bed Adsorber // Chemistry Papers. 2000. №54 (6b). p.489-495
5. Gureev AO, Pikulin YG (2014) Aprobasiya matematicheskoy modeli absorbsii dioksida ugleroda dlya raschyota nagruzki po jdkosti // Internet-jurnal «NAUKOVEDENIE» Vipusk 2. mart – april 2014.
6. Dudakov VP (2010) Matematicheskaya model prosessa adsorbsii // Vestnik TGU, t.15, vip.6, 2010. p.1890-1892.
7. Dudakov VP, Shlikov DM (2008) Matematicheskaya model prosessa adsorbsii na granise razdela faz tverdoe telo – gaz // Vestnik TGU. 2008. Tom 13, Vipusk 4. p. 281-283.
8. Kolodnikov IA, Kladiev SN, Krivopustov SI (2010) Ochistka rastvorov uransoderzhahix soedineniy ot mexanicheskix primesey metodom sentrifugirovaniya // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. 2010. T. 317. № 2. p.50-54.
9. Matveykin VG, Putin SB, Skvorsov SA, Tolstoshein SS (2010) Matematicheskoe modelirovanie prosessa adsorbsii uglekislogo gaza // Vestnik TGTU. 2010. Tom 16. № 3. p.603-609.
10. Abutaliev FB, Raximov MY (1976) Ob uravnenie ionoobmennaya filtrovaniya i metodax ix resheniya // Voprosi vichislitelniy i prikladnoy matematiki. 1976. № 40. p. 94-56.
11. Raximov MY (1977) K chislennoy resheniyu odnomernoy zadachi ionoobmennogo filtrovaniya // Voprosi vichislitelniy i prikladnoy matematiki. 1977. №46. p. 117-129
12. Fedotkin IM, Kril SI, Borshevskaya LI (1972) Razdeleniya suspenzii i giperfiltrirovanie // Kiev «Texnika». 1972. 156 p.
13. Shevtman YM (1961) Filtrasiya malokonsentrirovannix suspenzii // Izdatelstva Moskva. 363 p.
14. Raximov MY (1977) Ionoobmennaya filtrovanie malokonsentrirovanno`x suspenziy // Vopros` vo`chislitelno`y i prikladnoy matematiki. № 45. p. 101-111.
15. Tixonov AN, Arsenin VY (1974) Metodo` resheniya nekorrektnix zadach // Moskva, «NAUKA». 286 p.
16. Abutaliev FB, Veysman BK (1976) K chislennoy resheniyu obratnix zadach na EVM // Tashkent, izdatelstva «Fan». 226 p.
17. Guter RS, Ovchinnikov BV (1970) Elemento` chislennoy analiza i matematicheskoy obrabotki rezultatov opita // izdatelstvo «Nauka». 432 p.
18. Palvanov BY (2016) Kompyuternaya model I vichislitelniy eksperiment dlya issledovaniya protsessa mnogokratnogo ionoobmenogo filtrovaniya suspenziy // Problemi vichislitelnoy i prikladnoy matematiki Nuchniyi jurnal. № 4. p. 48-63.

