

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 0.234
ESJI (KZ) = 1.042
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260

SOI: [1.1/TAS](http://dx.doi.org/10.15863/TAS) DOI: [10.15863/TAS](http://dx.doi.org/10.15863/TAS)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

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

Year: 2016 Issue: 9 Volume: 41

Published: 30.09.2016 <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

Barno Elmurodova

Senior Lecturer, Karshi branch office of the Tashkent
University of Information Technologies, Karshi,
Uzbekistan

SECTION 2. Applied mathematics. Mathematical modeling.

COMPUTER MODELLING OF PROBLEMS FILTERING LOW- CONCENTRATION SUSPENSIONS

Abstract: The paper presents a mathematical model and a numerical method for solving the problem of the technological process of filtering low-concentration suspensions to determine the ranges of change of ionexchange filter parameters, and the results of computational experiments.

Key words: Mathematical model, numerical method, filtration, concentration, filter.

Language: English

Citation: Ravshanov N, Palvanov BY, Elmurodova B (2016) COMPUTER MODELLING OF PROBLEMS FILTERING LOW-CONCENTRATION SUSPENSIONS. ISJ Theoretical & Applied Science, 09 (41): 101-110.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-09-41-15> **Doi:**  <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.09.41.15>

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРОВАНИЯ МАЛОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ

Аннотация: В статье приведены математическая модель, численный метод решения задачи технологического процесса фильтрации малоконцентрированных суспензий для определения диапазонов изменения параметров ионообменного фильтра, а также результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: Математическая модель, численный метод, фильтрация, концентрация, фильтр.

Актуальность работы. Сточные воды предприятий химической, машиностроительной и других отраслей промышленности содержат в своём составе токсичные ионы тяжёлых металлов, которые при попадании в водоёмы пагубно воздействуют на окружающую флору и фауну, а также оказывают токсикологическое воздействие при попадании в организм человека.

Для защиты сточных и водозаборов подземных вод от источников загрязнения, выбрасываемых промышленными объектами, необходимо разработать эффективные методы, технические средства и технологии на основе проведенного комплексного исследования процесса в целом. В технологии очистки жидких ионизированных промышленных выбросов обычно применяются фильтры с ионитными фильтровальными перегородками. Такая технология также широко применяется при подготовке питьевой воды, переработке

продуктов питания, обработке сырья общественного назначения и т.д.

Как следует из анализа проведенных НИР по данной проблеме, одними из эффективных методов для проведения комплексного исследования и принятия решений по процессу фильтрации ионизированных жидкостей являются компьютерное моделирование и проведение вычислительных экспериментов (ВЭ) на ЭВМ при широком изменении режимов работы фильтра, физико-химических свойств раствора и технических характеристик фильтровального агрегата.

В данной статье рассматриваются разработка адекватной математической модели, численного алгоритма и методы вычислений. Для анализа функционирования технологического процесса фильтрации суспензии проведена серия ВЭ на ЭВМ.

Так как процесс фильтрации - один из основных этапов при приготовлении продуктов и



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) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

сырья в пищевой, фармацевтической, горно-металлургической, нефтеперерабатывающей и т.д. промышленности, качество и количество выходной продукции зависит от правильного выбора режимов работы фильтрующих агрегатов.

В последние годы по технологиям сепарирования, сортирования, фильтрования как сыпучих, так и жидких, а также ионизированных растворов получены значительные результаты практического и теоретического характера.

В частности, в работе [1, с.260] модель баланса популяции была сформирована для перевозки частиц суспензий в пористых средах. Уравнения для частиц и распределения размера пор были выведены из стохастического уравнения «Master». Модель учитывает уменьшение потока частиц за счет ограничений для крупных частиц для перемещения через небольшие поры. Аналитическое решение для малоцентрированных частиц получено для основных частиц и распределения размера пор. Среденные уравнения существенно отличаются от традиционных глубокой фильтрационной моделью пласта.

В работе [2, с.79-81] предложена феноменологическая модель глубоководной инфильтрации. Предложенная математическая модель комбинируется с уравнением адъективной дисперсии и нелинейным уравнением кинетики рассматриваемого технологического процесса. Модель включает дисперсии и составляет пространственные и временные изменения в пористой среде. Предполагается, что в любом месте внутри колонны депозит фильтра формируется как необратимый налив слоя с последующим образованием обратимого депозита на рабочем этапе. Последнее продолжается до тех пор, пока депозит локально не достигнет своего максимального значения. Затем с помощью фильтра происходит прорыв. Уравнения решаются численно с использованием явной конечно-разностной схемы. Полученные результаты сопоставлены с натурными экспериментами на установках «ЕРА», выполненными израильской водной компанией «Mekorot».

В работе [3, с.70] описываются эксперименты фильтрации для углеродной нанотрубки через фильтр экрана. В работе также приводится математическая модель для имитации экспериментов фильтрации углеродной нанотрубки и рассматриваются универсальный анализатор наночастиц, а также результаты, имеющие отношение к несферическим аэрозольным частицам.

В работе [4, с.413-415] приводится двумерная переходная математическая модель, представляющая поведение глубокопластной фильтрации для алюминия. Уравнения расхода и

массы фракции решены с использованием программного комплекса CFX. Модель учитывает все основные физические процессы, происходящие при инфильтрации. Также в работе на каждом временном шаге модели вычисляют концентрации включений, остающихся в жидкости и оседающие в порах фильтровальной перегородки. Разработанные математическая модель и ее программное обеспечение были применены для различных промышленных геометрий фильтровальных агрегатов. Для доказательства математической модели полученные результаты сравнивались с имеющимися экспериментальными заводскими данными и исследовано влияние различных параметров модели на показатели фильтрационного процесса.

В работе [5, с.2777] исследованы сложные механизмы осаждения частиц в свече-фильтре. С целью изучения процесса фильтрования и его моделирования проведены фильтрационные эксперименты с подходящей частицей масляной суспензии в экспериментальном фильтре. В то время как некоторая глубина фильтрации происходит в начале срока службы свечи фильтра, блокирование и киек-слой фильтрации являются основными механизмами, ответственными за засорение фильтра.

В работе [6, с.3] представлены и решены вопросы учета обратного влияния технологических характеристик процесса (концентрации загрязнения жидкости и осадка) и характеристик среды (коэффициентов пористости, фильтрации, диффузии, массообмена и др.) на примере очистки жидкости в магнитных и сорбционных фильтрах. Представлен алгоритм численно-асимптотического приближенного решения соответствующих задач модели, которые описываются системой нелинейных сингулярных дифференциальных уравнений типа «Конвекция-диффузия-массообмен».

В работе [7, с.114-116] исследованы адсорбционные удаления катионных поверхностно-активных веществ из воды с помощью гидрофобного полимера адсорбента. Равновесие и кинетика хлорида-бензалкония адсорбции на Amberlite XAD-16 изучены в периодическом адсорбере. Эксперименты по адсорбции с неподвижным слоем катализатора использованы для определения динамической нагрузочной способности адсорбента.

В работе [8, с.114] рассматривается движение жидкостей, содержащих взвешенные частицы, в пористых средах. Представлена математическая модель взаимодействия монодисперсной взвеси с поровой структурой. Исследованы изменения параметров среды и потока в условиях равновесных режимов.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

В работе [9, с.133] анализируются уравнения, описывающие течения слабосжимаемой жидкости в слабдеформируемом пористом скелете при нелинейном законе фильтрации с предельным (начальным) градиентом давления.

Работа [10, с.46] посвящена построению общего решения нелинейной системы уравнений, описывающей одномерные течения малоцентрированной суспензии в пористой среде с учетом оседания частиц. В работе указан ряд решений, выражающихся в элементарных функциях. Проанализированы условия образования нефизических особенностей.

В работе [11, с.106] рассмотрены теоретические основы очистки малоцентрированных суспензий методом фильтрования, имеющие широкое применение в технологии очистки воды питьевого назначения. Практическим приложением теоретических основ фильтрования является метод технологического моделирования процесса для решения задачи улучшения работы фильтровальных сооружений на водоочистной станции г. Астаны. Приведены результаты исследований на модульной фильтровальной установке по определению некоторых технологических параметров.

В работе [12, с.145] рассматривается задача фильтрации двухчастичной суспензии через пористую среду. Предлагается модель, основанная на законах сохранения массы для частиц и для жидкости, а также локальных законах захвата частиц, описываемых кинетическими уравнениями. В отличие от известной модели для однотипных частиц, данная модель позволяет учесть различия в физических свойствах частиц (например, их размер). Проведенное исследование показывает, что новая модель воспроизводит экспериментальные данные, которые ранее не удалось воспроизвести в рамках традиционной одночастичной модели.

В работе [13] исследован процесс разделения неоднородных жидких сред при изменении конструктивных параметров ротора центрифуги и технологических факторов центробежного разделения суспензий, содержащих тонкодисперсную твердую фазу. Рассмотрено осаждение твердой фазы в роторе центрифуги, проведена сравнительная оценка эффективности разработанных центрифуг с учетом полученных результатов исследования процессов разделения малоцентрированных суспензий продуктов переработки целлюлозы, изучено влияние технологических и

конструктивных параметров ротора центрифуги на эффективность разделения суспензий.

В работе [14, с.49] рассмотрены способы учета обратного влияния характеристик процесса (концентрации загрязнения жидкости и осадка) на характеристики среды (коэффициенты пористости, фильтрации, диффузии, массообмена и др.) на примере очистки жидкости от многокомпонентных загрязнений магнитными и сорбционными фильтрами. Предложен алгоритм численно-асимптотического приближения решения соответствующей модельной задачи, описываемой системой нелинейных сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений типа «конвекция-диффузия-массообмен». Приведены результаты компьютерного эксперимента.

Анализ проведенных исследований показал, что при фильтровании смеси происходит закупоривание пор фильтровальной перегородки фильтра, вследствие чего растет гидравлическое давление на поверхности фильтра и происходит деформация слоя осадка и перегородки фильтра.

Для учета влияния этих факторов на технологию фильтрования суспензии необходимо моделировать процесс, провести ВЭ на ЭВМ и определить режим работы и время переключения фильтра, а также диапазоны изменения основных параметров фильтровального агрегата.

Постановка задачи. Для исследования указанного выше процесса предположим, что движение смесей происходит под действием постоянного перепада давления на участке фильтрации при переменном во времени расходе $q = q(t)$ (колматация каналов, водоемов, земляных плотин, а также явления суффозии из названных сооружений и др.) или под действием переменного во времени перепада давления на участке фильтрации при постоянном расходе $q = q_0$ (засорение фильтров, заиливание призабойной зоны нагнетательных скважин и др.) смеси. В этом случае предполагается, что пористая среда и суспензия таковы, что в процессе фильтрации последняя часть твердого вещества взвеси задерживается пористой средой, часть ранее осевших частиц срывается и попадает в фильтрационный поток и часть проносится фильтрационным потоком дальше рассматриваемого участка (рис. 1).

Рассмотрим единицу объема порового пространства в процессе фильтрации смеси. Также отметим, что насыщенностью называется количество вещества в единице объема порового пространства.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

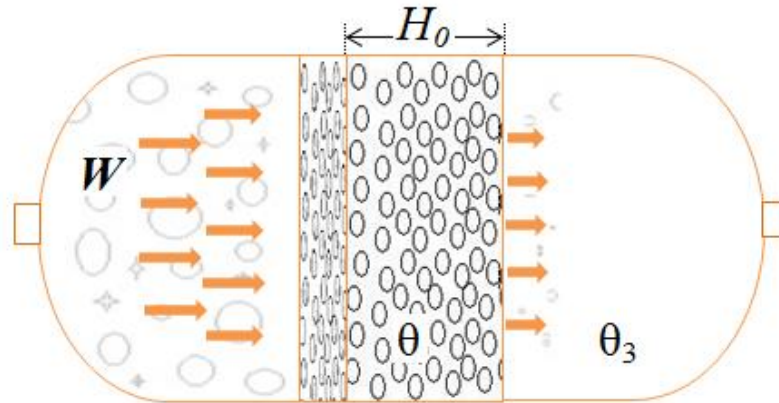


Рисунок 1 - Расчетная схема фильтрования суспензий

Из закона сохранения баланса, движения и сохранения масс имеем [15, с.26-31]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{W}{m} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{\partial \alpha}{\partial t} + (1 - m_0) \frac{\partial \delta}{\partial t} = \mu_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (1)$$

$$\theta - \theta_3 = \frac{\alpha}{1 - \delta}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \lambda(\theta - \gamma\delta). \quad (3)$$

Уравнение (2) запишем следующим образом:

$$\alpha = (\theta - \theta_3)(1 - \delta),$$

и тогда получаем

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = -(\theta - \theta_3) \frac{\partial \delta}{\partial t} + (1 - \delta) \frac{\partial \theta}{\partial t} - (1 - \delta) \frac{\partial \theta_3}{\partial t}. \quad (4)$$

Подставляя уравнения (3) и (4) в (1), получаем

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{W}{m} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \lambda(\theta - \theta_3)(\theta - \gamma\delta) + (1 - \delta) \frac{\partial \theta}{\partial t} - \\ - (1 - \delta) \frac{\partial \theta_3}{\partial t} + \lambda(1 - m_0 - \theta + \theta_3)(\theta - \gamma\delta) = \mu_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \end{aligned}$$

или

$$(2 - \delta) \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{W}{m} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \lambda(1 - m_0 - \gamma\delta + \theta_3)\theta + \lambda\gamma\delta(1 - m_0 + \theta_3) + \lambda\theta^2 - (1 - \delta) \frac{\partial \theta_3}{\partial t} = \mu_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}.$$

Для упрощения вводим обозначения

$$\lambda_1 = \lambda(1 - m_0 - \gamma\delta + \theta_3), \quad \lambda_2 = \lambda\gamma\delta(1 - m_0 + \theta_3),$$

тогда получаем

$$(2 - \delta) \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{W}{m} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \lambda_1\theta + \lambda_2 + \lambda\theta^2 - (1 - \delta) \frac{\partial \theta_3}{\partial t} = \mu_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}.$$

С учетом сказанного выше реальная постановка задачи принимает следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (2-\delta)\frac{\partial\theta}{\partial t} + \frac{W}{m}\frac{\partial\theta}{\partial x} - \lambda_1\theta + \lambda_2 + \lambda\theta^2 - (1-\delta)\frac{\partial\theta_3}{\partial t} = \mu_0\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}, \\ \frac{\partial\delta}{\partial t} = \lambda(\theta - \gamma\delta), \\ \frac{d\theta_3}{dt} = \frac{1-\bar{\theta}}{2-\bar{\delta}}\frac{d\bar{\theta}}{dt} + \frac{1}{2-\bar{\delta}}\left[\lambda(\bar{\theta} - \gamma\bar{\delta})(1-\bar{\theta}) - \frac{\theta_0 W}{H_0(1-\theta_0)}\right] + \\ + \theta_3\left[\lambda(\bar{\theta} - \gamma\bar{\delta}) + \frac{W}{H_0(1-\theta_0)}\right]\frac{1}{2-\bar{\delta}(t)}, \end{array} \right. \quad (5)$$

где

$$\bar{\theta}(t) = \int_0^1 \theta(x,t) dx; \quad \bar{\delta}(t) = \int_0^1 \delta(x,t) dx.$$

Начальные и граничные условия для системы (5) имеют следующий вид [16, с. 359-360]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta(t,x) = \varphi_1(x), \quad \delta = 0, \quad \theta_3 = 0 \text{ при } t = 0, \\ \theta(t,0) = \theta_0 \text{ при } x = 0, \\ \theta(t,1) = \varphi_2(t) \text{ при } x = 1, \end{array} \right. \quad (6)$$

где

$$\varphi_1(x) = e^{-\lambda H_0 B x}, \quad \varphi_2(t) = \theta_0 \left(1 - A_1 B e^{-A_2 t} \int_0^1 I_0(2\sqrt{\alpha t}) dx \right),$$

$$B = m_0(1 - m_1) / q_0, \quad \alpha = A_1 A_2 B x.$$

Здесь θ - объемная концентрация взвешенного твердого вещества в движущейся смеси; θ_0 - начальная концентрация суспензий; δ - скорость осаждения частиц в поровом пространстве; W - скорость фильтрования; m - пористость фильтра; m_0 - начальная пористость фильтра; θ_3 - выходная концентрация смеси; W_0 - начальная скорость фильтрования; H_0 - толщина фильтровальной перегородки; m_1 - пористость осевшей массы; μ_0 - коэффициент искусственной вязкости; λ - кинетический коэффициент; A_1, A_2 - опытные параметры; q_0 - начальный единичный расход; γ -

удельный вес вещества; I_0 - функция Бесселя нулевого порядка.

Метод решения. Так как поставленная задача описывается нелинейными дифференциальными уравнениями частного производного второго порядка, получить аналитическое решение затруднительно. Поэтому поставленную задачу будем решать численным методом, основанным на конечно-разностной аппроксимации дифференциальных операторов на разностные. В итоге получаем систему алгебраических уравнений относительно искомых переменных [17, с.115-117, 18, с.50].

Для численного интегрирования задачи и обеспечения устойчивой и консервативной схемы воспользуемся неявной конечно-разностной схемой и получим следующее:

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

$$(2-\delta)\frac{\theta_i^{n+1}-\theta_i^n}{\tau} + \frac{W}{m}\frac{\theta_{i+1}^{n+1}-\theta_{i-1}^{n+1}}{h_x^2} - \lambda_{1i}\theta_i^{n+1} + \lambda_{2i} + \lambda(\theta_i^{n+1})^2 - (1-\delta_i)\frac{\partial\theta_3}{\partial t} =$$

$$= \mu_0 \frac{\theta_{i+1}^{n+1} - 2\theta_i^{n+1} + \theta_{i-1}^{n+1}}{h_x^2}. \quad (7)$$

Нелинейные члены в уравнении (7) линеаризуем следующим образом:

$$(\theta_i^{n+1})^2 = 2\theta_i^{n+1} \cdot \theta_i^{s-1} - (\theta_i^{s-1})^2$$

и получаем

$$(2-\delta)\frac{\theta_i^{n+1}-\theta_i^n}{\tau} + \frac{W}{m}\frac{\theta_{i+1}^{n+1}-\theta_{i-1}^{n+1}}{h_x^2} - \lambda_{1i}\theta_i^{n+1} + \lambda_{2i} +$$

$$+ 2\lambda\theta_i^{n+1} \cdot \theta_i^{s-1} - \lambda(\theta_i^{s-1})^2 - (1-\delta_i)\frac{\partial\theta_3}{\partial t} = \mu_0 \frac{\theta_{i+1}^{n+1} - 2\theta_i^{n+1} + \theta_{i-1}^{n+1}}{h_x^2},$$

или

$$(2-\delta)\frac{\theta_i^{n+1}-\theta_i^n}{\tau} + \frac{W}{m}\frac{\theta_{i+1}^{n+1}-\theta_{i-1}^{n+1}}{h_x^2} - (\lambda_{1i} - 2\lambda\theta_i^{s-1})\theta_i^{n+1} + \lambda_{2i} - \lambda_{3i} =$$

$$= \mu_0 \frac{\theta_{i+1}^{n+1} - 2\theta_i^{n+1} + \theta_{i-1}^{n+1}}{h_x^2}.$$

Здесь

$$\lambda_{1i} = \lambda(1 - m_0 - \gamma\delta_i + \theta_{3i}), \quad \lambda_{2i} = \lambda\gamma\delta_i(1 - m_0 + \theta_{3i}), \quad \lambda_{3i} = \lambda(\theta_i^{s-1})^2 + (1 - \delta_i)\frac{\partial\theta_3}{\partial t}.$$

Далее группируя члены уравнения (7), получаем

$$a_i\theta_{i+1} - b_i\theta_i + c_i\theta_{i-1} = -d_i, \quad (8)$$

где

$$a_i = \frac{\mu_0}{h_x^2} - \frac{W}{2mh_x}, \quad b_i = \frac{2\mu_0}{h_x^2} + \frac{2-\delta_i}{\tau} + \lambda_{1i}, \quad c_i = \frac{\mu_0}{h_x^2} + \frac{W}{2mh_x}, \quad d_i = \frac{(2-\delta_i)\theta_i^n}{\tau} - \lambda_{2i} + \lambda_{3i}.$$

Решение задачи (8) ищем в виде

$$\theta_i = A_i\theta_{i+1} + B_i,$$

где прогоночные коэффициенты определяются с помощью

$$A_i = \frac{a_i}{b_i - c_i A_{i-1}}, \quad B_i = \frac{a_i + c_i B_{i-1}}{b_i - c_i A_{i-1}}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1.$$

Прогоночные коэффициенты A_0, B_0 определяем из условия (6). В данном случае -

$A_0 = 0, B_0 = 1$. Решая уравнение (8), определяем концентрацию смеси на поверхности

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) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

фильтровальной перегородки фильтра. После определения концентрации на каждом временном слое будем вычислять скорости осаждения частиц δ в порах фильтра и выходную концентрацию θ_3 раствора.

Зная значения θ_3 и δ на каждом временном слое, вычислим изменения перепада давления с помощью уравнения движения жидкой фазы:

$$-\frac{1}{\rho H} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\mu H_0 W}{\rho H k_0 (1 - \delta)^2} - W \frac{d\theta_3}{dt},$$

или

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\mu H_0 W}{k_0 (1 - \delta)^2} + \rho H W \frac{d\theta_3}{dt} \quad (9)$$

при условии $p(0, t) = p_0$.

Здесь k_0 - коэффициент проницаемости; μ - вязкость жидкости; ρ - плотность жидкости; H - высота фильтровальной колонки, p - поверхностное давление внутри колонки фильтра.

При вычислении давления в формуле (9) вместо $d\theta_3 / dt$ подставляется правая часть третьего уравнения системы (5).

Результаты и выводы. По приведенному алгоритму произведен расчет очистки прядильных растворов от взвешенных частиц.

Расчеты проведены со следующими исходными данными:

$$\rho = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \mu = 0,994 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{сек}}; \quad k_0 = 0,0026 \text{ м}^2; \quad \lambda = 0,0027 \frac{1}{\text{сек}};$$

$$H = 1 \text{ м}; \quad \gamma = 0,008; \quad \delta_0 = 10^{-6}; \quad \theta_0 = 0,48 \cdot 10^{-5}.$$

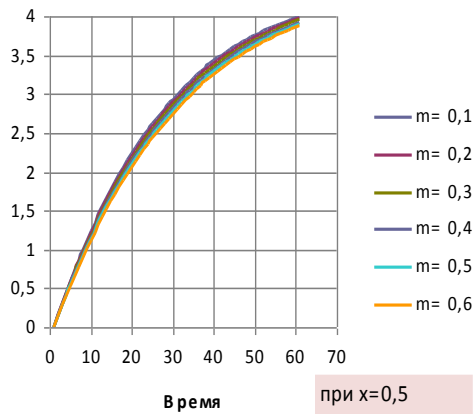
Согласно проведенным численным расчетам на ЭВМ (рис. 2), одним из существенных параметров при фильтровании суспензий является пористость фильтра. От значения пористости фильтра зависят скорости прохода суспензии и осаждения гель-частиц. Численные расчеты показали, что заполнение пор фильтра гель-частицами происходит в верхних слоях

фильтра, и под действием гидравлического поверхностного давления они перемещаются по глубине фильтровальной перегородки.

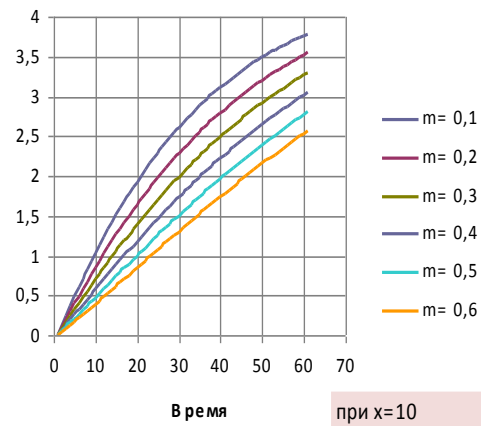
На рис. 2 приведены изменения концентрации движущейся смеси θ и концентрации осевших частиц в порах δ по толщине фильтра.

Impact Factor:

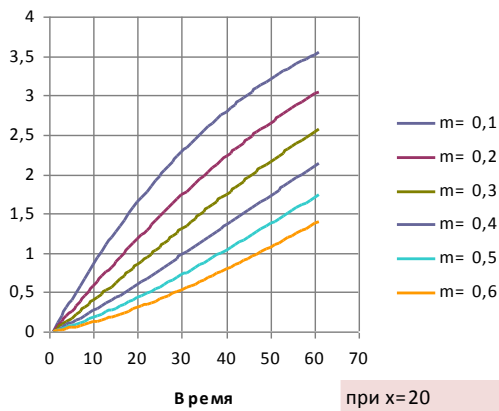
ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	



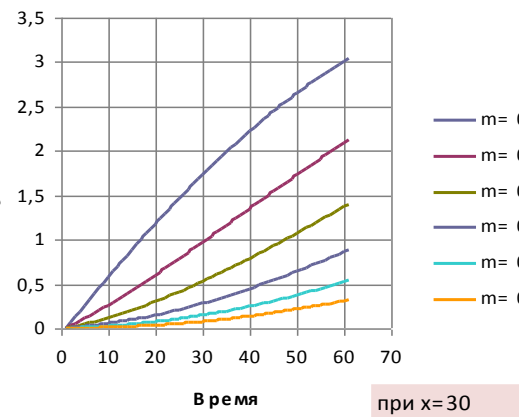
а)



б)



с)



д)

Рисунок 2 - Скорость осаждения частиц на поровых средах в зависимости от их пористости: а) при $x = 0.5$; б) при $x = 10$; с) при $x = 20$; д) при $x = 30$

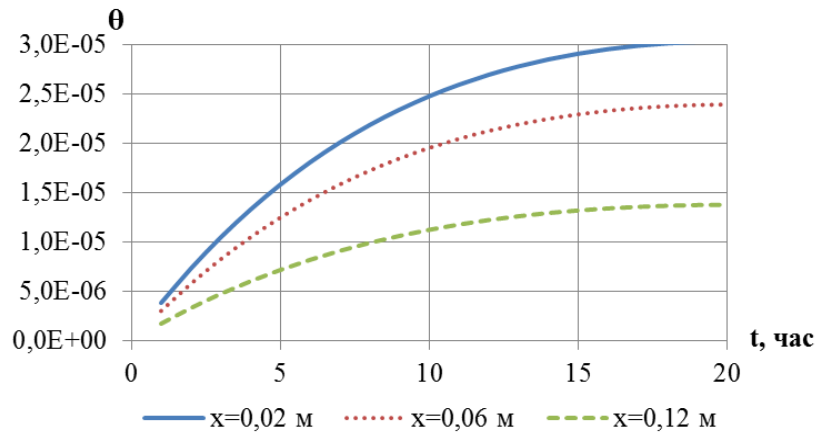


Рисунок 3 - Изменения концентрации в зависимости от времени и по толщине фильтра

Численные эксперименты показали, что на верхних слоях фильтра увеличение концентрации быстрее, чем на нижних слоях (рис. 3). Кроме того, концентрация в порах фильтра в начальном $t = 1-3$ ч времени по глубине пор фильтра

линейно уменьшается, при $t > 4$ ч уменьшение концентрации по глубине пор фильтра постепенно будет переходить на логарифмический закон (рис. 4).

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) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

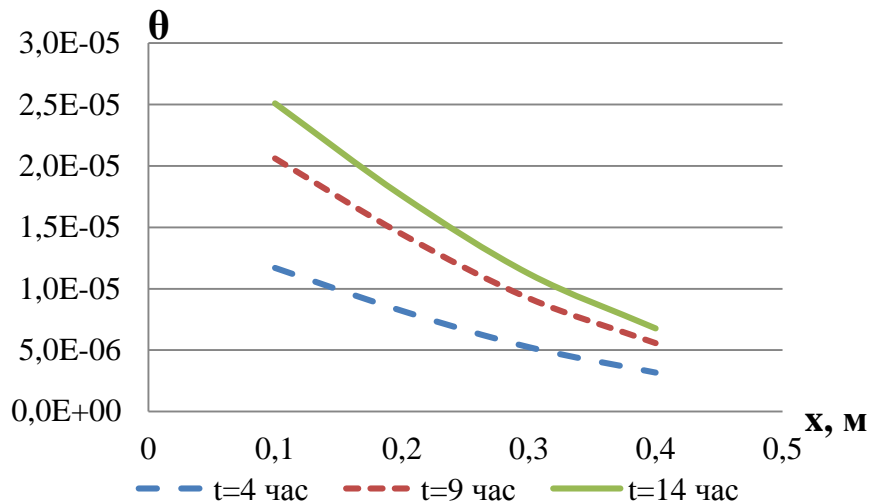


Рисунок 4 - Изменение концентрации при фиксированном значении времени в зависимости от толщины пор фильтра

Согласно основным параметрам технологического процесса фильтрации малоконцентрированных суспензий, существенную роль играет пористость фильтра.

Численные результаты показывают, что при увеличении пористости фильтра изменение концентрации уменьшается, это особенно заметно на нижнем слое фильтра (рис. 5).

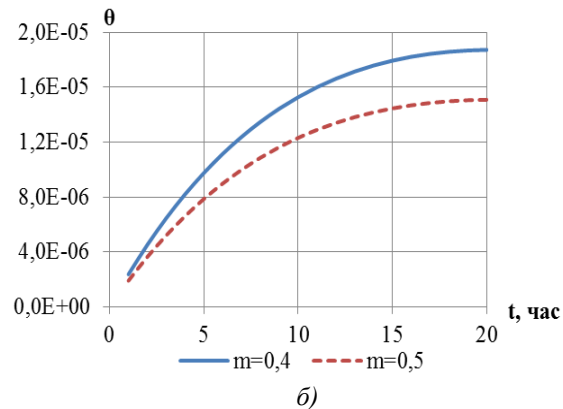
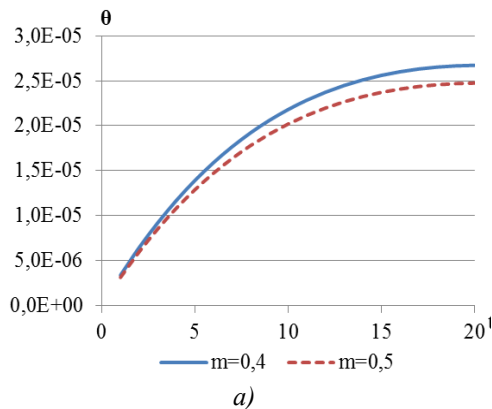


Рисунок 5 - Изменение концентрации при различных значениях пористости фильтра в зависимости от времени: а) при $x=10$ см, б) при $x=20$ см

Для вычисления отклика входных параметров на процесс и режим работы фильтра проведен ряд численных экспериментов для различных значений H_0 и W_0 . Так, для первой серии экспериментов, оставляя $W_0 = 0,0002 \text{ м/сек}$ без изменения, численные расчеты проведены при $H_0 = 0,2; 0,4; 0,5; 0,25; 0,35 \text{ м}$. Согласно проведенным численным расчетам на ЭВМ, с ростом толщины фильтровальной перегородки концентрация гель-частиц на поверхности фильтра будет расти экспоненциально. Особенно это заметно при $H_0 > 0,25 \text{ м}$.

Для второй серии экспериментов меняли значения

$W_0 = 0,0002; 0,0001; 0,0004; 0,0005$.

Полученные результаты показывают, что чем толще фильтр, тем качественнее фильтрат, однако для очистки одного и того же объема требуется больше времени, при этом давление в колонке растет по мере увеличения H_0 .

При увеличении скорости подачи суспензии в колонку агрегата удержание частиц в фильтровальной колонке уменьшается. Это объясняется тем, что если с одной стороны увеличение скорости приносит большое количество взвешенных частиц и способствует быстрому заполнению пор фильтра, с другой – создает дополнительную силу для срыва уже осевших частиц, и тем самым ухудшает качество отфильтрованной жидкости.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHHI (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

References:

1. Santos A, Bedrikovetsky P (2004) Size exclusion during particle suspension transport in porous media: stochastic and averaged equations //Computational and Applied Mathematics. - 2004. - Vol. 23, N. 2-3. - Pp. 259-284.
2. Gitisa Vitaly, et al. (2010) Deep-bed filtration model with multistage deposition kinetics // Chemical Engineering Journal. - 2010. - N 163. - Pp. 78-85.
3. Jing Wang, David YH Pui (2013) Dispersion and filtration of Carbon Nanotubes (cnt) and measurement of nanoparticle agglomerates in diesel exhaust //Chem Eng Sci. - 2013. - N-85. - Pp. 69-76. DOI:10.1016/j.ces.2011.12.045.
4. Duygu Kocaefe, Rung Tien Buia, Peter Waite (2009) 2D transient filtration model for aluminum //Applied Mathematical Modelling. - 2009. - N 33. - Pp. 4013-4030.
5. Fernandez XR, Rosenthal I, Anlauf H, Nirschl H (2011) Experimental and analytical modeling of the filtration mechanisms of a paper stack candle filter // Chemical Engineering Research and Design. - 2001. - Vol. 89, Issue 12. - Pp. 2776-2784. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2011.04.020>
6. Andrii Safonyk, Andrii Bomba (2015) Mathematical modeling process of liquid filtration taking into account reverse influence of process characteristics on medium characteristics //International Journal of Applied Mathematical Research. - 2015. - Vol. 4(1). - Pp. 1-7. DOI: 10.14419/ijamr.v4i1.3805.
7. Turku, I., Sainio, T (2009) Modeling of adsorptive removal of benzalkonium chloride from water with a polymeric adsorbent //Separation and Purification Technology. - 2009. - N 69. - Pp.185-194. DOI:10.1016/j.seppur.2009.07.017
8. Kapranov Yu I (2000). Izmeneniya porovoy strukturi v potoke monodispersnoy vzvesi //Prikladnaya mexanika i texnicheskaya fizika. - 2000. - T. 41, № 2. - pp. 113-121.
9. Leontev NE (2013) Ob opisani techeniy slabosjimaemoy jidkosti v poristix sredax pri nelineynom zakone filtratsii //Izv. RAN. Mexanika jidkosti i gaza. - 2013. - № 3. - pp. 132-137.
10. Leontev NE, Tatarenkova DA (2015) Tochnie resheniya nelineynix uravneniy techeniya suspenzii v poristoy srede //Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser.1. Matematika, Mexanika. - 2015. - № 3. - pp. 44-53.
11. Mirzaxmetov MM, Torubara VN, Nurkenov JE (2010) Texnologicheskoe modelirovanie protsessa filtrovaniya i ispolzovanie ego rezultatov v optimizatsii raboti filtrov //Vestnik Evraziyskogo natsionalnogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Ser. Estestvenno-texnicheskie nauki. - 2010. - Vip. 2(75). - pp. 106-112.
12. Golubev VI, Mixaylov DN (2011) Modelirovanie dinamiki filtratsii dvuxchastichnoy suspenzii cherez poristuyu sredu //TRUDI MFTI. - 2011. - T. 3, № 2. - pp. 143-147.
13. Svetlov SA., Volkov YuP. (2007) Razdelenie malokontsentririrovannykh suspenziy v osaditelnykh tsestrifugax //Elektronniy nauchniy jurnal «Polzunovskiy vestnik». - 2007. - №3. - pp. 1-8.
14. Bomba AY., Safonik AP (2012) Matematicheskoe modelirovanie protsessa filtrovaniya jidkosti ot mnogokomponentnogo zagryazneniya s uchetom obratnogo vliyaniya xarakteristik protsessa na xarakteristiki sredi //Elektronnoe modelirovanie. - 2012. - T. 34, № 3. - pp. 47-58.
15. Ravshanov N, Palvanov BYu (2016). Priblizhenno-analiticheskoe reshenie zadachi texnologicheskogo protsessa filtrovaniya rastvorov ot nejelatelnykh ionov //Elektronniy nauchniy jurnal «Issledovaniya texnicheskix nauk». - 2016. - Vip. 1(19). Yanvar-mart. - pp. 25-36.
16. Ravshanov N, Palvanov B, Ravshanov Z (2012) Computer model and computing experiment for technological process of multicomponent mixtures filtering study //European researcher. - 2012. - Vol. 19. № 4. - pp. 358-362.
17. Ravshanov N, Shermatova GU (2012) Computational experiment for the analysis of functioning of technological process of filtering of suspension //European researcher. - 2012. - № 2. - pp. 114-119.
18. Ravshanov N, Palvanov BYu, Islamov Yu (2015) Kompyuternaya model protsessa separirovaniya trudnorazdelyaemix sipuchix smesey tsestrobejnim separatorom //nauchniy jurnal «Problemi vichislitelnoy i prikladnoy matematiki». - 2015. - №1. -pp.46-54.

