

На правах рукописи



Глазев Дмитрий Юрьевич

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ТРУБЧАТЫХ МЕМБРАННЫХ ФИЛЬТРОВ
НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ ТУРБУЛИЗАЦИИ ПОТОКА

Специальность 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бийск – 2012

Работа выполнена в Бийском технологическом институте (филиале) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ) и открытом акционерном обществе «Федеральный научно-производственный центр «Алтай» (ОАО «ФНПЦ «Алтай»).

Научный руководитель	Куничан Владимир Александрович к.т.н., доцент, зав. кафедрой МАХиПП БТИ АлтГТУ
Официальные оппоненты:	Овчаренко Александр Григорьевич д.т.н., профессор, декан механического факультета БТИ АлтГТУ, Викторов Александр Анатольевич к.т.н., начальник бюро развития производства ФКП «БОЗ»
Ведущая организация	Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН

Защита состоится 29 мая 2012 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.08 в Бийском технологическом институте (филиале) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бийского технологического института (филиале) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Автореферат разослан 28 апреля 2012 г.

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета



Верещагин А.Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последнее время мембранные методы разделения стали достаточно распространены. Это связано в первую очередь с созданием новых технологий и материалов. Мембранные методы широко используются во многих отраслях промышленности при концентрировании и очистке различных нано- и ультрадисперсных систем.

Наиболее эффективным и экономически выгодным мембранным методом разделения суспензий наноматериалов является тангенциальная фильтрация в трубчатых фильтрах, которые перед другими типами фильтров имеют ряд существенных преимуществ: отсутствие застойных зон, высокая селективность по отношению к извлекаемому компоненту, возможность промывки фильтра без разборки аппарата, низкая энергоемкость, компактность и простота аппаратурного оформления.

Наряду с преимуществами существуют и недостатки – ввиду постоянного нарастания осадка производительность трубчатых мембранных фильтров резко снижается, вплоть до выхода фильтров из строя. Одним из путей повышения производительности является искусственная турбулизация потока с помощью встраиваемых устройств. Реализация этого подхода требует разработки методов расчета и проектирования трубчатых мембранных аппаратов с турбулизирующими устройствами, а так же поиска оптимальных конструктивных решений и определения условий проведения процессов в них, отвечающих решению тех или иных технологических проблем.

Исследования в области мембранной фильтрации водных растворов окисленных декстранов проводились в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» по государственному контракту № 16.522.12.2001 «Разработка технологии и создание опытного производства окисленных декстранов».

Цель исследования. Повышение производительности трубчатых мембранных фильтров с помощью искусственной турбулизации потока применительно к процессу разделения наносистем.

В связи с этим, задачами исследования являются:

- разработка математического описания фильтрации суспензий наноматериалов на трубчатом мембранном фильтре с турбулизирующей вставкой;
- экспериментальное исследование работы трубчатого мембранного фильтра с турбулизирующей вставкой при разделении суспензий наноматериалов и проверка адекватности математического описания;
- разработка инженерной методики расчета трубчатых мембранных фильтров с турбулизирующей вставкой для процесса мембранной фильтрации и проверка ее применимости при разработке опытно-промышленной установки.

Объект, предмет и методы исследования. Объектом исследования является трубчатый мембранный фильтр, в полость которого встроена турбулизирующая вставка. Предметом исследования являются основные закономерности

процесса фильтрации в трубчатом мембранном элементе с турбулизирующей вставкой.

Научная новизна:

– разработано математическое описание процесса фильтрации суспензий наноматериалов на трубчатых мембранных фильтрах с турбулизирующей вставкой в виде дисков, где впервые применено модельное представление о массообменном механизме размывания фильтруемого осадка наночастиц полуограниченной затопленной струей;

– показана эффективность искусственной турбулизации потока с помощью дисковых турбулизаторов при фильтрации суспензий наноматериалов в трубчатом мембранном фильтре в диапазоне размеров частиц до 500 нм, заключающаяся в повышении производительности до 3,5 раз и увеличении предела концентрирования до 2 раз.

Практическая значимость:

– разработана методика расчета трубчатых мембранных фильтров, в канал которых встроена турбулизирующая вставка в виде дисков;

– выбрана эффективная конструкция турбулизирующей вставки для трубчатого мембранного фильтра;

– определены фильтрационные свойства осадка и коэффициент диффузии наноалмазов (продукта УДА-В-ГО ОАО «ФНПЦ «Алтай»);

– повышена эффективность работы трубчатого мембранного фильтра в производстве наноалмазов и на стадии очистки раствора окисленного декстрана в ОАО «ФНПЦ «Алтай»;

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы и основные ее результаты обсуждались на научно-технических конференциях «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности» (Бийск, 15–16 мая 2008, 14–15 мая 2009, 28–30 апреля 2010 гг.), «Инновационные технологии: производство, экономика, образование» (Бийск, 24 сентября 2009 г.), «Пищевые продукты и здоровье человека» (Кемерово, 27 апреля 2010 г.), научно-технической конференции с международным участием «Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы: получение, свойства, применение» (Красноярск, 15–16 октября 2009 г.), международной конференции «Физико-химические основы ионообменных процессов ИОНИТЫ – 2010» (Воронеж, 20–22 сентября 2010 г.).

На защиту выносятся:

– математическое описание процесса фильтрации наносистем на трубчатых мембранных фильтрах, снабженных турбулизирующей вставкой;

– инженерная методика расчета трубчатых мембранных фильтров, снабженных турбулизирующей вставкой;

– результаты экспериментальных исследований закономерностей процесса фильтрации наносистем на трубчатых мембранных фильтрах, снабженных турбулизирующей вставкой.

Публикации. По материалам выполненных в диссертации исследований

опубликовано 9 печатных работ, в том числе 1 работа опубликована в ведущем рецензируемом научном журнале.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 113 наименований, приложения и содержит 100 страниц машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, задачи работы и основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость работы.

В **первой главе** изложены теоретические основы мембранных методов разделения гетерогенных систем, рассмотрена структура потока в трубчатых фильтрах, указаны факторы, влияющие на производительность, приведены методы очистки мембран от загрязнений. Проведено сравнение известных конструкций турбулизирующих устройств для трубчатых фильтров и теплообменников. Ввиду того, что турбулизаторы в виде дисков, позволяют повысить теплоотдачу, имеют простую конструкцию и достаточно просты в изготовлении, был сделан выбор в их пользу. При рассмотрении областей применения трубчатых мембранных фильтров выявлено, что существует проблема загрязнения мембран при фильтрации гидрозолей наноалмазов и суспензии диоксида марганца. Формулируются цель и задачи исследований.

В **главе 2** рассмотрены закономерности процесса фильтрации на трубчатом мембранном фильтре. В фильтре для предотвращения нарастания слоя осадка используются встраиваемые турбулизирующие вставки, которые состоят из дисков, насаженных на стержень с фиксированным шагом (рисунок 1). Трубчатый фильтр характеризуется внутренним диаметром D_0 . В него встроена вставка с дисковым турбулизатором наружным диаметром D_H , расстояние между смежными дисками L . Диаметр стержня турбулизатора – d_c .

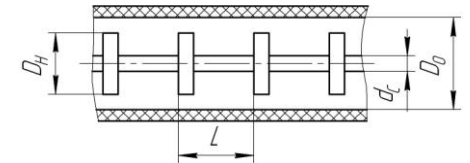


Рисунок 1 – Фрагмент трубчатого фильтра с дисковым турбулизатором

Исходя из свойств частиц, особенностей фильтров и предварительных экспериментов, был сделан ряд допущений:

- частицы осадка монодисперсны;
- слой осадка несжимаем;
- объемный расход прокачиваемой жидкости постоянен по длине фильтра;
- концентрация частиц в потоке на всей длине фильтра не меняется;
- частицы можно рассматривать как большие молекулы;
- процесс фильтрации является квазистационарным.

Для описания процесса фильтрации на фильтре с турбулизатором было использовано модельное представление о распространении полуограниченной

затопленной струи. Плоская турбулентная струя, бьющая из-под диска турбулизатора, распространяется вдоль стенки фильтра, постепенно расширяясь. При этом слой осадка поддается сдвигу по двум механизмам:

- сдвиг осадка потоком жидкой фазы, обеспечивающий прекращение действия сил адгезии и делающий осадок доступным для размывания;
- размывание осадка как процесс массообмена, происходящий за счет турбулентной диффузии.

В первом случае осадок, образующийся на поверхности фильтра, имеет определенную структуру, при которой частицы неподвижны и сцеплены друг с другом. Смыв плотного осадка происходит послойно за счет действия тангенциального напряжения τ , создаваемого потоком, начиная с верхнего слоя. На каждый слой толщиной в одну частицу диаметром $d_{\text{ч}}$ (монослой) действует перепад давлений

$$\Delta P_{MC} = \frac{\Delta P_{oc}}{H} d_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где ΔP_{MC} – перепад давлений на монослой, Па; ΔP_{oc} – перепад давлений на слое осадка, Па; H – высота слоя осадка, м.

Если напряжение жидкостного трения τ_{mp} больше напряжения трения покоя, то начнется сдвиг осадка. Условие сдвига осадка потоком жидкости

$$\tau_{mp} > \frac{\Delta P_{oc}}{H} d_{\text{ч}} K_{TP}, \quad (2)$$

где K_{TP} – коэффициент трения.

Касательное напряжение трения внутри слоя по сечению принято постоянным, при этом на внешней границе слоя, где имеет место максимум скорости оно равно нулю, для чисел Рейнольдса $Re_a < 10^7$

$$\tau_{w(x)} = \frac{0,1944 \rho \nu^{0,2} u_a^{1,8} a^{0,8}}{x}, \quad (3)$$

где ρ – плотность среды, кг/м³; ν – кинематическая вязкость среды, м²/с; u_a – средняя скорость истечения струи из-под диска турбулизатора, м/с; a – расстояние между стенкой и диском турбулизатора, м; x – расстояние от диска турбулизатора до сечения с координатой x , м.

Максимально устойчивая высота осадка, выше которой происходит сдвиг за счет вязкого трения

$$H_{\text{МУТ}(x)} = \frac{\Delta P_{oc}}{\tau_{w(x)}} d_{\text{ч}} K_{TP}. \quad (4)$$

Второй случай. Скорость образования осадка определяется скоростью фильтрации и концентрацией потока. Скорость уменьшения толщины осадка, за счет диффузионного размыва турбулентными пульсациями, можно рассматривать как процесс массообмена. Условие равновесия описывается равенством скоростей образования и размывания осадка

$$W_{\text{ФРТ}(x)} C = K_{\text{МТ}(x)} \rho_{oc}, \quad (5)$$

где $W_{\text{ФРТ}(x)}$ – равновесная скорость фильтрации, м/с; C – концентрация дисперсной фазы, кг/м³; $K_{\text{МТ}(x)}$ – коэффициент массоотдачи, м/с; ρ_{oc} – плотность осадка, кг/м³.

Высота слоя осадка рассчитывается по уравнению

$$H_{OT(x)} = \frac{\frac{\Delta P}{W_{ФТ(x)}} - \mu R_{\Phi}}{\mu r_{oc}}, \quad (6)$$

где ΔP – перепад давлений между потоком внутри фильтра и окружающей средой, Па; μ – динамическая вязкость среды в фильтре, Пас; R_{Φ} – сопротивление фильтра, м⁻¹; r_{oc} – удельное сопротивление осадка, м⁻².

Критериальное уравнение Нуссельта Nu_c для расчета массообмена в пристенной струе позволяет найти коэффициент массоотдачи для фильтрации на фильтре с турбулизатором на расстоянии x от диска при $Re_a < 10^7$ и $Pr_D > 1$

$$Nu_c = 0,1197 \left(\frac{u_a x}{\nu} \right)^{0,8} X^{-0,4} Pr_D^{0,4}, \quad (7)$$

где X – отношение расстояния от диска турбулизатора до сечения x к расстоянию между стенкой и диском a ; Pr_D – диффузионное число Прандтля, характеризующее соотношение между интенсивностями молекулярного переноса количества движения и переноса массы примеси диффузией.

$$Nu_c = \frac{K_{MT(x)} x}{D_M}, \quad (8)$$

где D_M – коэффициент диффузии, м²/с.

$$Pr_D = \frac{\nu}{D_M}. \quad (9)$$

Так как наночастицы дисперсной фазы при определенных условиях не осаждаются в воде, то можно считать, что они подвержены броуновскому движению, и их можно рассматривать как крупные молекулы. Тогда коэффициент диффузии можно рассчитать по методу Уилки-Чанга

$$D_M = 7,4 \cdot 10^{-8} \frac{\sqrt{\Phi M_B T}}{\mu_B V_A^{0,6}}, \quad (10)$$

где Φ – параметр ассоциации растворителя (для воды $\Phi = 2,6$); M_B – молекулярная масса растворителя, г/моль; T – температура, К; μ_B – динамическая вязкость растворителя, сП; V_A – мольный объем растворенного вещества, см³/моль.

Скорость фильтрации на расстоянии x от диска

$$W_{ФТ(x)} = \frac{\Delta P}{\mu (R_{\Phi} + H_{var(x)} r_{oc})}, \quad (11)$$

где $H_{var(x)}$ – переменная высота слоя осадка, которая не может быть меньше максимально устойчивой, зависит от условия: если при расчете по формуле (6) $H_{OT(x)} \geq H_{МУТ(x)}$, то в формуле (11) $H_{var(x)} = H_{OT(x)}$, а если $H_{OT(x)} < H_{МУТ(x)}$, то $H_{var(x)} = H_{МУТ(x)}$.

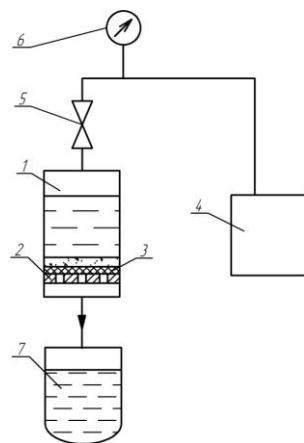
Средняя скорость фильтрации между соседними дисками турбулизатора

$$W_{ФТср} = \frac{1}{L} \int_0^L W_{ФТ(x)} dx. \quad (12)$$

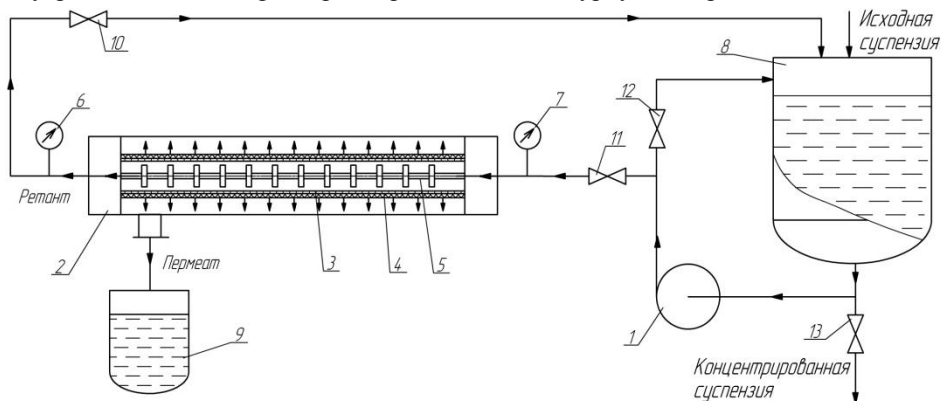
Так как средняя скорость фильтрации на одном участке L между соседними дисками турбулизатора равна средним скоростям на остальных таких же участках, то она будет равна средней скорости фильтрации на всем фильтре. Система уравнений (1) – (12) представляет математическое описание процесса фильтрации наносистем на трубчатых мембранных фильтрах с турбулизирующей вставкой.

В главе 3 описано проведение экспериментальных исследований по фильтрации наносистем, необходимых для нахождения параметров, входящих в математическое описание: удельного сопротивления и плотности осадка. Проверена правильность предложенного математического описания процесса фильтрации.

Для определения свойств осадка разработана лабораторная установка (рисунок 2) с поверхностью фильтрации $7,06 \text{ см}^2$. Для изучения работы трубчатых мембранных фильтров разработана лабораторная фильтрационная установка с трубчатыми мембранными элементами (рисунок 3). Основным рабочим органом является трубчатый ультрафильтр (ЗАО НТЦ Владипор), поверхностью фильтрации $0,035 \text{ м}^2$, длиной 1 м, диаметром 0,013 м. Во внутреннюю полость фильтра встроен дисковый турбулизатор.



1 – друк-фильтр; 2 – ложное дно; 3 – мембрана; 4 – компрессор; 5 – кран; 6 – манометр; 7 – мерный стакан
Рисунок 2 – Схема установки для определения свойств осадков



1 – центробежный насос; 2 – трубчатый ультрафильтр; 3 – дренажный каркас; 4 – мембрана; 5 – турбулизатор; 6, 7 – манометры; 8 – емкость для исходной суспензии; 9 – емкость для фильтрата; 10, 11, 12, 13 – шаровые краны
Рисунок 3 – Схема лабораторной ультрафильтрационной установки

Для проведения экспериментов использовались: гидрозоли наноалмазов со средним размером частиц и агрегатов частиц 150 нм, pH среды – 6–6,5; суспензия диоксида марганца с размером частиц от 100 нм, pH среды – 3,2–3,6. В ходе экспериментов определены: удельное сопротивление осадка наноалмазов – $7,644 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}$ и плотность – 1822 кг/м^3 ; удельное сопротивление осадка диоксида марганца – $1,81 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2}$ и плотность – 3620 кг/м^3 .

Экспериментальные данные исследований работы ультрафильтра с турбулизатором в процессе фильтрации гидрозолей наноалмазов при расстояниях между дисками L , равных 0,04, 0,03, 0,02 и 0,01 м, диаметре дисков 0,009 м, объемном расходе $1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, эквивалентном объемному расходу исходного фильтра, показаны на рисунке 5. При этом средняя скорость движения среды в исходном фильтре была $2,8 \text{ м/с}$ ($Re = 36400$), а на фильтре с турбулизатором (в сечении между диском и поверхностью фильтра) – $5,7 \text{ м/с}$ ($Re = 74\ 100$).

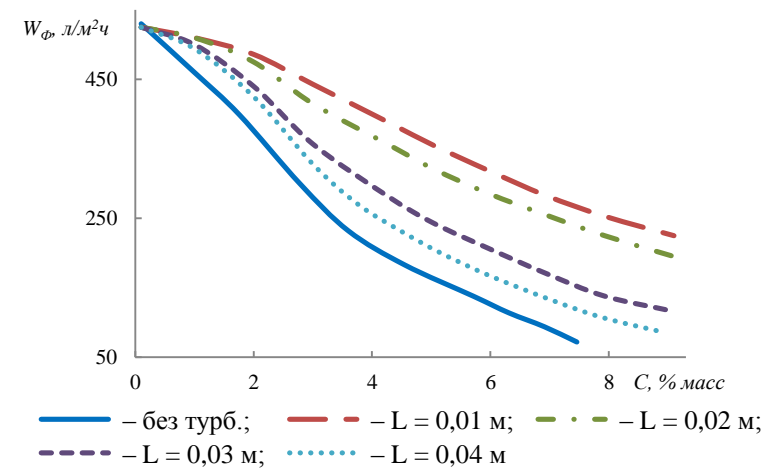


Рисунок 5 – Средняя скорость фильтрации гидрозоля наноалмазов на фильтре (с турбулизатором и исходном) при эквивалентном объемном расходе

Из графиков на рисунке 5 видно, что уменьшение расстояния между смежными дисками турбулизаторов оказывает положительный эффект и средняя скорость фильтрации при соответствующих концентрациях твердой фазы растет. При расстоянии между смежными дисками турбулизатора 0,01 м средняя скорость фильтрации наибольшая. С ростом концентрации дисперсной фазы до 8 % (масс.) производительность фильтра с турбулизатором с расстоянием между смежными дисками 0,01 м увеличивается в 3,5 раза, по сравнению с исходным фильтром. Применение турбулизатора позволяет получать более концентрированные гидрозоли наноалмазов до 10 % (масс.), по сравнению с 5 – 6 % (масс.) на исходном фильтре.

Проведены экспериментальные исследования по определению влияния размера дисков турбулизатора на скорость процесса фильтрации. Расстояние L

между дисками задавалось 0,01 м. Использовались диски диаметрами – 0,008, 0,009 и 0,01 м. При этом отношение диаметров дисков турбулизатора к внутреннему диаметру трубки фильтра $d_{турб}/d_{труб}$ было 0,615, 0,692 и 0,769, соответственно. Объемный расход среды в канале фильтра – 1,8 м³/ч. Средний перепад давлений – 0,21 МПа. Результаты экспериментальных исследований по фильтрации гидрозолей наноалмазов показаны на рисунке 6.

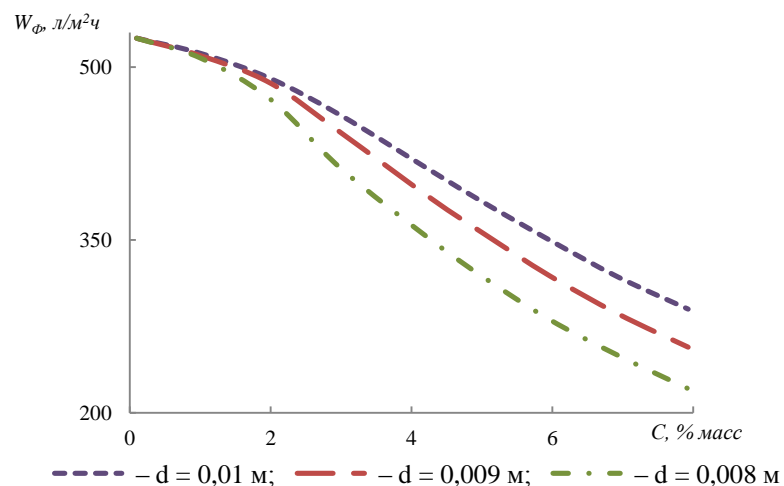


Рисунок 6 – Средняя скорость фильтрации гидрозолей наноалмазов на фильтре с турбулизатором при разных диаметрах дисков

Из рисунка 6 видно, что увеличение диаметра дисков турбулизатора способствует повышению средней скорости фильтрации. При диаметре дисков 0,01 м средняя скорость фильтрации больше, чем при диаметре дисков 0,009 м, на 12 % при увеличении концентрации твердой фазы до 8 % (масс.). В ходе экспериментальных исследований были найдены коэффициенты местных сопротивлений дисков турбулизатора ξ . При $d_{турб}/d_{труб} = 0,615$, $\xi = 0,7671$, при $d_{турб}/d_{труб} = 0,692$, $\xi = 0,8198$, при $d_{турб}/d_{труб} = 0,769$, $\xi = 0,8893$.

Сравнение экспериментальных данных средней скорости фильтрации, полученных при фильтрации гидрозолей наноалмазов на фильтре с турбулизатором, с расчетными значениями, найденными при помощи предложенного математического описания, показаны на рисунке 7. Расстояние между смежными дисками L задавалось 0,1, 0,2, 0,3 и 0,4 м. Как видно, математическое описание удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными средней скорости фильтрации гидрозолей наноалмазов на фильтре с турбулизатором.

Экспериментальным путем найден коэффициент диффузии гидрозолей наноалмазов, который составляет $5,83 \cdot 10^{-14}$ м²/с и соответствует среднему размеру частиц 150 нм, что близко к значению, рассчитанному по формуле (10).

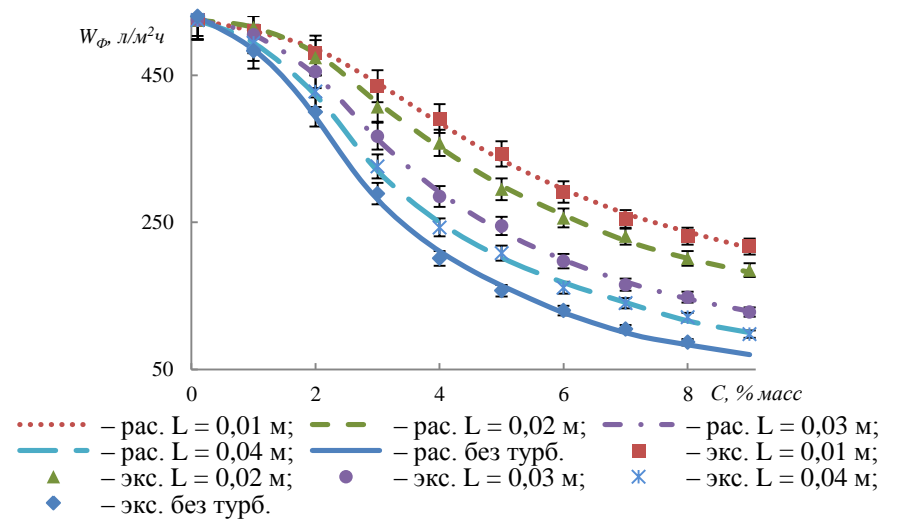


Рисунок 7 – Сравнение экспериментальных данных средней скорости фильтрации на фильтре с турбулизатором с расчетными значениями (гидрозоль наноналмазов)

Сравнение экспериментальных данных средней скорости фильтрации, полученных при фильтрации суспензии диоксида марганца на фильтре с турбулизатором, с расчетными значениями, показаны на рисунке 8. Расстояние между смежными дисками L задавалось 0,1 и 0,3 м. Как видно, математическое описание удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

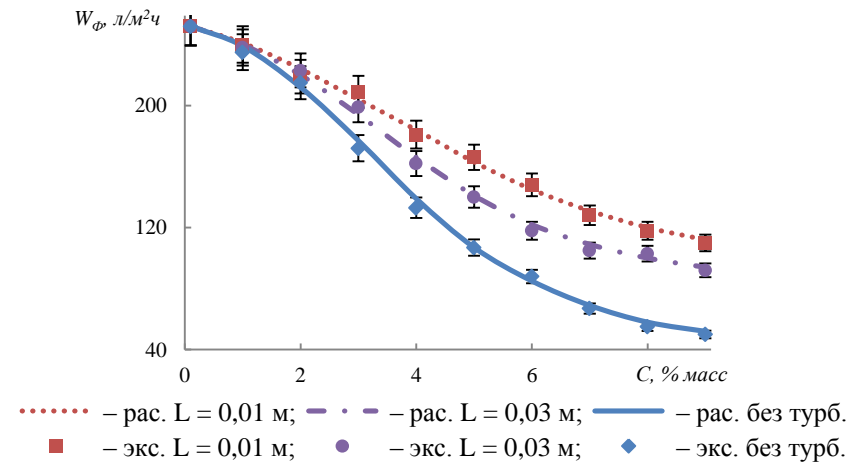


Рисунок 8 – Сравнение экспериментальных данных средней скорости фильтрации на фильтре с турбулизатором с расчетными (суспензия диоксида марганца)

В главе 4 предложена инженерная методика, которая позволит рассчитать промышленные аппараты для фильтрации наносистем. Исходными данными для расчетов являются: требуемая производительность установки по фильтрату; исходная и требуемая конечная концентрации суспензии, определяющие временные границы процесса.

В качестве данных о составе обрабатываемой суспензии используются параметры: размер частиц; коэффициент трения частиц; удельное сопротивление осадка; вязкость и плотность среды. В качестве рекомендуемых данных задаются: диаметр трубки фильтра; шаг расположения дисков; диаметр диска турбулизатора.

В основу расчета параметров процесса фильтрации на трубчатом фильтре с турбулизатором положены уравнения (1) – (12).

Производительность фильтра между дисками турбулизатора

$$Q_L = \pi d \int_0^L W_{\Phi T(x)} dx, \quad (13)$$

где d – диаметр трубки фильтра, м.

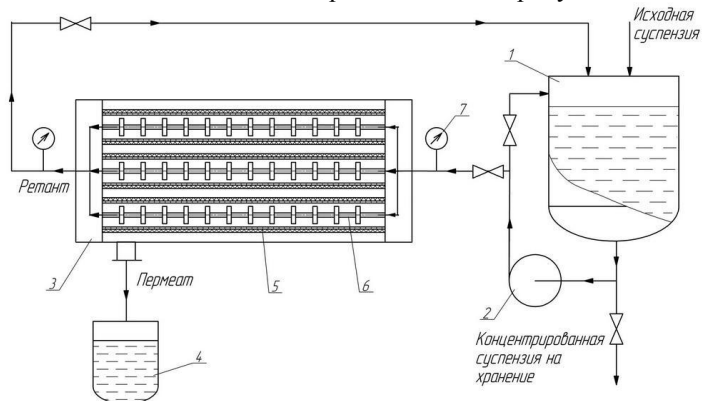
Поверхность фильтрации

$$S_{\Phi} = \frac{QL}{\int_0^L W_{\Phi T(x)} dx}, \quad (14)$$

где Q – требуемая производительность по фильтру, м³/с.

По найденной поверхности фильтрации задается число трубчатых фильтров.

В результате проведенных исследований и с учетом предложенной методики расчета разработана опытно-промышленная установка мембранной фильтрации, технологическая схема которой показана на рисунке 9.



1 – емкость для суспензии; 2 – насос; 3 – фильтрационный блок; 4 – емкость для пермеата; 5 – трубчатый фильтр; 6 – турбулизатор; 7 – манометр.

Рисунок 9 – Технологическая схема опытно-промышленной установки мембранной фильтрации

Основным рабочим органом в данной схеме является фильтрационный блок БТУ-0,5/2 (ЗАО НТЦ «Владипор»). В каждую из семи трубок фильтрационного блока встроены турбулизирующие вставки. Установка предназначена для проведения мембранных процессов разделения суспензий методом микро- или ультрафильтрации на мембранных трубчатых фильтрах типов БТМ-0,5/2, БТУ-0,5/2 и отдельных трубчатых элементах длиной 1 м поверхностью 0,035 м².

Результаты испытаний опытно-промышленной установки в процессе фильтрации гидрозоля нанодiamondов при разных расстояниях между смежными дисками турбулизатора представлены на рисунке 10. Средний перепад давлений был равен $\Delta P_{CP} = 0,21$ МПа, расстояния между смежными дисками задавались – 0,01 и 0,03 м. Диаметр дисков турбулизатора – 0,009 м.

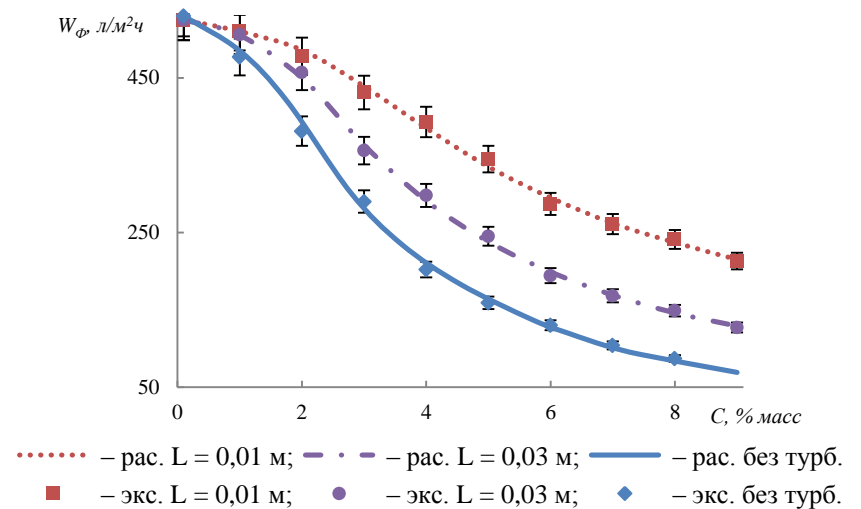


Рисунок 10 – Сравнение расчетных и экспериментальных данных средней скорости фильтрации, полученных на опытно-промышленной установке при фильтрации гидрозоля нанодiamondов

Как видно из графиков на рисунке 10, математическое описание удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными средней скорости фильтрации гидрозолей нанодiamondов на разработанной опытно-промышленной установке.

Результаты испытаний опытно-промышленной установки в процессе концентрирования суспензии диоксида марганца при разных расстояниях между смежными дисками отображены на рисунке 11. Средний перепад давлений, расстояния между дисками и их диаметр задавались как в эксперименте с гидрозодем нанодiamondов.

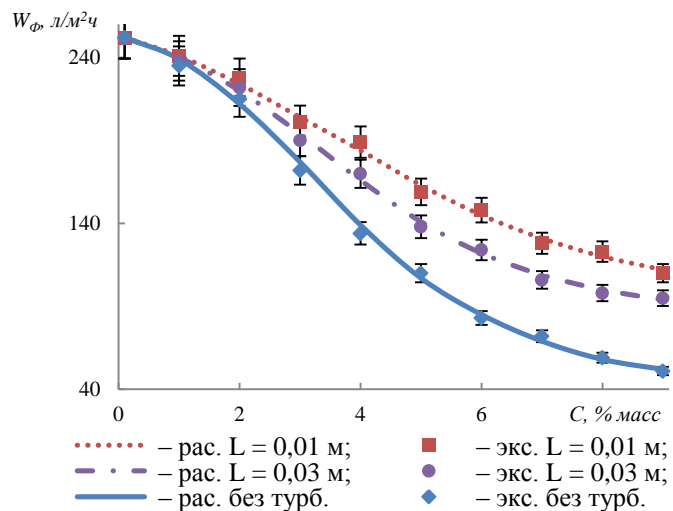


Рисунок 11 – Сравнение расчетных и экспериментальных данных средней скорости фильтрации, полученных на опытно-промышленной установке при фильтрации суспензии диоксида марганца

Как видно из графиков на рисунке 11, математическое описание так же удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными средней скорости фильтрации суспензии диоксида марганца на разработанной опытно-промышленной установке.

Разработанная на основании математического описания инженерная методика расчета трубчатых мембранных фильтров с турбулизирующей вставкой была использована для вывода закономерностей и расчета процесса фильтрации в лабораторных условиях и доказана ее применимость в опытно-промышленных.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработано математическое описание фильтрации суспензий наноматериалов на трубчатом мембранном фильтре с турбулизирующей вставкой в виде дисков, где впервые использовано модельное представление о массообменном механизме размывания фильтруемого осадка наночастиц полугораниченной затопленной струей.

2. Экспериментально исследована работа трубчатого мембранного фильтра с турбулизирующей вставкой при фильтрации гидрозолей наноалмазов и суспензии диоксида марганца. Определены фильтрационные свойства осадков наноалмазов и диоксида марганца. Выявлены закономерности влияния расстояния между дисками и их диаметр на скорость процесса. Экспериментально подтверждена адекватность математического описания в диапазоне размеров частиц до 500 нм.

3. Разработана инженерная методика расчета трубчатых мембранных фильтров с турбулизирующей вставкой в виде дисков и экспериментально подтверждена ее применимость при разработке опытно-промышленных установок.

4. Результаты внедрены в ОАО «ФНПЦ «Алтай» в производстве УДА-В-ГО, что позволило увеличить предел концентрирования продукта с 6 до 10 % (масс.) и повысить производительность фильтрации до 3,5 раз, и в производстве окисленного декстрана на стадии отделения от примесей диоксида марганца.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Глазев, Д.Ю. Исследование влияния пульсаций на производительность фильтра при концентрировании гидрозолей наноалмазов / Д.Ю. Глазев, В.А. Куничан, И.С. Ларионова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Бийск: АлтГТУ, 2008. – С. 36–37.

2. Глазев, Д.Ю. Опыт концентрирования алмазных золь с помощью трубчатых фторопластовых и керамических фильтров / Д.Ю. Глазев, И.С. Ларионова, Ю.И. Ладыгин, Л.И. Полева, Н.М. Кутакова // Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы: получение, свойства, применение: труды научно-технической конференции с международным участием. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – С.89–91.

3. Глазев, Д.Ю. Устройство для повышения эффективности мембранного концентрирования алмазных золь / Д.Ю. Глазев, В.А. Куничан, И.С. Ларионова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Бийск: АлтГТУ, 2009. – С. 41–45.

4. Глазев, Д.Ю. Устройство для интенсификации мембранного концентрирования алмазных золь / Д.Ю. Глазев, В.А. Куничан, И.С. Ларионова // Инновационные технологии: производство, экономика, образование: материалы всероссийской научно-практической конференции. – Бийск: АлтГТУ, 2009. – С. 414–415.

5. Глазев, Д.Ю. Изучение работы турбулизирующей вставки в процессе мембранного концентрирования алмазных золь / Д.Ю. Глазев, В.А. Куничан, И.С. Ларионова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – Бийск: АлтГТУ, 2010. – С. 35–39.

6. Глазев, Д.Ю. Исследование процесса сгущения гидрозолей наноалмазов на трубчатых мембранных фильтрах с турбулизирующей вставкой / Д.Ю. Глазев // Пищевые продукты и здоровье человека: материалы всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово: КемГИПП, 2010. – С. 420–422.

7. Глазев, Д.Ю. Способ концентрирования алмазных золь с помощью трубчатых фторопластовых и керамических мембранных фильтров / Д.Ю. Глазев, В.А. Куничан, И.С. Ларионова, Л.И. Полева, Н.М. Кутакова // Физико-химические основы ионообменных процессов: материалы XII Международной конференции. Сорбционные и хроматографические процессы. Специальный выпуск. – 2011. – Т. 11. – Вып. 2. – С. 172-177.

8. Глазев, Д.Ю. Способ концентрирования гидрозоль наноалмазов с помощью трубчатых мембранных фильтров / Д.Ю. Глазев, В.А. Куничан, И.С. Ларионова, Л.И. Полева, Н.М. Кутакова // Нанотехника. – 2011. – №4(24). – С. 45–47.

9. Пат. 2430016 Российская Федерация, МПК С01В 31/06, В82В 3/00. Способ получения золь наноалмазов / И.С. Ларионова, Д.Ю. Глазев, А.С. Жарков, Л.И. Полева, Н.М. Кутакова, А.В. Фролов; заявитель и патентообладатель ОАО «ФНПЦ «Алтай». опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27.

Подписано в печать 20.04.2012. Формат 60×84 1/16.

Печать – ризография. Усл. печ. л. – 1,00. Тираж 100 экз. Заказ 2012–38.

Отпечатано в ИИО БТИ АлтГТУ,

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27.