

На правах рукописи

Копылова Лариса Евгеньевна

**КОАЛЕСЦЕНТНО-МЕМБРАННОЕ
РАЗДЕЛЕНИЕ ПРЯМЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

05.17.18 – Мембраны и мембранная технология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре мембранной технологии Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Свитцов Алексей Александрович
доцент кафедры мембранной технологии,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева

Официальные оппоненты: доктор химических наук
Милютин Виталий Витальевич
заведующий лабораторией хроматографии
радиоактивных элементов,
Институт физической химии и электрохимии им.
А.Н. Фрумкина Российской академии наук

доктор технических наук, профессор
Первов Алексей Германович
профессор кафедры водоснабжения,
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет

Ведущая организация: **Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б. Н. Ельцина**

Защита состоится «16» июня 2016 г. в 10-00 на заседании диссертационного совета Д 212.204.06 в РХТУ им. Д.И. Менделеева (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в Конференц-зале (ауд. 443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре и на сайте РХТУ им. Д.И. Менделеева (<http://diss.muctr.ru>).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.06



В.Т. Новиков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В настоящее время накоплен большой опыт очистки нефтесодержащих сточных вод, однако универсальных и надежных методов очистки нет. Во многих случаях на практике реализуются малоэффективные проекты, которые не учитывают особенностей состава и фазового состояния нефтепродуктов в стоках, а также свойств содержащихся в них сопутствующих веществ. Нефтесодержащие сточные воды являются многокомпонентными, многофазными водными системами и находятся, как правило, в стабилизированном различными факторами состоянии, что значительно усложняет их переработку. Вопрос выделения нефтепродуктов из стоков и их утилизация на производстве обычно вообще не рассматриваются.

Наиболее сложной является проблема переработки стоков с малой концентрацией нефтепродуктов (до 500 мг/л), которые всегда находятся в стабилизированном состоянии. Такие системы возникают в том числе после первого этапа очистки механическими методами отстаивания в нефтеловушках. К таким эмульсиям относятся и кубовые остатки атомных электростанций. Кубовые остатки образуются после глубокого упаривания жидких радиоактивных отходов (ЖРО) атомных электростанций, и в них, естественно, содержится эмульгированное машинное масло. Его наличие крайне негативно влияет на эффективность работы селективных неорганических сорбентов, задерживающих основные радионуклиды кубовых остатков – цезий 137 и стронций 90.

Отсутствие надежных и универсальных методов выделения тонкодиспергированных нефтепродуктов из водных растворов является актуальной задачей. Разработке высокоэффективной технологии решения этой задачи посвящена данная работа.

Цель работы

Целью работы является разработка гибридной коалесцентно-мембранной технологии разделения прямых эмульсий для создания инструмента, который позволит минимизировать антропогенное влияние на окружающую среду стоков, содержащих нефтепродукты.

Задачи, которые необходимо было решить для достижения данной цели:

- 1) выявление факторов стабилизации эмульсий масла в сточных водах;
- 2) установление факторов, оказывающих влияние на мембранное разделение устойчивых низкоконцентрированных прямых эмульсий;

- 3) исследование механизмов контактной коалесценции;
- 4) разработка установки для разделения прямых эмульсий по гибридной коалесцентно-мембранной технологии.

Научная новизна

Показано приоритетное влияние контактной коалесценции капель эмульсии внутри пористой структуры мембран на процесс их замасливания.

На основе модифицированной математической модели контактной коалесценции определены параметры коалесцирующего материала, влияющие на эффективность процесса коалесценции.

Предложена структурная схема совмещенного процесса «перехватывающая коалесценция – мембранное разделение», предотвращающая замасливание мембраны с сохранением непрерывного режима разделения.

Разработано конструкторское решение аппарата для проведения совмещенного процесса разделения прямых эмульсий.

Практическая значимость

Разработан и изготовлен пилотный вариант коалесцентно-мембранного аппарата для проведения совмещенного процесса разделения прямых эмульсий. По результатам сравнительных испытаний различных мембран предложен оптимальный тип мембран – одноканальная трубчатая мембрана с наружным активным слоем на основе керамики.

Разработана технологическая схема пилотной установки и проведены успешные испытания установки, включающей коалесцентно-мембранный аппарат, на предприятии ФГУП «Радон» при очистке жидких радиоактивных отходов, содержащих тонкодисперсную масляную фазу. На базе пилотной установки планируется создание промышленных установок широкого профиля.

Материалы работы используются при чтении курсов «Сорбционные процессы», «Введение в мембранную технологию», при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы были представлены на Международном водно-химическом форуме (г. Минск, 2012), Научно-практическом семинаре «Мембранные беседы» (г. Тула, 2012), 4th International Conference «Bionanotox» (Heraklion, 2013), Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Мембраны-13» (г. Владимир 2013), VII Международном Водно-химическом форуме (г. Москва, 2013).

Публикации результатов исследований

По результатам исследований опубликованы 8 статей, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, 5 тезисов докладов на научно-технических конференциях.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 121 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков, 18 таблиц, библиографический список из 85 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи работы, изложены новизна и практическая значимость работы.

1. Литературный обзор

В литературном обзоре представлен анализ литературных данных по теме диссертации. Рассмотрены факторы стабильности эмульсий типа «масло в воде», представлены различные подходы к проблеме разделения тонкодисперсных разбавленных прямых эмульсий. Отмечена перспективность мембранного разделения таких объектов при условии решения проблемы «замасливания» мембран. Дано описание механизма «замасливания» мембран, а также основ процесса контактной коалесценции. Представлена модифицированная математическая модель контактной коалесценции, на основании которой может быть выбран материал для контактной коалесценции и проведена его доработка.

2. Методическая часть

В данной главе рассмотрены объект и предмет исследования, представлены методики проведения экспериментов и анализа, описаны конструкции разработанных экспериментальных установок.

Объектом исследования является комплексный процесс воздействия на прямые эмульсии с целью их разрушения и вывода масла из воды, сочетающий контактную коалесценцию и мембранное разделение.

Предметом исследования является эмульсия масла в воде с позиции ее устойчивости, взаимодействия с твердой фазой, коалесценции и мембранной проницаемости.

Исследования проводились на растворах, моделирующих жидкие радиоактивные отходы, содержащие до 100 мг/л эмульгированного масла, солевой фон имитировался нитратом натрия в количестве 150 г/л.

Для экспериментов по мембранному разделению эмульсий «масло в воде» использовались мембраны российского производства: плоские полимерные мембраны марки МФК производства ЗАО «НТЦ «Владипор» и трубчатые керамические мембраны КФЭ производства ООО «НПО «Керамикфильтр».

Процессы контактной коалесценции проводили на нетканом волокнистом материале на основе полипропилена и полиэтилентерефталата. Материал имеет объемную гофрированную структуру, что обеспечивает минимальное гидравлическое сопротивление потоку и облегчает организацию эвакуации скоалесцировавших капель из насадки.

Для проведения экспериментальной работы было разработано и изготовлено три стенда: установка разделения прямых эмульсий на плоских полимерных мембранах (рис. 1), установка разделения прямых эмульсий на трубчатых керамических мембранах (рис. 2) и установка контактной коалесценции (рис. 3).

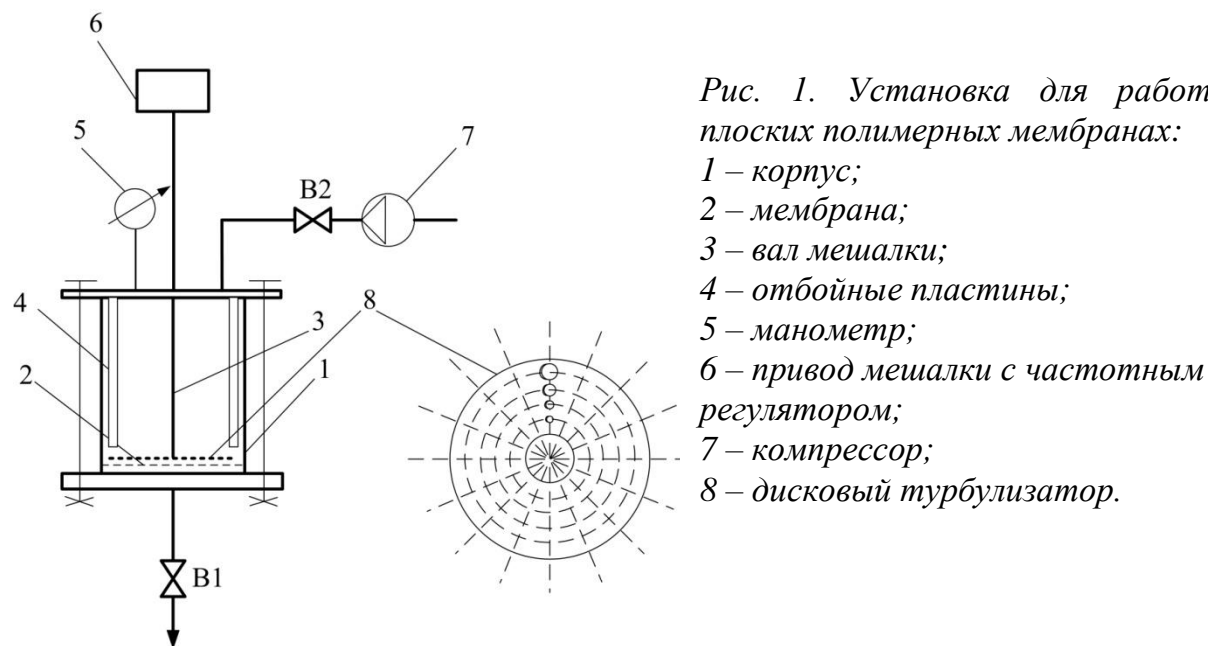


Рис. 1. Установка для работы на плоских полимерных мембранах:

- 1 – корпус;*
- 2 – мембрана;*
- 3 – вал мешалки;*
- 4 – отбойные пластины;*
- 5 – манометр;*
- 6 – привод мешалки с частотным регулятором;*
- 7 – компрессор;*
- 8 – дисковый турбулизатор.*

Рабочая площадь поверхности мембран составляет $\approx 0,018 \text{ м}^2$. Особенностью установки является дисковый турбулизатор с 64 отверстиями со снятыми фасками. Такое конструктивное решение мешалки-турбулизатора наиболее эффективно решает задачу минимизации отрицательного влияния поляризационных эффектов на процесс мембранного разделения.

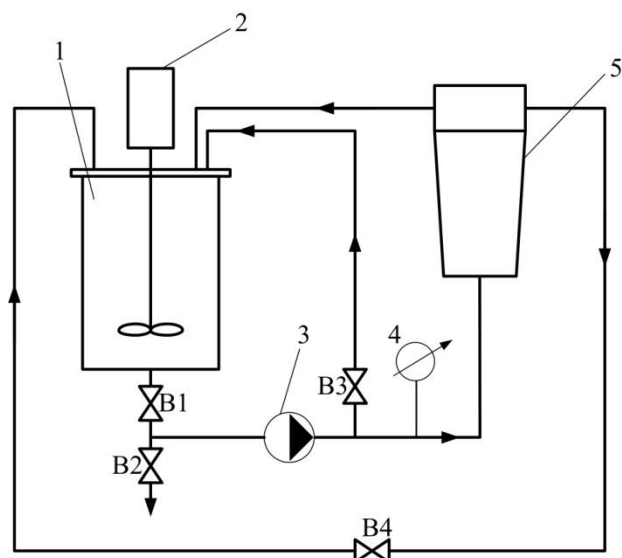


Рис. 2. Установка для работы на трубчатых керамических мембранах:
 1 – емкость приготовления эмульсии;
 2 – мешалка-диспергатор;
 3 – насос;
 4 – манометр;
 5 – мембранный аппарат.

Рабочая площадь поверхности мембран составляет $0,031 \text{ м}^2$. Исходная прямая эмульсия подается снизу-вверх через центральную перфорированную распределительную трубку. Трубчатые керамические мембраны с внешним селективным слоем закреплены в трубной решетке. В верхней части аппарата организованы отвод пермеата и масляного концентрата.

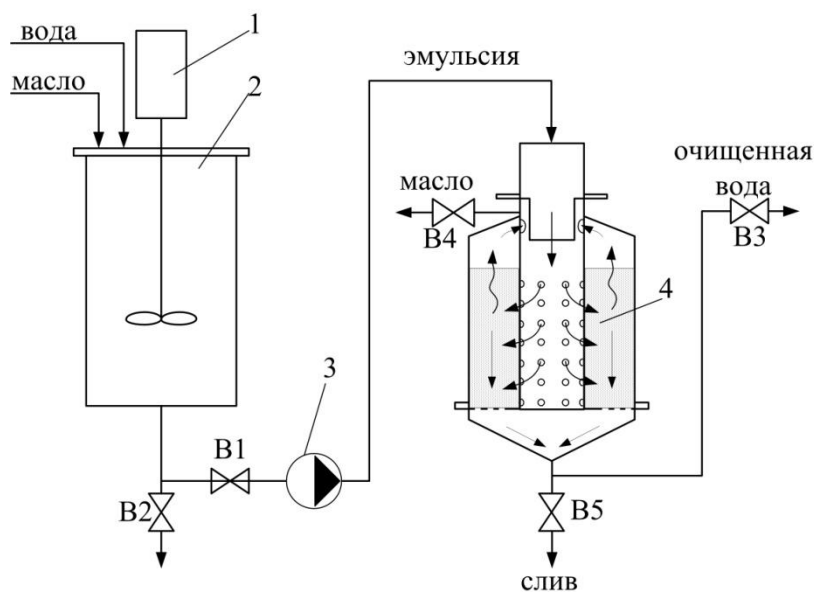


Рис. 3. Установка контактной коалесценции:
 1 – мешалка-диспергатор;
 2 – емкость приготовления эмульсии;
 3 – насос;
 4 – коалесцирующая насадка.

Коалесцирующий материал расположен вокруг центральной перфорированной трубы, причем гофры материала ориентированы вертикально.

Для получения достоверных результатов в эмульсиях оценивался средний размер капель. Распределение капель по размерам для эмульсии с концентрацией масла 100 мг/л представлено на рис. 4. Как видно из рисунка, средний размер капель составил $\sim 11 \text{ мкм}$.

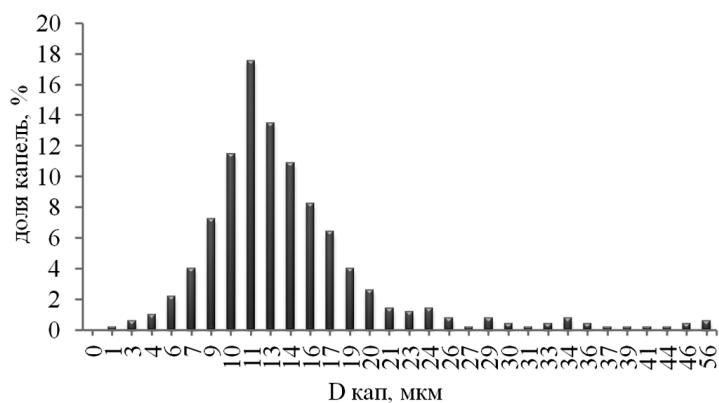


Рис. 4. Диаграмма распределения капель по размерам для эмульсии с концентрацией масла 100 мг/л.

Для оценки устойчивости эмульсии проводились микроскопические исследования изменения среднего размера капель эмульсии со временем. Типовые результаты представлены на рис. 5, из чего можно сделать вывод о достаточно высокой степени устойчивости эмульсии.

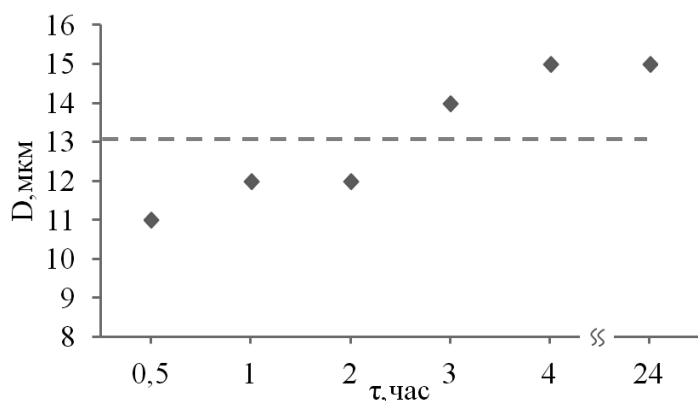


Рис. 5. Изменение среднего размера капель эмульсии во времени.

Для определения содержания нефтепродуктов использовался метод экспресс – анализа содержания нефтепродуктов в воде «КИС–НП СЕ.1207.00.00.000 «Лилия – 1», разработанный ФГУП «КБОМ». Метод внесен в Государственный реестр средств измерения (регистрационный номер 17572-98) и входит в список аттестованных методик Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений (номер в реестре ФР.29.2006.02183). Погрешность анализа не превышала 1% от определяемой величины.

3. Результаты и их обсуждение

Важность решения задачи разделения прямых эмульсий определяется очень низким предельно допустимым содержанием масла в воде, выше которого вода изменяет свои органолептические и технологические качества. А широкая озабоченность этой проблемой обусловлена требованиями здравоохранения (питьевая вода), экологии (сточные воды) и практически любого производства (водоподготовка и сокращение потерь жиров, экстрагентов, химических реагентов и т.п.).

В главе представлены результаты разделения модельных растворов жидких радиоактивных отходов, содержащих эмульгированное масло, на полимерных и

керамических мембранах, методом контактной коалесценции и совмещенным методом коалесцентно-мембранного разделения, а также результаты апробации разработанного технологического решения.

Любая мембрана характеризуется своим распределением пор по размеру. Крупные поры являются своего рода аккумуляторами мелких частиц, которые вначале ведут себя аналогично твердым частицам в обычном процессе фильтрации.

Градиент рабочего давления способствует переносу мелких частиц в пористое пространство мембраны, где их концентрация через некоторое время превышает критическую и капли начинают коалесцировать, образуя зоны сплошной масляной фазы без возможности их выведения из тела мембраны.

Через некоторое время крупные поры блокируются полностью и перестают работать как каналы конвективного переноса, что наблюдается на графике динамики снижения удельной производительности мембраны во времени. Этот этап можно назвать внутренней коалесценцией и он рассматривается как непреодолимая стадия процесса мембранного разделения эмульсий, обусловленная несовершенством пористой структуры мембраны, т.е. наличием в ней крупных пор, которые больше размера капель.

Следующую стадию по аналогии можно назвать поверхностной коалесценцией. Если предотвратить адгезионное взаимодействие капель с поверхностью мембраны, то можно ограничить потерю производительности только первой стадией. Одно из решений проблемы – в перехвате и укрупнении частиц непосредственно перед мембраной с тем, чтобы и уменьшить проникновение мелких частиц в поровое пространство, и не допустить их контакта с поверхностью мембраны. Экспериментально было изучено «замасливание» мембран в зависимости от различных технологических параметров процесса и эффективность контактной коалесценции как метода борьбы с «замасливанием» мембран.

3.1. Мембранное разделение прямых эмульсий

На первом этапе были исследованы производительность и селективность плоских полимерных гидрофильных мембран из фторполимеров марки МФФК-4Г со средним размером пор 0,65 мкм, а также трубчатых керамических мембран КФЭ-1 с селективным слоем из карбида кремния и подложкой из оксида алюминия, со средним размером пор 0,3 мкм.

Для учета влияния усадки полимерных мембран, т.е. их уплотнения под действием рабочего давления, был проведен эксперимент по оценке динамики

изменения удельной производительности мембран по обессоленной воде во времени (рис.6).

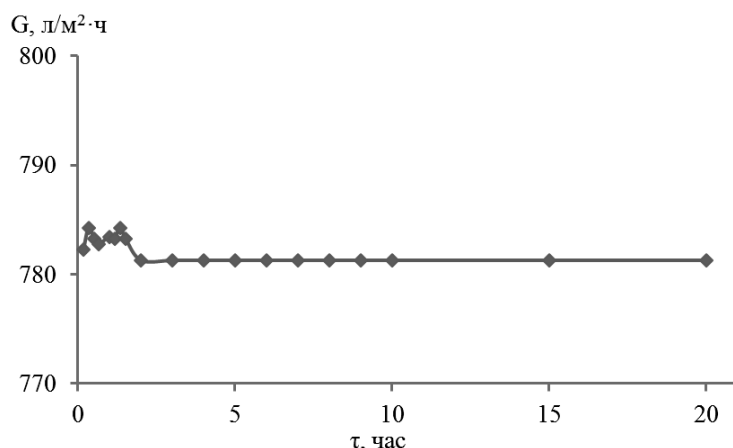


Рис. 6. Зависимость удельной производительности мембраны МФФК-4Г по обессоленной воде от времени при рабочем давлении 0,3 бар.

Из рис. 6 видно, что за 20 часов работы под давлением снижение не превысило 3%, что не критично. Основное падение произошло в первые 5 часов, дальше наблюдается стабилизация параметра.

При переходе от воды к эмульсии эта зависимость существенно изменяется. На рис. 7 показано изменение удельной производительности полимерных мембран МФФК-4Г во времени при разделении эмульсии с постоянным содержанием масла 100 мг/л, в зависимости от гидродинамических параметров процесса при рабочем давлении 0,3 бар.

Результаты представлены для наглядности в виде относительной производительности G/G_0 . Начальная производительность образцов мембран МФФК-4Г была практически одинакова – 710-740 л/м²час. Начальная удельная производительность мембран на эмульсии была ниже на 8-10%, чем на воде, что объясняется увеличением вязкости жидкости.

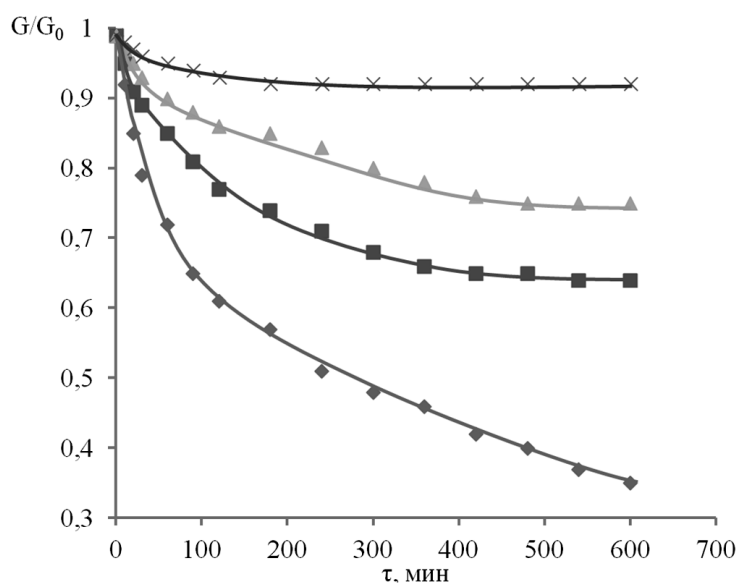


Рис. 7. Ход изменения относительной производительности мембран МФФК-4Г во времени при различных скоростях вращения мешалки n:

- ◆— n=0
- n=50 об/мин
- ▲— n=100 об/мин
- ×— n=200 об/мин

Задерживающая способность R мембран МФФК-4Г по маслу представлена на рис. 8. Как видно, задерживающая способность немного увеличивалась до некоторого постоянного значения за счет блокирования крупных пор мембран.

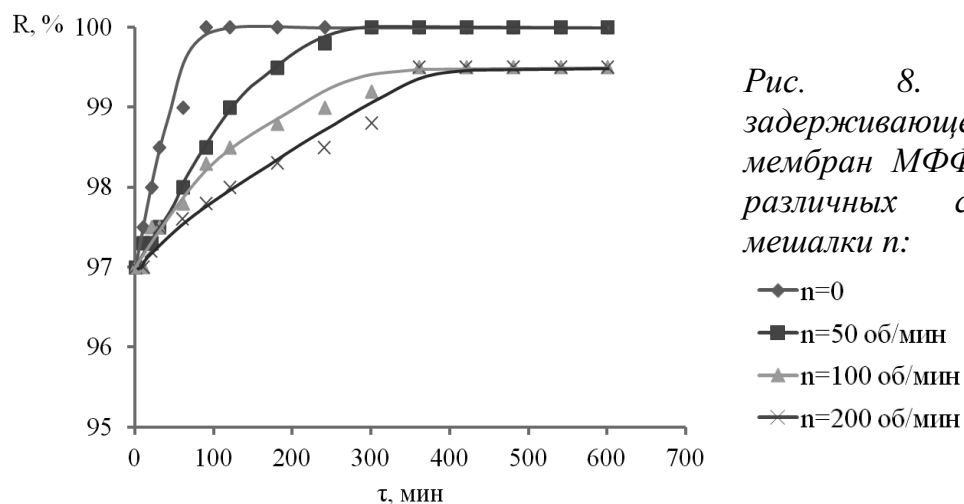


Рис. 8. Ход изменения задерживающей способности мембран МФФК-4Г во времени при различных скоростях вращения мешалки n :

- ◆ $n=0$
- $n=50$ об/мин
- ▲ $n=100$ об/мин
- × $n=200$ об/мин

Замасливание мембран обеспечивает, с одной стороны, дополнительный задерживающий эффект, а, с другой стороны, создает дополнительное сопротивление переносу вещества через мембраны. Перемешивание вблизи мембраны, т.е. турбулизация потока над мембраной, позволяет в некоторой степени уменьшить замасливание за счет исключения стадии 2 процесса.

При промышленной реализации мембранного процесса разделения концентрация задерживаемого компонента над мембраной растет. Исследование влияния концентрации на работу мембран мы проводили аналогичным образом на эмульсиях с различным содержанием масла.

Полученные зависимости по относительной удельной производительности в условиях постоянства гидродинамических параметров представлены на рис. 9. Разделение на полимерных мембранах проводилось при скорости вращения мешалки 50 об/мин, рабочее давление 0,3 бар.

В экспериментах с керамическими мембранами турбулизация потока достигается только за счет скорости протекания раствора вдоль мембран. Объективное сопоставление гидродинамических условий через критерий Рейнольда провести не представляется возможным в силу невозможности рассчитать его для перфорированных дисковых мешалок. Но предварительные исследования позволили установить, что поведение мембран сопоставимо при скорости вращения мешалки 50 об/мин для плоских мембран и при линейной скорости потока $7 \cdot 10^{-1}$ м/с – для трубчатых мембран.

Начальная производительность образцов керамических мембран была практически одинакова – 420-450 л/(м²час). Рабочее давление при разделении на керамических мембранах было выбрано 3 бар. Результаты представлены на рис. 9 (Б).

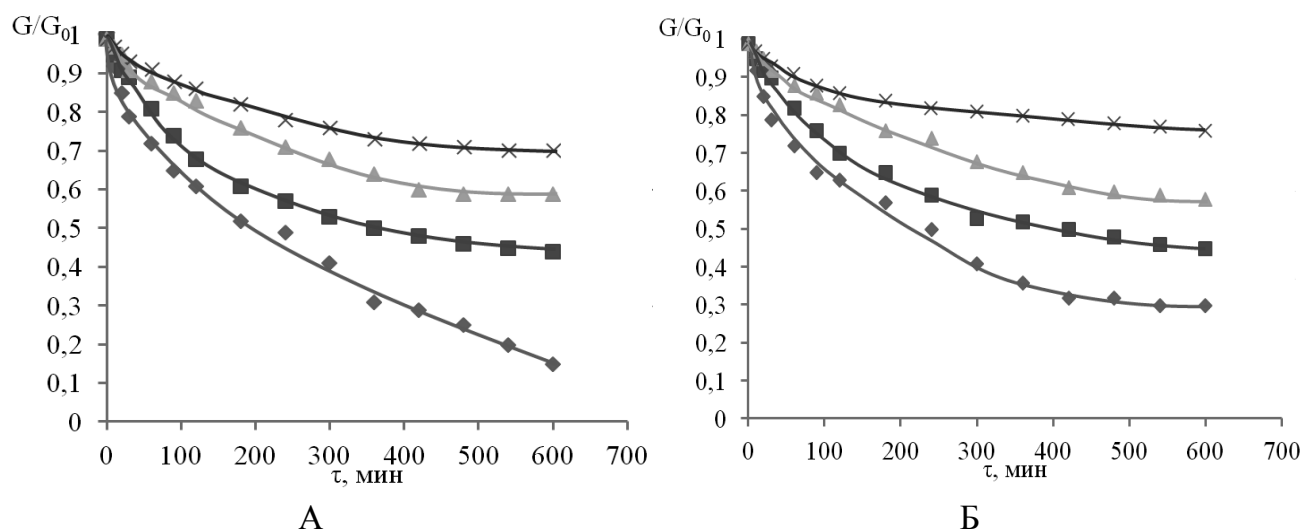


Рис. 9. Ход изменения относительной удельной производительности мембран МФФК-4Г (А) и КФЭ-1 (Б) во времени при разделении эмульсий с различным содержанием масла: —◆— 200 мг/л —■— 150 мг/л —▲— 100 мг/л —×— 50 мг/л.

Полученные зависимости по задерживающей способности для полимерных и керамических мембран в условиях постоянства гидродинамических параметров представлены на рис.10.

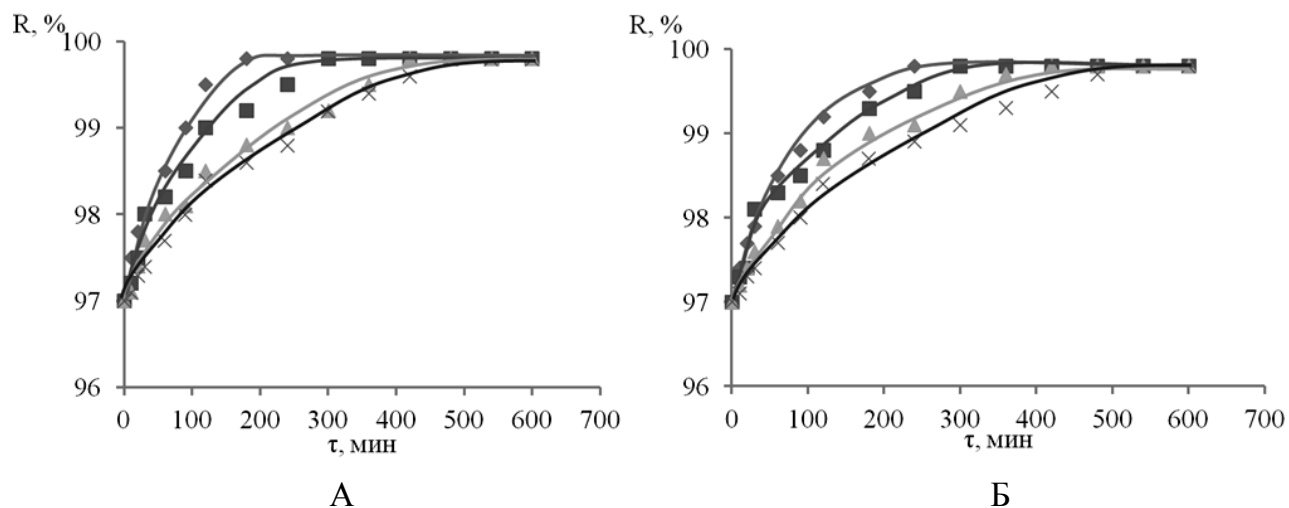


Рис. 10. Ход изменения задерживающей способности мембран МФФК-4Г (А) и КФЭ-1 (Б) во времени при разделении эмульсий с различным содержанием масла: —◆— 200 мг/л —■— 150 мг/л —▲— 100 мг/л —×— 50 мг/л.

Как и следовало ожидать, увеличение концентрации масла заметно влияет на оба параметра мембран, но характер этого влияния очень близок для обеих мембран. Таким образом, при разделении прямых эмульсий поведение керамических и полимерных мембран сопоставимо.

3.2. Разделение эмульсий контактной коалесценцией

Следующая часть экспериментальной работы была посвящена изучению контактной коалесценции и режима работы изготовленного коалесцирующего аппарата. Для оценки эффективности разделения применялся коэффициент очистки $k_{оч}$, равный отношению исходной концентрации масла к остаточной концентрации масла в очищенном потоке. Гидродинамический параметр протекания жидкости через насадку оценивался через отношение объемного расхода жидкости к объему насадки, т.е. имел размерность расхода в насадочных объемах – л/л·мин. Эксперименты проводились на эмульсии с концентрацией масла 100 мг/л (рис. 11).

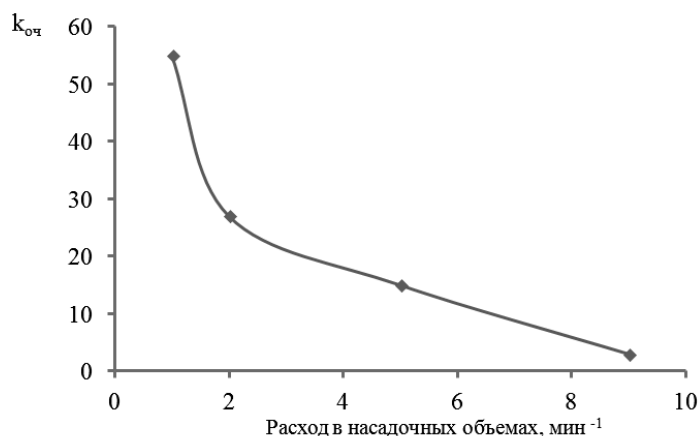


Рис. 11. Зависимость коэффициента очистки коалесцирующего материала от расхода в насадочных объемах.

Снижение качества очистки с ростом расхода объясняется как «выдуванием» диспергированной фазы из объема насадки, так и дополнительным дроблением капель эмульсии за счет их столкновений с волокнами и друг с другом. Это следует из анализа модифицированной для волокнистой насадки математической модели контактной коалесценции.

Не совпадающим с теоретическими предположениями является низкий коэффициент очистки свежего коалесцирующего материала в начальный момент времени (рис. 12).

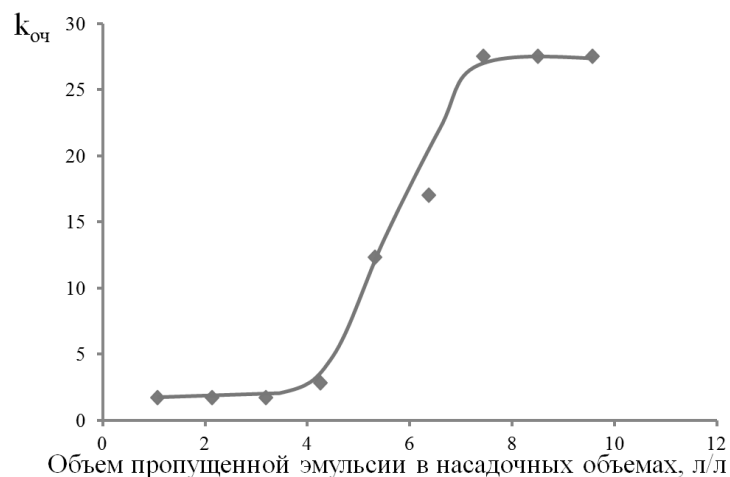


Рис. 12. Зависимость коэффициента очистки коалесцирующего материала от объема пропущенной эмульсии в насадочных объемах.

Это заставило несколько откорректировать предполагаемый механизм контактной коалесценции. В начальный момент времени происходит формирование центров коалесценции в материале: сначала капли, поступающие в насадку, закрепляются на материале; затем происходит их рост до критического объема, когда подъемная сила превысит силу адгезии, после чего капля оторвется и всплывет, а центр коалесценции продолжит работу по накоплению масла.

Таким образом, возникла идея совмещенного процесса разделения, при котором контактная коалесценция не допустит основную часть эмульгированного масла до поверхности мембраны, и более того, будет конкурировать с мембраной за капли масла у ее поверхности.

3.3. Коалесцентно-мембранное разделение эмульсий

Принципиальное конструктивное решение – вертикально расположенные мембранные трубки с внешним селективным слоем находятся в толще коалесцирующей насадки и контактируют с ней, т.е. насадка не просто предварительно понижает содержание масла, а конкурирует с мембраной за каждую каплю, предотвращая таким образом замасливание мембран. Для реализации совмещенного процесса была использована установка, схема которой представлена на рис. 2. В мембранный аппарат была добавлена коалесцирующая насадка.

На основании ранее полученной зависимости $k_{оч}$ от расхода эмульсии был определен предельный расход в сконструированном аппарате, который при объеме насадки 2 л составил 52 л/час, т.е. расход в насадочных объемах – $0,45 \text{ мин}^{-1}$. Выбранное рабочее давление 3 бар поддерживалось во всех экспериментах. Удельная производительность мембран при этом составляет порядка $400 \text{ л/м}^2\text{час}$ и для определенного предельного расхода необходима площадь мембран $0,13 \text{ м}^2$. Исходная концентрация масла $C_{исх} = 100 \text{ мг/л}$.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы механизма гибридного разделения были проведены сравнительные эксперименты в разработанном аппарате, соответственно, в режиме одноступенчатой очистки, когда из аппарата изымались или мембраны, или насадка, а также в совмещенном двухступенчатом режиме. В эксперименте контролировалась степень очистки воды от масла (рис.13), а также ресурсные возможности аппарата. Длительные эксперименты проводились на свежеприготовленной эмульсии без рецикла потоков.

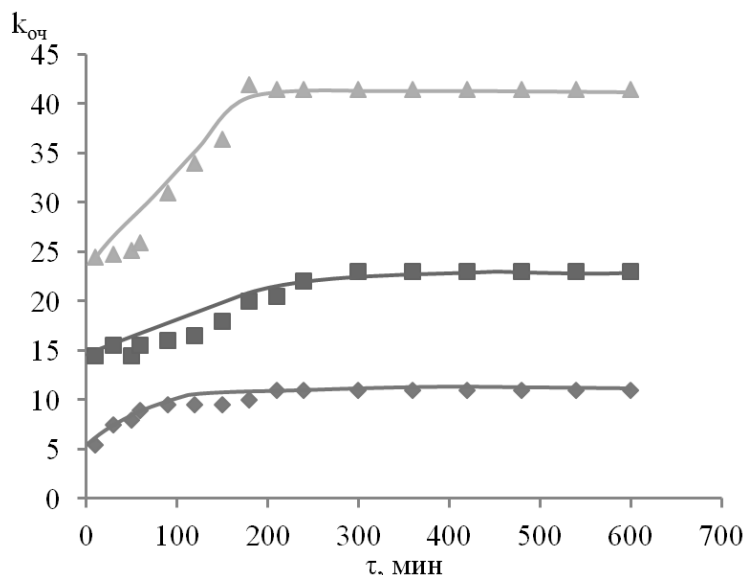


Рис. 13. Ход изменения коэффициента очистки во времени в различных режимах обработки эмульсии:

- ◆ контактная коалесценция
- мембранное разделение
- ▲ совмещенный процесс

Гибридный аппарат обеспечивает заметно лучшую очистку. Но главный вопрос — ресурс работы мембран. На рис.14 представлены динамики изменения относительной удельной производительности мембран в сконструированном аппарате без и при наличии коалесцирующей насадки.

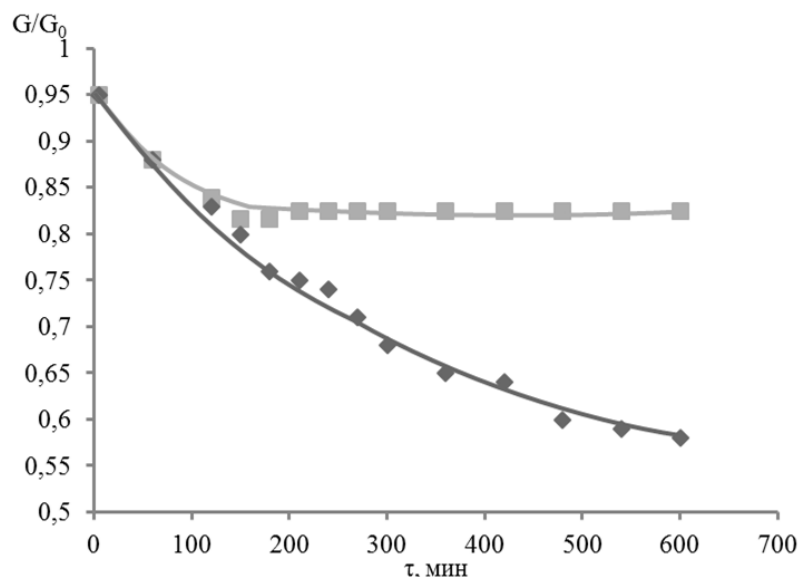


Рис. 14. Ход изменения относительной удельной производительности мембран КФЭ-1 во времени без и при наличии коалесцирующей насадки:

- мембранное разделение
- ▲ совмещенный процесс

Спустя некоторое время гибридный аппарат выходит на стационарный режим, тогда как мембраны без защитной оболочки из коалесцирующей насадки замасливаются.

Сконструированный аппарат успешно прошел ресурсные испытания — снижение производительности произошло на 8% в течение первых 3 часов работы, после чего аппарат устойчиво функционировал 400 часов.

3.4. Апробация разработанного технологического решения

Заказ корпорации Росатом заключался в разработке установки для очистки кубовых остатков ЖРО от органических загрязнений. В качестве последних в отходах содержится машинное масло и ПАВ. Блок-схема установки представлена на рис. 15.

Пилотные испытания проводили при давлении 3 бара, производительность установки, в том числе и коалесцентно-мембранного аппарата – 420 л/м²ч. Эффективность очистки составила 70-90% в зависимости от условий проведения процесса разделения. Микроскопический анализ фильтрата показал отсутствие эмульгированной масляной фазы, т.е. остаточная органика представлена растворенными компонентами. Испытания проводились на предприятии ФГУП «Радон», о чем имеется акт испытаний. Результаты испытаний признаны успешными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения диссертационных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработана новая концепция физико-химического механизма «замасливания» мембран, включающая проникновение капель прямых эмульсий через неселективные поры мембраны и контактную коалесценцию капель внутри пористой структуры мембраны.

2. Используя модифицированную автором модель контактной коалесценции, были получены аналитические зависимости эффективности коалесценции от параметров коалесцирующего материала – величины свободного объема, толщины слоя, характеристического размера.

3. Предложена технология коалесцентно-мембранного разделения эмульсий, позволяющая практически исключить явления «замасливания» мембран за счет конкурентной контактной коалесценции в примембранном слое.

4. Разработана конструкция коалесцентно-мембранного аппарата для разделения эмульсий, выбран оптимальный волокнистый коалесцирующий материал, продемонстрирована работоспособность аппарата в непрерывном режиме эксплуатации.

5. Разработанная технология коалесцентно-мембранного разделения эмульсий использована в пилотной установке по очистке жидких радиоактивных отходов от органических загрязнений, успешные испытания которой проведены на базе ФГУП «Радон».

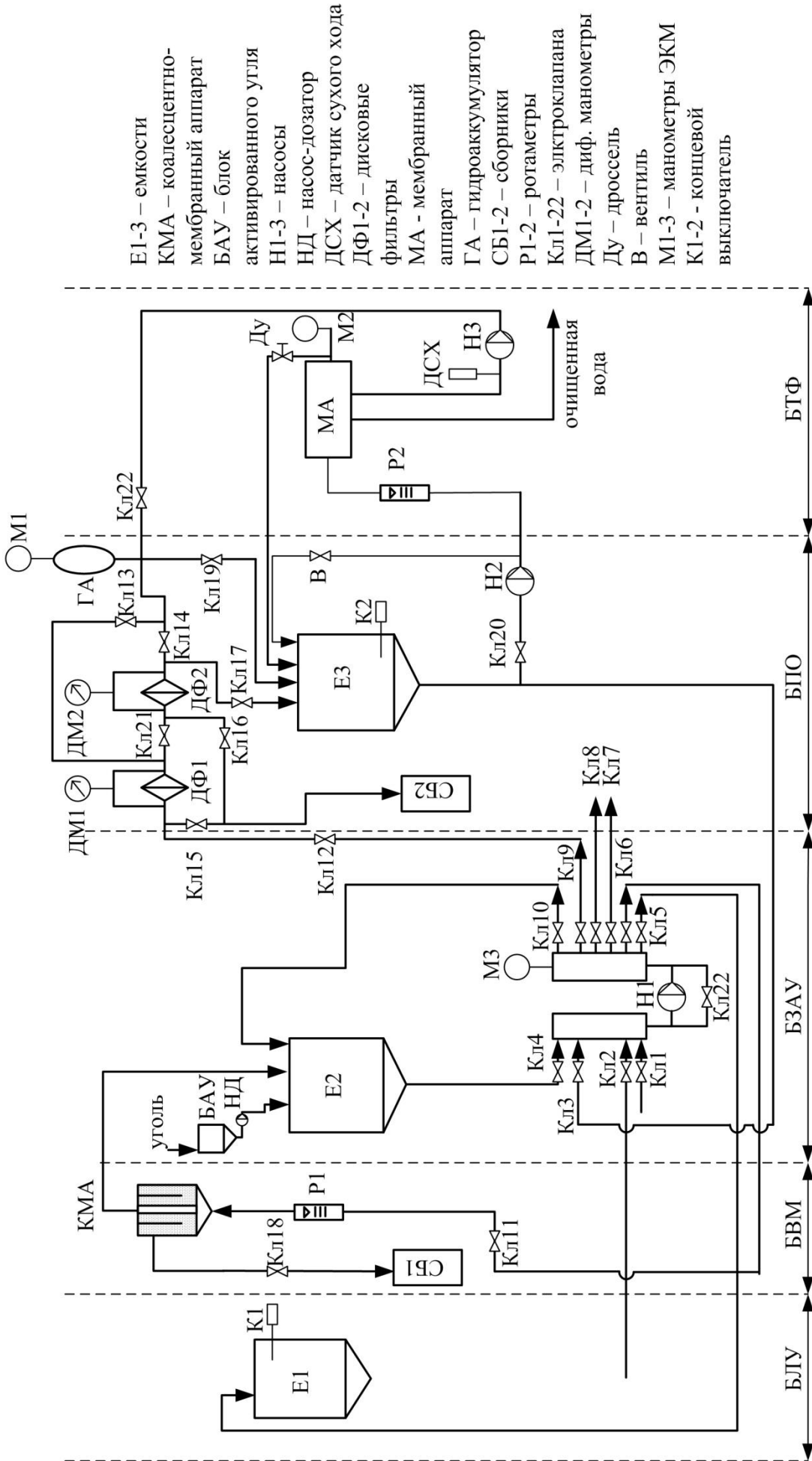


Рис. 15. Блок-схема установки очистки жидких радиоактивных отходов от органических веществ:
 БЛУ – блок приема и усреднения; БВМ – блок выведения масла; БЗАУ – блок загрузки активированного угля;
 БПО – блок первичного осветления; БТФ – блок тонкой фильтрации.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. **Копылова Л. Е.**, Лакина Т. А., Свитцов А. А., Каширин А. О., Булатников В. В. Коалесцирующая фильтрация как метод очистки нефтесодержащих сточных вод // МИР НЕФТЕПРОДУКТОВ. Вестник Нефтяных Компаний. 2012. №12. С.33-38.

2. **Kopylova L. E.**, Kashirin A. O., Svitsov A. A. Hybrid technology for separation of oil-in-water emulsions combining coalescing filtration and microfiltration // Journal of Petroleum Chemistry. 2013. V. 53. N. 8. P. 585-589.

3. **Kopylova L. E.**, Sedysheva S. A., Svitsov A. A. Membrane emulsification in extraction processes // Journal of Petroleum Chemistry. 2015. V. 55. N. 10. P. 847-861.

4. **Копылова Л. Е.**, Седышева С. А., Свитцов А. А. Мембранное эмульгирование в процессах экстракции // Мембраны и мембранная технология. 2012. Т.2. №4. С. 260-275.

5. **Копылова Л. Е.**, Свитцов А. А., Каширин А. О. Гибридная технология разделения водомасляных эмульсий, сочетающая коалесцентную фильтрацию и микрофильтрацию // Мембраны и мембранная технология. 2013. Т.3. №4. С. 277-282.

6. **Копылова Л. Е.**, Каширин А. О., Свитцов А. А., Каширина О. В. Гибридная технология разделения водомасляных эмульсий, сочетающая коалесцентную фильтрацию и микрофильтрацию // Успехи в химии и химической технологии. 2013. Т. 27. № 8 (148). С. 130-133.

7. **Копылова Л. Е.**, Свитцов А. А. Комбинация с нужным результатом: сочетание процессов коалесцирующей фильтрации и мембранного разделения для очистки воды от эмульгированных нефтепродуктов // Вода magazine. 2014. № 5 (81). С. 46-47.

8. **Копылова Л. Е.**, Свитцов А. А., Хабибова Н. З. Очистка воды мембранной экстракцией // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 2015/9 (93). С. 18-21.