

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
цифровому развитию
ФГБОУ ВО «Владимирский
государственный университет им. А.Г.
и Н.Г. Столетовых»
д.ф.-м.н., доцент



А.О. Кучерик

«6» сентября 2022 года

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Маркелова Александра Владимировича: «Научные основы разработки баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы (строительство)».

Структура и объем работы

На отзыв ведущей организации представлен автореферат диссертации на 32 страницах и диссертация, состоящая из введения 7 глав, основных выводов и результатов по работе, списка используемых источников, содержащего 305 наименований, и 7 приложений. Основная часть диссертации содержит 380 страницы машинописного текста, в число которых входят 116 рисунков и 66 таблиц.

Актуальность работы

Рациональное использование природных ресурсов, защита их от загрязнений, умелое их восстановление – неотъемлемые признаки истинно передовых, отвечающих требованиям времени, технологических процессов.

Отработанные технические жидкости и нефтесодержащие водные стоки, образующиеся в результате эксплуатации строительной техники и

производства строительных материалов, необходимо рассматривать как вторичный ресурс, повторное использование которого является главным условием экологичности данного производства.

Рассмотрению вопросов обеспечения параметров баромембранного разделения, выбору и проектированию мембранных аппаратов и систем для решения конкретных технологических задач уделялось в работах отечественных и зарубежных исследователей.

Остаются малоизученными вопросы, связанные с теоретическим и экспериментальным исследованием процессов разделения водомасляных систем (ВМС) в зависимости от параметров обрабатываемых сред, технологических режимов, масштабов процесса и требований к конечному продукту.

В связи с этим работа Маркелова А. В., направленная на разработку общего методологического подхода моделирования процессов разделения отработанных технических жидкостей, которые представляют собой водомасляные системы, определение изменения их свойств, разработка методики инженерного расчета параметров процессов и баромембранных аппаратов разделения для создания малоотходных технологий, является актуальным.

Научная новизна результатов

Научная новизна результатов, полученных автором, сводится к следующим положениям:

- на основе анализа отечественного и зарубежного опыта, а также собственных теоретических исследований автором научно обоснована общность методологического подхода к математическому моделированию массопереноса в процессе ультраfiltrации водомасляных систем;

- исследованы основные физико-химические процессы в пограничном слое «жидкость - твердое тело» дающие возможность прогнозировать осадкообразование по длине трубчатого мембранного модуля при ультраfiltrации водомасляных систем;

- разработана математическая модель массопереноса в процессах ультрафильтрации водомасляных систем на уровне феноменологических уравнений, базирующаяся на записи краевой задачи нестационарности перепада давления, величина которого распределена по координате по произвольному закону, учитывающая физические свойства жидкой среды и коэффициент удельной проницаемости мембранного элемента;

- разработана математическая модель массопереноса в процессах ультрафильтрации водомасляных систем на уровне феноменологических уравнений, базирующаяся на записи краевой задачи нестационарной массопередачи, учитывающая внутреннюю диффузию и внешнюю массоотдачу через полупроницаемую перегородку;

- получены аналитические решения задач массопереноса в процессах ультрафильтрации для системы «жидкость - твердая фаза», позволяющие рассчитывать концентрации примесей в концентрате и пермеате, и продолжительность баромембранного процесса регенерации водомасляных систем;

- определены значения коэффициентов массопередачи растворителя и массоотдачи растворенного вещества от ядра потока к поверхности мембраны при турбулентном режиме течения потока в широком диапазоне числа Шмидта для рассматриваемых систем;

- разработаны методика и экспериментальная установка для исследования процессов ультрафильтрации отработанных технических масел, защищенная патентом на полезную модель № 191308 РФ от 01.08.2019, позволяющая изучать кинетику и динамику массопереноса при ультрафильтрации жидких нефтесодержащих сред.

Практическая ценность диссертации

Не вызывает сомнения практическая ценность рассматриваемой работы, которая заключается в следующем:

- разработан метод расчета нестационарного процесса проточной ультрафильтрации масляных и водомасляных систем в модуле на основе трубчатых фильтрующих элементов, который позволяет рассчитать изменение параметров состояния и характеристик системы;

- разработана методика инженерного расчета баромембранного аппарата по очистке смеси отработанных моторных масел;

- предложено решение, позволяющее определить потери напора в трубчатом мембранном элементе, что позволяет осуществить обоснованный выбор насоса баромембранного аппарата;

- предложено решение, описывающее увеличения срока службы мембранных элементов безреагентным способом с применением пульсирующего внешнего избыточного давления;

- разработана технология по производству из очищенного продукта пластичной смазки на кальциевой основе;

- на основании теоретических и экспериментальных исследований предложены новые способы регенерации отработанных моторных масел и конструкции аппаратов для их осуществления, защищенные патентами на изобретение (№ 2613558 РФ) и полезные модели РФ (№126959, №129926, №161201 № 191308 РФ).

- разработаны способы разделения отработанных моторных масел при конструктивной простоте и малых энергетических затратах, которые позволяют достичь высокой степени очистки, сопоставимой с качеством масел, прошедших глубокую многостадийную очистку, которая включает в себя атмосферную перегонку, экстракцию пропаном, вакуумную перегонку, а также ступень гидроочистки.

Структура и содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, представлена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен анализ современного состояния и проблем развития ультрафильтрации промышленных жидких отходов, содержащие высокомолекулярные соединения. Рассмотрены основные виды жидких промышленных отходов, содержащие высокомолекулярные соединения, методы их переработки и связанные с этим проблемы.

Отмечена роль баромембранных процессов в современном промышленном производстве и проанализированы перспективные виды технологических процессов и оборудование для ультрафильтрации жидких коллоидных систем.

Проанализированы исследования отечественных и зарубежных научных школ в области массообмена вблизи селективно-проницаемых поверхностей, проницание и диффузию, гидродинамический поток, равновесные соотношения, коэффициенты массопереноса, методы решения задач оптимизации.

На основании проведенного информационно-аналитического обзора определены основные направления, сформулирована гипотеза, цель, проблема и задачи исследования.

Во второй главе приведены методология исследования и моделирование процессов ультрафильтрации жидких коллоидных систем.

Сформулированы физическая и математическая постановка задач для расчета процесса массопереноса через пористую перегородку.

Массоперенос описывается дифференциальными уравнениями параболического типа в частных производных. Решение краевой задачи массопереноса выполнено с использованием интегральных преобразований Лапласа.

Приведенная методология теоретического исследования процесса ультрафильтрации позволила получить закономерности влияния величины удельной производительности мембран на потери давления в аппарате трубчатого типа, с учетом физико-химических свойств очищаемой жидкости и технологических параметров установки и мембран

В третьей главе проведена экспериментальная оценка процессов баромембранного разделения водомасляных систем. Целью экспериментального исследования является определение влияния различных входных параметров на процесс ультрафильтрации отработанных водомасляных систем (ВМС), что позволило получить аргументированный ответ на вопросы, связанные с выбором материала и физических характеристик мембран, разработке технологических процессов по очистке отработанных водомасляных систем для конкретных производственных условий.

Для достижения поставленной цели в процессе работы над диссертацией был сделан выбор объектов, методик и оборудования для проведения экспериментальных исследований и решены следующие задачи:

- изучены методы количественно-химического анализа ВМС;
- проведен количественный и химический анализ отработанных ВМС;
- разработан метод экспресс анализа по определению концентрации асфальто-смолистых веществ в отработанных масла методом турбидиметрии;
- созданы экспериментальные установки по разделению на компоненты отработанных ВМС, позволяющие исследовать влияние рабочего давления, температуры среды и скорости потока на кинетику процесса УФ.

В четвертой главе проведено экспериментальное подтверждение основных закономерностей ранее полученных модельных представлений.

Для определения адекватности полученной модели проведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений концентрации за определенные промежутки времени.

В результате проведенного исследования была проведена адаптация теории турбулентной диффузии частиц из ядра потока в пограничный слой и доказано ее влияние на образование осадка на поверхности разделения ультрафильтрационной мембраны.

На основе теории турбулентной миграции частиц из ядра потока к стенкам решена задача по определению коэффициентов массоотдачи и

интенсивности осаждения частиц при активном гидродинамическом режиме течения дисперсного потока отработанных масел в трубчатом канале при значениях параметра скорости потока $u = 1 - 10$ м/с и числе Рейнольдса $Re = 520 - 5500$.

Задачи по определению коэффициента массоотдачи и интенсивности осаждения частиц хорошо согласуются с теоретическими выкладками Прандтля, Кармана и Ландау-Левича.

Практическая значимость полученных моделей заключается в определении компонентов, способных образовывать отложения на мембране и способа вывода их из раствора без проведения трудоемких экспериментов.

Пятая глава диссертации посвящена разработке инженерных методов расчета технологического процесса и аппаратов по регенерации отработанных масел:

1. Предложена комплексная технология, которая состоит из подготовительной стадии (коагуляция, центробежная сепарация) и окончательной стадии (ультрафильтрация). В результате предложенной технологии возможно производить очистку водомасляных систем от продуктов загрязнения и получать базовое сырье для производства различных нефтепродуктов. Проведена модернизация методики инженерного расчета ультрафильтрационного аппарата по разделению вязких жидкостей. В методике сделано уточнение по выбору мембранных элементов, определению наблюдаемой селективности, учитывающее конвективно-диффузионный массообмен при турбулентном режиме течения разделяемого потока, и расчету потерь давления в трубчатом канале и дренажном слое керамической мембраны;

2. Приведена методика расчета кинетики нейтрализации органических кислот в процессе коагуляции продуктов загрязнения;

3. Приведена методика инженерного расчета центробежного сепаратора. В методике предусмотрена возможность проверки выбранного сепаратора по требуемой для ультрафильтрации производительности;

4. Приведена методика по выбору электронагревателя для разогрева и поддержания температурного режима в исходном резервуаре;

5. Разработанные методики могут использоваться при проектировании аппаратов по очистке водомасляных систем.

В шестой главе рассмотрены вопросы повышения эффективности баромембранных процессов разделения водомасляных систем.

В результате проведенного исследования было показано влияние различных коагулянтов на укрупнение частиц загрязнений отработанных масел. Коагулянт реагирует с моюще-диспергирующей присадкой, разрушает коллоидную систему, состоящую из асфальто-смолистых соединений и соответствующей присадки, а также взаимодействует с нафтеновыми, нафтенопарафиновыми и нафтено-ароматическими кислотами.

Перед стадией ультрафильтрации отработанных масел необходимо проводить обязательную стадию предварительной подготовки на центробежном сепараторе, что позволит вывести из раствора частицы загрязнений, повышающие вероятность образования осадка.

На основании теории фильтрования были обоснованно выбраны материалы полимерных и керамических мембран для ультрафильтрации отработанных масел.

В результате экспериментов по промывке мембранных элементов сделан вывод о том, что обратная промывка для керамических мембран является наиболее эффективной и будет использоваться при инженерном проектировании ультрафильтрационных аппаратов по разделению водомасляных систем.

В седьмой главе рассматривается промышленное применение процессов ультрафильтрации для регенерации отработанных масел.

На основании анализа различных процессов по очистке водомасляных систем были разработаны ряд инновационных решений, в основном связанных с наличием в отработанных маслах компонентов, отрицательно влияющих на нормальное функционирование мембран. Предложены способы

предварительной обработки исходных растворов перед подачей на мембранные аппараты и методы регенерации мембранных элементов от осадков, образующихся в процессе очистки ОМ.

В результате расчетов разработана конструкция ультрафильтрационного модуля и баромембранной установки в целом, проведено ее секционирование, показано влияние гидродинамического режима на эффективность разделения и компоновку.

Расчет экономической эффективности показал, что при капитальных вложениях в размере 4837,7 тыс. руб. проект способен окупиться через 2,5 года. Таким образом, данная технология является конкурентоспособной на рынке оборудования по очистке водомасляных систем.

В результате проведенной НИОКР было показано, что разрабатываемая технология является малоотходной. В результате регенерации отработанных масел возможно получать базовое сырье для производства пластичных смазочных материалов, а из отходов ценные углеродосодержащие продукты для различных отраслей промышленности.

Достоверность результатов, выводов и рекомендаций

подтверждается использованием апробированных методов математического моделирования процессов массопереноса; удовлетворительной сходимостью результатов аналитических расчетов с экспериментальными данными; сопоставлением полученных результатов с опубликованными результатами исследований других авторов; использованием стандартных методов и средств измерения параметров.

Рекомендации по практическому применению результатов работы

Результаты диссертационной работы Маркелова А.В. могут быть использованы в инженерной практике при проектировании и модернизации технологических аппаратов по очистке водомасляных систем на предприятиях и организациях, у которых образуются подобные виды отходов, и на предприятиях по утилизации нефтесодержащих отходов производства.

Замечания по содержанию и оформлению диссертации

Учитывались ли при составлении математического описания размер и форма осаждаемых частиц. Каким образом измерялся (или не измерялся) размер и форма частиц дисперсной фазы,

По нашему мнению, при разработке математической модели необходимо учитывать коэффициент диффузии материала через пористую пленку и извилистость пор в мембранах различного типа.

Неравномерный интервал значений по оси абсцисс в ряде графиков вызывает сомнения в достоверности полученных результатов.

В работе не решены вопросы утилизации отходов предлагаемого производства.

Из работы непонятно, существуют ли ограничения, связанные с размером частиц исходной смеси, при использовании предлагаемой модели. Нужна ли предварительная подготовка исходного сырья перед его очисткой.

Из работы и доклада соискателя не понятен вклад автора в разработку методики и расчета ультрафильтрационных процессов, то ли это обобщение известного мирового опыта, то ли это авторская разработка.

Не ясно, измерялась ли толщина осадка на мембране.

Автором приведены данные по адекватности предложенной модели, хотя никаких расчетов для этой цели не сделано. Критерий адекватности не рассчитан. Поэтому говорить об адекватности модели не корректно.

Однако сделанные замечания и отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на ее общую положительную оценку.

Заключение

Содержание работы достаточно полно отражено в 70 опубликованных печатных работах, в том числе в 29 изданиях, рекомендуемых ВАК, имеются

пять патентов на изобретение и полезную модель, акты внедрения в производство.

Диссертация написана хорошим литературным языком, в соответствии с нормативными требованиями к оформлению печатных работ. Содержание автореферата полностью соответствует материалам, изложенным в диссертации.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Работа соответствует паспорту специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы (строительство)»:

в части формулы специальности:

решение проблем данной области знаний требует научно-технических обоснованных новых эффективных методов и технологий проектирования, создания и модернизации процессов машин и агрегатов и их эксплуатации в различных отраслях промышленности;

в части области исследования следующим пунктам:

1- разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов; механизации производства в соответствии с современными требованиями внутреннего и внешнего рынка, технологии, качества, надежности, долговечности, промышленной и экологической безопасности;

2 - разработка параметрических рядов машин на основе унификации и оптимизации отдельных узлов и агрегатов и оптимизационного синтеза производственных систем из них;

3 - теоретические и экспериментальные исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций;

5 - разработка научных и методологических основ повышения производительности машин, агрегатов и процессов, и оценки их экономической эффективности и ресурса.

Диссертация Маркелова Александра Владимировича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой разработаны методологические основы моделирования и расчета процессов баромембранного разделения отработанных водомасляных систем, на основе которых изложены научно-обоснованные технологические решения, которые вносят существенный вклад в строительную и смежные с ней отрасли, и полностью отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор заслуживает ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы (строительство)».

Диссертационная работа Маркелова А.В. заслушана и обсуждена на расширенном заседании кафедры «Химические технологии» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», протокол № 10 от 29 июня 2022 год.

Заведующий кафедрой
«Химические технологии»
ФГБОУ ВО «ВлГУ
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»
доктор технических наук, профессор
(специальность 05.17.06 Технология и
переработка полимеров и композитов)



Ю.Т. Панов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.
Тел.: +7 (4922) 33-13-91.
E-mail: oid@vlsu.ru.