

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Маркелова Александра Владимировича

на тему «Научные основы разработки баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств» по специальностям 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство), представленной на соискание ученой степени доктора технических наук

Актуальность избранной темы

В предприятиях строительной, химической, автомобильной, машиностроительной и других отраслей промышленности образуются отработанные технологические жидкости, где концентрация примесей и их качественный состав могут варьироваться в широких пределах. Эксплуатация строительно-дорожной техники, автомобилей и оборудования приводят к образованию большого количества отработанных моторных, трансмиссионных, индустриальных и гидравлических масел.

Рациональным направлением в решении современных экологических проблем представляется практическая реализация концепции предотвращения загрязнения, что обуславливает разработку более безопасных технологий и создание принципиально нового оборудования. Важнейшее условие организации малоотходного производства — наличие системы обезвреживания неиспользуемых отходов, в первую очередь токсичных неразрывно связано с процессами мембранного разделения, таких как микрофльтрация (МФ), ультрафльтрация (УФ), нанофльтрация (НФ), которые эффективнее и экономичнее обычных методов разделения.

Выбор технологических параметров и моделирование процессов разделения отработанных технических жидкостей, которые представляют собой водомасляные системы, определение изменения их свойств, разработка методики инженерного расчета параметров процессов и аппаратов БМ разделения для создания малоотходных технологий, является актуальным.

Приведенные соискателем в диссертации результаты исследований соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития России, что сформулировано в «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной Указом Президентом РФ №642 от 01 декабря 2016 г.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации по научным основам разработки баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств являются теоретически обоснованными в рамках современных представлений о механизме баромембранных процессов.

В основе предложенных технологических рекомендаций лежат полученные автором оригинальные данные по баромембранным исследованиям и моделированию процессов мембранного разделения растворов.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и Российских конференциях.

Достоверность полученных научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, базируется на применении химических, и физико-химических методов исследования, использования современного оборудования. Полученные результаты не противоречат фундаментальным представлениям по химической технологии баромембранных процессов и данным других авторов.

Обоснованность заключений и выводов подтверждена опытно-промышленными испытаниями разработанных на их основе технических решений. Выводы и научные положения аргументированы, прошли апробацию на научных конференциях и опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Результаты работы были представлены, обсуждены и одобрены на международных научно-практических

конференциях: «Информационная среда вуза» (Иваново, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016); «Экология. Риск. Безопасность» (Курган, 2010); «Инновации в транспортном комплексе. Безопасность движения. Окружающая среды» (Пермь, 2010); «Ауезовские чтения – 10: «20-летний рубеж: инновационные направления развития науки, образования и культуры» (Шымкент, Казахстан, 2011); «Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса» (Иваново, 2012); Международная заочная научная конференция «Research Journal of International Studies» (Екатеринбург, 2015); "Золотовские чтения" (РААСН, Москва, 2018); «Мембраны – 2019» (Сочи, 2019); XI Всероссийская научно-практическая конференция «Надежность и долговечность машин и механизмов» (Иваново, 2020); 5-ая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» (Курск, 2020); XXI International scientific conference «EUROPEAN SCIENTIFIC CONFERENCE» (Анапа, 2020); XIII Международная научно-техническая конференция «Трибология – машиностроению», (Москва, 2020); Международного Симпозиума по Трибологии YarTribNord 2021(Ярославль, 2021); «XVI Минский международный форум по теплообмену» (Минск, 2022).

Новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций заключается в следующем:

- 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;

- теоретически и экспериментально показана адекватность разработанных математических моделей реальному физическому процессу, что дает возможность использовать полученные модели для модернизации инженерной методики расчета баромембранных аппаратов для процессов ультрафильтрации отработанных моторных масел отечественными

ультрафильтрационными мембранами с целью его повторного использования.

Значимость для теории и практики полученных автором результатов:

- в разработке научных основ моделирования и расчета баромембранных процессов разделения, адекватно описывающих изменение селективности и проницаемости полимерных мембран с учетом влияния изменения перепада давления по длине канала, профилей скоростей, концентрации раствора и образования осадка от гидродинамического режима, что позволяет решать задачи по повышению эффективности, проектированию и модернизации ультрафильтрационных аппаратов. Для данных БМ процессов и аппаратов разработан ряд алгоритмических и программных средств реализации нового подхода в практике моделирования и расчета.

- в усовершенствование моделей, позволяющих осуществлять синтез алгоритма, соответствующего физической сущности моделируемого объекта. Разработанная система позволяет минимизировать объем базового эксперимента и сокращать сроки проектирования.

- в моделировании процессов со смешанным механизмом разделения, случаев при которых явления образования осадка и концентрационной поляризации контролируются различными компонентами и определяются разными транспортными механизмами случаев, описание которых представляется затруднительным на основании эмпирического подхода.

- в разработке метода расчета нестационарного процесса проточной ультрафильтрации масляных и водомасляных систем в модуле на основе трубчатых фильтрующих элементов. Метод позволяет рассчитать изменение параметров состояния и характеристик системы.

- в получении, численные решений для ряда практических объектов, методика инженерного расчета баромембранного аппарата, определить потери напора в трубчатом мембранном элементе,

определение срока службы мембранных элементов, определение количества очищенного продукта пластичной смазки на кальциевой основе и очищенного продукта эмульсола для смазки металлических форм при изготовлении железобетонных конструкций;

- в теоретических и экспериментальных исследованиях, где 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).

- в разработке способов 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.

Практические аспекты работы в частности, разработанные методики расчета, результаты пилотных испытаний и т.д., подтверждены актами по внедрению промышленных установок на производственной базе ООО «Строй Ком» г. Тверь и ООО «УЛЬТРАПОР» г. Иваново. Целесообразность внедрения данных разработанных технологий подтверждается Грантом, выданным Фондом содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере по договору 3642ГС1/60673 от 06.08.2020.

По результатам работы получено 5 патентов на изобретение и полезные модели. Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Содержание диссертации, её завершенность

Диссертационная работа Маркелова А.В. представляет собой анализ проблем, связанных с разработкой научных основ баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин

строительных производств. Полученные результаты изложены автором в 7 главах, заключения, приложений, списка литературы из 305 наименований цитируемой литературы. Основная часть диссертации содержит 380 страницы машинописного текста, в число которых входят 116 рисунков и 66 таблиц.

Во введении автором обоснована актуальность темы исследования, отражена степень её разработанности, определены цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, их достоверность, научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, проведен анализ современного состояния и проблем развития мембранной фильтрации 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.

Вторая глава посвящена методологии исследования и моделированию процессов ультрафильтрации жидких коллоидных систем. методология теоретического исследования процесса ультрафильтрации Разработанная методология теоритического исследования 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

Третья глава посвящена экспериментальной оценке 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.

В результате проведенных экспериментальных исследований был сделан вывод о том, что для данных условий процесса разделения повышение температуры, является наилучшим способом интенсификации процесса ультрафильтрации. В результате проведенных экспериментов исследовано влияние трансмембранного давления на проницаемость и селективность. Определено, что максимальные производительность и селективность получаются при перепаде давления 0,3 – 0,4 МПа.

В результате выполненных исследований определено, что водоземulsionные стоки холдинга Комбината строительных конструкций г. Иваново КСК, содержат, в основном, смазку для форм и опалубки марки «Полипласт Форм» тип 3. При этом данная водомасляная система является полидисперсной с размерами частиц 56 нм и 144 нм, а после разрушения эмульсии происходит увеличение размера частиц до 113 нм и 959 нм, что соответствует рабочему диапазону ультрафильтрационных мембран

Четвертая глава рассматривает экспериментальное подтверждение основных закономерностей ранее полученных модельных представлений. Определены потери давления, по ранее представленному выражению, где расхождение с экспериментальными данными в пределах 5-10%. Произведена проверка адекватности полученной модели путем

сравнительного анализа экспериментальных и расчетных значений концентрации за определенные промежутки времени для мембраны на основе фторопласта. 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

Пятая глава диссертации посвящена разработке инженерных методов расчета технологического процесса и аппаратов по регенерации отработанных масел: предложена комплексная технология, которая состоит из подготовительной стадии (коагуляция, центробежная сепарация) и окончательной стадии (ультрафильтрация); 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; приведена методика расчета кинетики нейтрализации органических кислот в процессе коагуляции продуктов загрязнения; приведена методика инженерного расчета центробежного сепаратора. В методике предусмотрена возможность проверки выбранного сепаратора по требуемой для ультрафильтрации производительности; приведена методика по выбору электронагревателя для разогрева и поддержания температурного режима в исходном резервуаре.

Шестая глава посвящена вопросам 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. Экспериментально доказаны неодинаковый механизм загрязнений мембран из различных материалов. Установлено, что мембраны из МПВХ имеют самое большое сопротивление, т.к. имеет место полная забивка матрицы мембраны в начальный период работы. Наиболее равномерным распределением пор обладает мембрана на основе фторопласта (Ф) и керамических (КЭУФ), а самое неравномерное распределение пор у мембран модифицированного поливинилхлорида (МПВХ).

Седьмая глава рассматривает 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 заключении приводятся выводы по приведенным исследованиям баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных

Список цитируемой литературы состоит из 305 наименований.

Результаты работы апробированы на Всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 70 работе, из них 29 публикаций в периодических изданиях аффилированных ВАК РФ, 8 из которых в международных базах цитирования Scopus и WoS. По результатам диссертационной работы получены 5 патентов на изобретение и полезные модели.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой.

По объему и структуре работа соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым докторским диссертациям.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

К достоинствам диссертационной работы Маркелова А.В. следует отнести разработку научных основ баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств.

Рекомендуемые научные решения автором позволили разработать энергоресурсоэффективные баромембранные технологии регенерации водомасляных систем для агрегатов и машин строительных производств.

Основному содержанию диссертационных исследований предшествует анализ проблемы, из которых закономерно вытекает цель, пути решения и полученные результаты.

По диссертационной работе имеются вопросы и замечания.

1. В своей работе автор дают достаточно обширный аналитический обзор по ультрафильтрационным методам разделения водомасляных систем, где цитируется 105 зарубежных и отечественных источника. Однако почему-то автор не часто упоминает о таких процессах как микрофльтрация, нанофльтрации и обратном осмосе осуществляемых также под трансмембранным давлением.

2. В своей работе автору следовало бы придерживаться терминологии ИЮПАК, где концентрат обозначается как ретентат, избыточное давление как трансмембранное давление, селективность как коэффициент задержания, а удельная производительность как удельный выходной поток.

3. В экспериментальных исследованиях соискатель использовал девять марок мембран, таких как, фторопласт, полисульфон, полисульфонамид, поливинилхлорид, модифицированный поливинилхлорид и три вида керамики. Отсюда возникает вопрос, каким видам мембран автор отдал предпочтение при проектировании аппаратов и установок промышленного вида.

4. В своих исследованиях автор для снижения поляризационных явлений применяет приемы изменения конструкции аппарата, но почему для трансформации пограничных слоев в мембранном не использует поля физической природы, например электрическое, электромагнитное и др., хотя при описании математического моделирования во второй главе соискатель рассматривает влияния электрического потенциала на массоперенос через полупроницаемые мембраны.

5. При проведении экспериментальных исследований автор использует реальные растворы, однако не понятно почему соискатель не

учитывает влияния многокомпонентности и ПАВ на эффективность баромембранной регенерации водомасляных систем, хотя известно, что водомасляные растворы многокомпонентны и в них присутствуют поверхностно активные вещества.

6. В своих экспериментальных исследованиях автор использовал лабораторные и пилотные установки. Вопрос, а можно с использованием критериев подобия и масштабирования полученные данные применить при проектировании и изготовлении, например промышленных нанофильтрационных и обратноосмотических аппаратов и установок.

7. В диссертационной работе красной чертой прослеживается огромный экспериментальный материал, однако, но не ясно как выбирался метод статистической обработки экспериментального материала и рассматривалось его сравнение с другими методами.

Приведенные замечания носят дискуссионный характер и не в коем случае не затрагивают научной и практической значимости диссертационной работы.

Заключение

Таким образом, диссертационная работа Маркелова Александра Владимировича является научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема по разработки баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств, имеющая важное значение для экологической безопасности и экономики страны.

Диссертационная работа Маркелова Александра Владимировича на тему «Научные основы разработки баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств» по специальностям 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство), представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденного Правительством Российской Федерации от 24

сентября 2013 г. №842 (в редакции постановления правительства РФ от 1 октября 2018 г. №1168), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

Считаю, что автор диссертационной работы Маркелов Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство),

Официальный оппонент, доктор технических наук
(диссертация по специальности 2.6.9- Технология электрохимических процессов и защита от коррозии),
профессор, заведующий кафедрой «Механика и инженерная графика»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Тамбовский государственный
технический университет» Лазарев Сергей Иванович



2.09.2022

Адрес 392000, г. Тамбов, ул. Советская 106,

Рабочий телефон: 84752600370

E-mail: kafedra_mig@mail.ru

