

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу

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)

Актуальность темы. Диссертация А.В. Маркелова посвящена решению задач моделирования баромембранных процессов и разработке на их основе методики проектирования аппаратов для разделения водомасляных систем. Целью научной работы является разработка общего методологического подхода к исследованию, созданию и применению в строительной отрасли установок и баромембранных процессов (БМП) регенерации отработанных водомасляных систем с использованием трубчатых ультрафильтрационных мембран.

В настоящее время растет интерес к исследованиям в области мембранных технологий в различных отраслях промышленности: химической, нефтехимической, медицинской, пищевой и других, предназначенных для подготовки и очистки водных ресурсов, разделения газовых смесей и высокомолекулярных соединений на компоненты и многое другое.

Основные положения теории мембранного разделения достаточно полно изложены в трудах российских и иностранных ученых. В то же время особенности фильтрования различных сред, требуют дополнительного исследования. Вопросы влияния различных факторов на производительность и селективность мембран, изменение их технического состояния под воздействием разделяемых растворов остаются сложными для исследования, поскольку каждый из факторов заслуживает отдельного наблюдения и исследования.

Разработка эффективных технологических процессов с использованием мембранных аппаратов невозможно без использования специальной методики, основанной на проведении глубоких теоретических и экспериментальных исследований.

Исследования в этой области представляют большой интерес. Актуальными являются как теоретические исследования в данной области, направленные на разработку математических основ для описания сложных процессов, происходящих на границе разделения фаз раствор-мембрана, так и апробация полученных результатов на практике.

Научная новизна и практическая значимость исследований. В диссертации А.В. Маркелова представлены результаты, обладающие научной новизной, имеющие практическую значимость:

- разработана математическая модель массопереноса в процессах ультрафильтрации водомасляных смесей позволяющая определять изменение 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, учитывающая внутреннюю диффузию и внешнюю массоотдачу через полупроницаемую мембрану;

- 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.

На основе полученных А.В. Маркеловым теоретических результатов разработан обобщенный методологический подход, показывающие практическую значимость предлагаемого автором метода исследования и проектирования баромембранных аппаратов, и позволяющий решать следующие задачи:

1. Методика инженерного расчета баромембранного аппарата по очистке смеси отработанных моторных масел;
2. Решение, позволяющее определить потери напора в трубчатом мембранном элементе, что позволяет осуществить обоснованный выбор насоса;
3. Решение, описывающее методы увеличения срока службы мембранных элементов с применением пульсирующего внешнего избыточного давления;
4. Создание опытно-промышленной установки 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;
5. Решение, показывающее 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.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Автором изучены и критически анализируются известные достижения и теоретические положения других авторов по вопросам фильтрования жидкостей баромембранными методами. Список использованной литературы содержит 305 наименований.

Обоснованность результатов, выдвинутых соискателем, основывается на согласованности данных эксперимента и научных выводов.

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований. Положения теории основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин, теории вероятности, математике и математической статистике, регрессивном анализе. В работе диссертант грамотно использует математический аппарат, корректно вводит новые понятия.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на многочисленных конференциях и научных семинарах. Имеется свидетельство о государственной регистрации пяти патентов на изобретения и полезные модели.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы как теоретическая база для синтеза алгоритма, соответствующего физической сущности моделируемого объекта, позволяющего минимизировать объем базового эксперимента и сокращать сроки проектирования баромембранных аппаратов.

Представленный в работе подход может быть использован при моделировании процессов со смешанным механизмом разделения, случаев при которых явления образования осадка и концентрационной поляризации контролируются различными компонентами и определяются разными транспортными механизмами, а также случаев, описание которых представляется затруднительным на основании эмпирического подхода.

Представленная в работе обобщенная методология может быть применена для 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.

Разработанная методика учитывает накопленный опыт в области восстановления отработанных моторных масел, ультрафильтрации жидких полидисперстных систем, гидродинамики и не требует переквалификации инженеров-механиков для освоения эксплуатационной установки.

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертация А.В. Маркелова состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложения.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач; характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация. Кроме того, дается краткое изложение содержания диссертации.

В первой главе проведен анализ современного состояния и проблем развития ультрафильтрации промышленных жидких отходов, содержащие высокомолекулярные соединения.

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.

В результате анализа рассмотренных научных работ автор показывает, что существует большое количество подходов и методов для описания процессов массопереноса в мембране, которые учитывают влияние осадкообразования и показывают недостатки существующих моделей, связанные с необходимостью наличия большого количества исходных данных, многие из которых получаются в ходе сложных предварительных экспериментов.

Автор делает вывод о том, что представляет существенный интерес разработка такой методики расчета процесса ультрафильтрации

водомаляных систем, которая позволит определять основные характеристики, как для нестационарного, так и для установившегося режимов при минимальном количестве исходных данных.

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 водомаляных систем. В результате теоретического исследования разработаны математические модели массопереноса в процессах ультрафильтрации водомаляных систем на уровне феноменологических уравнений, базирующиеся на записи краевой задачи нестационарности перепада давления и массопередачи, учитывающие физические свойства жидкой среды и коэффициенты проницаемости мембранного элемента, а также внутреннюю диффузию и внешнюю массоотдачу через полупроницаемую перегородку. Следует отметить подход для реализации поставленных задач, основанный на комбинированном методе микропроцессов, разработанной в научной школе академика РААСН С.В. Федосова, который позволяет найти аналитическое решение краевой задачи массопереноса для i -того микропроцесса с последующим привлечением численных методов для описания процесса в аппарате в целом.

Заслуживает внимания и адаптация теории турбулентной диффузии частиц на стенки трубопроводов к описанию явлений образования осадка на поверхности мембран при тангенциальном механизме разделения водомаляных систем и определение на его основе коэффициента массоотдачи частиц от ядра потока к поверхности разделения.

В третьей главе проведена экспериментальная оценка процессов баромембранного разделения водомаляных систем. В результате проведенных экспериментальных исследований автор произвел оценку влияния различных входных параметров на процесс ультрафильтрации отработанных водомаляных систем, 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 этого были созданы три экспериментальные установки, разработана оригинальная методика определения содержания асфальто-смолистых соединений на основе фотоколориметрии; кроме этого, автором использовались стандартные методы анализа физико-химических свойств объектов исследования.

В четвертой главе проведено экспериментальное подтверждение основных закономерностей ранее полученных модельных представлений, которое показало адекватность математических моделей и экспериментальных данных.

Пятая глава диссертации посвящена разработке инженерных методов расчета технологического процесса и аппаратов по регенерации отработанных масел. Наиболее существенным практическим значением результата работы в данном разделе является предложенная автором модернизация методики проектирования ультрафильтрационных аппаратов.

В шестой главе рассмотрены вопросы повышения эффективности баромембранных процессов разделения водомасляных систем. Маркелов А.В. в своей работе приходит к следующим выводам:

- перед баромембранным процессом очистки водомасляных систем необходимо проводить их предварительную подготовку с помощью коагуляции;

- лучшая удельная производительность у мембран с равномерным распределением пор, к которым относятся полимерные мембраны на основе фторопласта и керамические мембраны;

- необходимо проводить регенерацию мембран при падении удельной производительности на 30% для керамических мембран методом обратной промывки, а для полимерных мембран реагентным способом.

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

В результате расчетов разработана конструкция ультрафильтрационного модуля и баромембранной установки в целом, проведено ее секционирование, показано влияние гидродинамического режима на эффективность разделения и компоновку. Произведен расчет экономической эффективности от внедрения аппарата в организации ООО «Ультрапор», представлен акт о внедрении установки.

В целом диссертация А.В. Маркелова **является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач**, объединенных общим подходом, обеспечивающим возможность преодоления сложностей процессов протекающих в диффузионном слое мембранных трубчатых элементов. Результаты работы могут быть рекомендованы для ознакомления и внедрения на предприятиях и в организациях машиностроения, ЖКХ, нефтехимического и лакокрасочного комплекса.

К содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Вводная часть с обоснованием актуальности слишком затянута, но при этом не даются четкие формулировки, определения понятий, используемых в постановке задач, что затрудняет понимание условий решения поставленных задач, требований к результатам. Например: что понимается под пограничным, диффузионным слоем мембраны, какие между ними различия, и т.д.? На эти и другие вопросы можно ответить, только изучив основной текст работы.

2. Если речь идет об использовании численных методов (в частности, оценки адекватности математической модели), численных алгоритмов, то как можно оценить их точность?

3. В диссертационной работе слабо отражен вопрос влияния эксплуатационных показателей на техническое состояние мембран и удельную производительность процесса разделения (интенсивности

эксплуатации, условий эксплуатации, периодичности технического обслуживания).

4. Представленные экспериментальные данные показывают, что в ходе экспериментов были достигнуты относительно невысокие показатели по селективности (50 - 70 %).

5. Некоторые результаты носят описательный характер (раздел 4) и без особого ущерба могут быть сокращены.

Отмеченные недостатки снижают качество исследований, но они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Общее заключение

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие их квалифицировать как новые научно обоснованные технические и технологические решения в области конструктивного совершенствования и применения новых массообменных устройств в процессах ультрафильтрации, позволяющих обоснованно определять габариты установок для разделения водомасляных систем от примесей и повысить эффективность разделения, внедрение которых имеет важное прикладное значение для строительной, химической и нефтехимической отраслей промышленности и вносит существенный вклад в развитие страны. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По объему и значимости полученных результатов диссертационное исследование Маркелова Александра Владимировича «Научные основы разработки баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств» соответствует требованиям

«Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

Считаю, что 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
(специальность 05.17.18), профессор,
заведующий кафедрой
«Мембранные технологии»
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Российский
химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»
125047, г. Москва, Миусская
площадь, д. 9,
Тел.: +7 (903) 108-62-35,
E-mail: kadri@muctr.ru

Георгий Гайкович Каграманов

07.09.2022

Подпись Каграманова Г.Г. заверяю



(М.А. Вертманен)