

ОТЗЫВ

На диссертационную работу

Маркелова Александра Владимировича

«Научные основы разработки баромембранных процессов регенерации водомасляных систем агрегатов и машин строительных производств»,

Представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство)

Актуальность работы

Диссертационная работа посвящена актуальной теме разработки общего методологического подхода к исследованию, созданию и применению в строительной отрасли установок для баромембранных процессов регенерации отработанных водомасляных систем с использованием трубчатых ультрафильтрационных мембран. Эксплуатация строительно-дорожной техники, автомобилей и оборудования приводят к образованию большого количества отработанных моторных, трансмиссионных и гидравлических масел. Решение проблемы очистки окружающей среды от токсичных отходов неразрывно связано с процессами мембранного разделения, такими как ультрафильтрация, что обосновывает актуальность представленной диссертационной работы.

Ультрафильтрация применяется также в пищевой и молочной промышленности, фармацевтической, текстильной, металлургической промышленности, в производстве бумаги, в кожевенной промышленности. Разработанные в диссертации методы исследования могут быть применены и в этих отраслях.

Научная новизна

Исследованы основные физико-химические процессы на границе жидкость-твердое тело, позволяющие прогнозировать осадкообразование по длине

трубчатого мембранного модуля при ультрафильтрации водомасляных систем.

На основе уравнения сохранения массы и уравнения для потока импульса построена модель нелинейного падения давления в цилиндрических каналах с отбором массы. Получены аналитические решения. Исследована зависимость падения давления вдоль канала от характеристик мембраны и свойств раствора.

Построена модель массопереноса из ядра потока к поверхности мембраны процессе ультрафильтрации с учетом образования осадка на полупроницаемых поверхностях. Получена формула распределения концентрации в канале, выражения для скорости массопереноса и скорости образования осадка. Сделаны оценки влияния турбулентной диффузии на интенсивность массопереноса и на образование осадка.

Вычислены значения коэффициентов массопередачи растворителя и массоотдачи растворенного вещества от ядра потока к поверхности мембраны при турбулентном режиме течения в широком диапазоне чисел Шмидта для рассматриваемых систем.

Экспериментально показана адекватность разработанных математических моделей реальному физическому процессу, что дает возможность использовать полученные модели для модернизации инженерной методики расчета баромембранных аппаратов.

Разработаны методика и экспериментальная установка для исследования процессов ультрафильтрации отработанных технических масел, защищенная патентом на полезную модель, позволяющая изучать кинетику и динамику массопереноса при ультрафильтрации жидких нефтесодержащих сред.

На основании теоретических и экспериментальных исследований предложены новые способы регенерации отработанных моторных масел и

конструкции аппаратов для их осуществления, защищенные патентами на изобретение и полезные модели.

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.

Практическая значимость

Результаты, полученные в диссертации защищены пятью патентами на изобретение и полезные модели.

На основе разработанного метода инженерного расчета спроектированы и изготовлены промышленные установки на производственной базе ООО «Стройком» г. Тверь, ООО «УЛЬТРАПОР» г. Иваново. Передача технической документации подтверждена актами.

Оценка экономической эффективности от повторного использования пермеата и концентрата показывает целесообразность внедрения данных технологий, что подтверждается Грантом, выданным Фондом содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере по договору 3642ГС1/60673 от 06.08.2020.

Достоверность результатов диссертации

Результаты диссертации достоверны. Теоретический анализ базируется на фундаментальных законах механики, физики, физической химии. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, а также с результатами исследований других авторов. В экспериментальных работах использовались стандартные средства и методы измерения параметров.

Краткая характеристика работы

Диссертация включает в себя введение, две части основного содержания, заключение и приложения, содержит 380 страниц основного текста, 66 таблиц, 166 рисунков, список литературы из 305 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи исследования. Состоит из четырех глав.

Часть первая посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию процессов ультрафильтрации водомасляных систем. состоит из трех глав.

В первой главе содержится обширный обзор литературы по теоретическим и экспериментальным исследованиям процессов ультрафильтрации водомасляных систем. Проведена классификация промышленных отходов, содержащих водомасляные системы, проведен анализ аппаратов для ультрафильтрации, проанализированы технологические процессы разделения жидкостей ультрафильтрацией. Представлены основные положения теории массопереноса через мембрану.

Вторая глава посвящена математическому моделированию гидродинамики и массообмена в круглых каналах с полупроницаемыми стенками. На основе уравнения сохранения массы и уравнения для потока импульса построена модель нелинейного падения давления и проницаемости в цилиндрических каналах с отбором массы. Модель сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, для которой получено аналитическое решение. Исследована зависимость падения давления вдоль канала от характеристик мембраны и свойств раствора. Построена модель процесса ультрафильтрации с учетом образования осадка на полупроницаемых поверхностях. Сделаны оценки влияния турбулентной диффузии на образование осадка.

Третья глава посвящена экспериментальной оценке процессов баромембранного разделения водомасляных систем. Глава содержит детальное описание экспериментальных методик. Представлен метод экспресс анализа по определению концентрации асфальто-смолистых веществ в отработанных маслах методом турбидиметрии. Представлены созданные экспериментальные установки по разделению отработанных ВМС, позволяющие исследовать влияние физических характеристик на кинетику процесса ультрафильтрации. Проведен количественный и химический анализ отработанных ВМС. Приведены экспериментальные данные зависимости процесс от структуры микропористого слоя мембран и его свойств. Показано, что повышение температуры в диапазоне от 333 до 383К является наилучшим способом интенсификации процесса. Определены оптимальные перепады давления для производительности мембран. Экспериментально показано, что при температуре выше 373 К и скорости потока $u = 7-10$ м/с наблюдается ярко выраженный турбулентный режим течения, который способствует активному разрушению гелевого слоя на поверхности мембраны и увеличению проницаемости.

Вторая часть диссертации посвящена экспериментальному исследованию и промышленному освоению процессов ультрафильтрации водомасляных систем.

В четвертой главе экспериментально подтверждены основные закономерности, полученных теоретически в главе 2. Теоретически рассчитанные потери давления расходятся с экспериментальными данными в пределах 5-10%. Значение концентрации в резервуаре для сбора концентрата также отличаются от теоретических не более, чем на 10%. Проведенный анализ показывает адекватность теоретической модели. Проведены оценки влияния турбулентности на интенсивность массопереноса по известным моделям.

В пятой главе 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. Разработаны инженерные методы расчета технологического процесса и аппаратов по регенерации отработанных масел.

В шестой главе рассмотрены вопросы повышения эффективности баромембранных процессов разделения водомасляных систем. Показана высокая эффективность совмещения процессов озонирования и ультрафильтрации для качественной очистки ВМС, как с точки зрения качества, так и повышения производительности процесса разделения.

В седьмой главе рассматривается промышленное применение процессов ультрафильтрации для регенерации отработанных масел. На основе проведенных исследований разработана конструкция ультрафильтрационного модуля и баромембранной установки в целом. Проведенные испытания показали, что данная технология позволяет получать базовое сырье для производства пластичных смазочных материалов, а из отходов – ценные углеродосодержащие продукты для различных отраслей промышленности.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Следует отметить, что в диссертации представлен большой объем научных результатов. Результаты опубликованы в 70 научных работах. По данным «elibrary.ru» на публикации Маркелова А.В. имеется более 100 цитирований других авторов, что говорит о востребованности этих работ.

Автореферат соответствует тексту диссертации, содержание диссертации соответствует представленным публикациям Маркелова А.В.

К работе можно сделать несколько замечаний рекомендательного характера.

1. Стр. 68. «Таким образом, скорость потока жидкости в середине канала высока, поток там часто бывает турбулентным, и жидкость хорошо перемешивается. Скорость в пограничном слое рядом с мембраной намного ниже, поток ламинарный, а перемешивание происходит за счет диффузии». Если поток турбулентный, то он является турбулентным и рядом с мембраной. Скорость массопереноса обусловлена совместным действием молекулярной диффузии и турбулентного переноса.

2. В уравнениях (2.1) – (2.8) описывается процесс разделения с учетом концентрационной поляризации. Здесь ϕ – селективность с учетом концентрационной поляризации, т. е. истинная селективность. В уравнениях (2.9)-(2.10) ϕ – наблюдаемая селективность, уже другая величина. В уравнении (2.79) селективность определяется через потоки. Будет ли это определение эквивалентно определению через концентрации?

3. Желательно прокомментировать результаты расчетов, представленные на рис. 2.6, 2.7, а именно, зависимость перепада давления p_i потока пермеата J_p от осмотического давления. Они не очевидны.

4. Стр. 119. «Диффузионный поток у поверхности раздела фаз J определяется законом Фика[56] и концентрационным профилем». Далее приведены формулы (2.85)-(2.88).

Представленные формулы, по-видимому, есть аппроксимации численного решения уравнения конвективной диффузии. Желательно привести само уравнение и соответствующие граничные условия, а также ограничения, при которых справедливы эти формулы.

5. Стр. 121. «При равенстве значений кинематической вязкости и коэффициента диффузии и при безградиентном течении потока в продольно направлении профиль безразмерной концентрации должен совпадать с профилем безразмерной скорости.» В рассматриваемых задачах числа Шмидта изменялись в диапазоне от 5 до 50, т.е. коэффициент диффузии много меньше кинематической вязкости.

6. Стр. 135. «В модели Ландау и Левича [152], подтвержденной Дейслером и Ханратти [158] предполагается, что изменение коэффициента турбулентной диффузии в вязком подслое пропорционально $D_T \sim u^4$.»

Это правильно. Но далее, в диссертации приводятся формулы для коэффициента турбулентной вязкости, согласно которым в вязком подслое $\nu_T \sim u^4$. Здесь предполагается аналогия Рейнольдса. Для модели Левича и Ландау аналогия Рейнольдса неприменима. Более поздние работы по теории турбулентного массопереноса согласуются с этой моделью, и в этих работах турбулентный поток массы пропорционален u^4 , а турбулентный поток импульса пропорционален u^3 .

7. В диссертации есть опечатки в ссылках на литературу. Так на стр. 66 для формулы (1.15) написана ссылка на источник [35], тогда как эта формула приведена в книге Baker, ссылка 34. На стр. 67 ссылка на монографию Касслера идет по номером 78, тогда как в списке литературы – под номером 77.

Сделанные замечания не носят принципиальный характер и не снижают ценность этой высоко квалифицированной диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Маркелова А.В. которую можно характеризовать как научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение: разработка общего методологического подхода к исследованию, созданию и применению в строительной отрасли установок и баромембранных процессов регенерации отработанных водомасляных систем с использованием трубчатых ультрафильтрационных мембран. Работа соответствует пп.9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», принятых Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.).

Считаю, что диссертационная работа Маркелова А.В. отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
Доктор физико-математических наук (специальность 05.17.08 – процессы и аппараты химических технологий), доцент,
профессор кафедры прикладной математики и вычислительной техники
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Ярославский государственный технический
университет»

Евгений Федорович СКУРЫГИН

e-mail: skouryguine@rambler.ru
тел. 8-920-140-37-13

12.09.2022

Подпись Е.Ф.Скурыгина

удостоверяю

Первый проректор ЯГТУ

к.т.н. доцент



Наумов Д.В.