На правах рукописи

СЕДЫШЕВА СВЕТЛАНА АЛЕКСЕЕВНА

«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КЕРАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН»

05.17.18. - Мембраны и мембранная технология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2011

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

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

Официальные оппоненты:
доктор технических наук Рябчиков Борис Евгеньевич
ЗАО «НПК Медиана-фильтр»

доктор химических наук Милютин Виталий Витальевич
Учреждение Академии наук Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН)

Ведущая организация:
Закрытое акционерное общество НТЦ «Владипор»

Защита состоится 21 апреля 2011 г., в _____ час. в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212.204.06 в Российском химико-технологическом университете им. Д. И. Менделеева (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ имени Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан 18 апреля 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Новиков В.Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Создание тонких газовых и жидкостных эмульсий широко востребовано современной промышленностью. Диспергирование газов в жидкости используется в пищевой промышленности при сатурировании напитков, в химической промышленности – все абсорбирующие процессы, в альтернативной энергетике – при очистке биогаза. Получение жидкостных эмульсий – это основа экстракционных процессов, выработки многих пищевых продуктов – маргарины, заменители молока, апперты, сливочные ликеры, приготовления СОЖ, производства фармацевтических и косметических препаратов – кремов, мазей, пролонгированных форм лекарств, осуществление процессов флотации и реагентной ультрафильтрации.

Тонкое эмульгирование, как правило, достигается по принципу «сверху вниз», т.е. механическим диспергированием крупных частиц дисперсной фазы. Это осуществляется с помощью эжекторов, мешалок, ультразвуковых излучателей, коллоидных мельниц и т.п. Все эти методы энергозатратны и сопряжены с деструкцией вещества или компонентов дисперсной фазы. Кроме того, при их проведении крайне трудно регулировать соотношение фаз в эмульсии.

Перечисленные проблемы легко устраняются при генерации эмульсии по принципу «снизу вверх» методом мембранного эмульгирования (МЭ), чему и посвящено настоящее исследование.

Цель работы

Установление закономерностей процессов МЭ для газо-жидкостных и жидко-жидкостных систем. Разработка математического описания процессов.

Выработка требований к материалу и геометрии мембран, используемых в процессах эмульгирования. Испытание мембран.

Конструктивные решения мембранного контактора, обеспечивающего регулирующие функции процесса.

Исследование прикладных задач МЭ на выбранных объектах.

Выбор оптимальных методов деэмульгирования.

Научная новизна

Исследован механизм формирования мелкодисперсной эмульсии в потоке дисперсной среды над поверхностью нерегулярной пористой мембраны. Составлены балансы сил, воздействующих на каплю/пузырек в момент отрыва от поверхности.

Установлена связь между размерами капли/пузырька и физико-химическими и гидродинамическими параметрами компонентов эмульсии.

Установлено влияние параметров процесса на степень полидисперсности и маслосодержание/газосодержание эмульсии.

Исследована коалесцирующая способность фильтрующего материала в процессе разделения мелкодисперсной эмульсии.

Практическая ценность работы

Разработан способ проведения процесса МЭ с применением трубчатой керамической мембраны, позволяющий получать мелкодисперсные эмульсии, в том числе низкой концентрации. Разработан мембранный контактор для осуществления данного процесса. Определены режимы его работы.

Процесс МЭ испытан применительно к проведению экстракции микроколичеств целевых компонентов из раствора.

Разработан способ разделения мелкодисперсных эмульсий «жидкость-жидкость» низкой концентрации с применением коалесцирующего материала и последующей доочисткой на мембранах.

На защиту выносится

1. Результаты исследования процесса МЭ в системе «газ-жидкость», влияния технологических параметров процесса на эмульсию.
2. Результаты исследования процесса МЭ в системе «жидкость-жидкость», влияния технологических параметров процесса на эмульсию.
3. Математическая модель для расчета размеров капель в процессе МЭ в системе «жидкость-жидкость».

4. Конструктивные решения мембранного контактора для осуществления процесса мембранного эмульгирования с применением трубчатой керамической мембраны.

5. Результаты исследования процесса разделения низкоконцентрированных эмульсий.

6. Результаты исследования практической применимости разработанной технологии для процесса экстракции на модельном объекте.

Апробация работы

Основные результаты доложены и обсуждены на 6-й Международной научно-технической конференции «Обращение с радиоактивными отходами» - Москва, 2009, Международной научной конференции «Мембранные и сорбционные процессы и технологии», - Киев, 2010, конференции «Мир водных технологий» - Минск, 2010, конференции «Мембранные беседы» - Таруса, 2009, конференции «Мембранные беседы» - Конаково, 2010 Всероссийской научной конференции «Мембраны» - Москва, 2010.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 2 статьи опубликованы в журнале, рекомендованном ВАК. Получено 2 патента.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, методик экспериментов, экспериментальной части, содержащей результаты экспериментов и их обсуждение, выводов, библиографии. Работа изложена на 120 страницах текста, содержит 15 таблиц, 53 рисунка. Список литературы включает 87 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Приведено обоснование интереса к данной теме. Кратко рассмотрены области применения процесса МЭ. Среди всего спектра существующих применений выделен наиболее актуальный, по мнению автора – процесс

экстракции целевого компонента из низкоконцентрированных токсичных растворов. Сформулированы цели и задачи исследования.

Обзор литературы

Представлены основы и принципы МЭ, зависимость характеристик эмульсий «газ-жидкость» и «жидкость-жидкость» от различных параметров процесса. Приведен перечень используемых мембран для МЭ, их характеристики и дано обоснование выбора мембраны для исследований. Рассмотрены сферы промышленного применения процесса. Рассмотрены способы деэмульгирования. Приведена математическая модель процесса.

Аналитические методики

Исследования проводились на установке, схема которой изображена на рис.1. Непрерывная фаза из емкости Е3 подавалась в мембранную ячейку МА1 насосом Н1, расход и давление которой регулировали при помощи вентилей ВР1 и ВР2. Эмульгируемая жидкость (или газ) подавалась из емкости Е2 при помощи воздушного компрессора КВ1, ее давление регулировалось при помощи регулятора давления РД1. Непрерывная фаза подавалась в напорный канал керамической микрофиль- трационной мембраны, эмульгируемая фаза – снаружи. Полученная эмульсия собиралась в емкости Е1. Чертеж мембранной ячейки приведен на рис. 2.

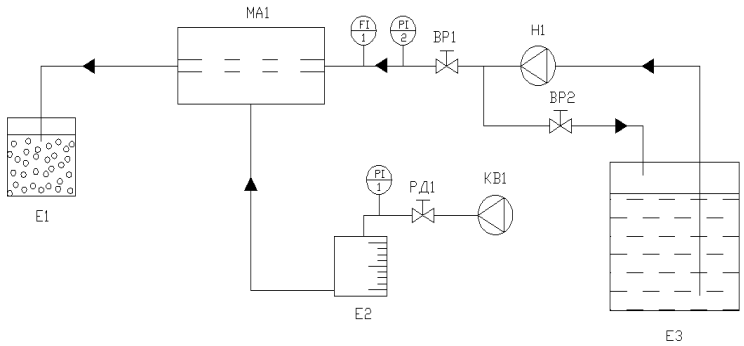

Рис.1. Схема установки для исследования процесса мембранного эмульгирования.

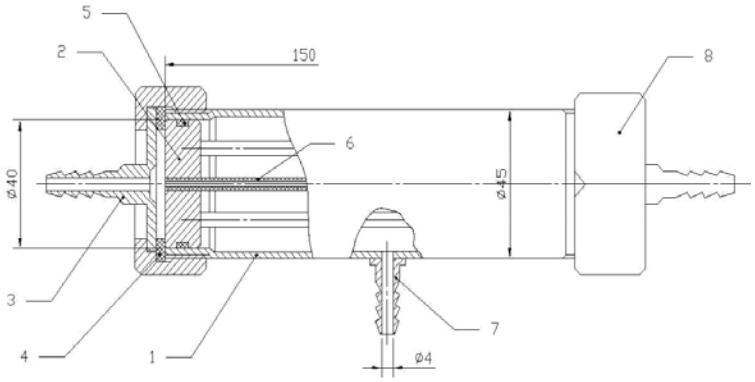

Рис. 2. Чертеж мембранной ячейки. 1 – цилиндрический корпус; 2 – опора мембраны; 3 – штуцера для подвода и отвода воды; 4 – прокладка; 5 – резиновое кольцо; 6 – мембранный элемент; 7 – штуцер для подачи масла; 8 – гайка.

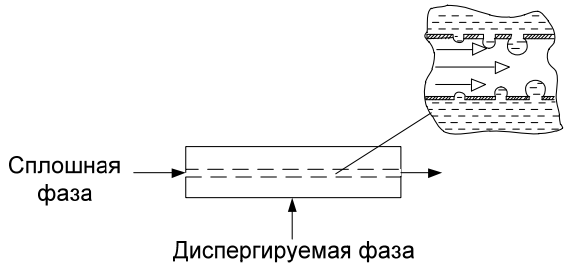

Рис. 3. Принцип мембранного эмульгирования

Принцип мембранного эмульгирования заключается в продавливании диспергируемой фазы через поры мембраны в объем сплошной фазы (рис.3).

В настоящей работе использовалась трубчатая керамическая мембрана с наружным диаметром 2,5 мм, внутренним

Оценка размера пор мембраны проводилась методом точки пузырька, который заключается в определении минимального давления газа, необходимого для продавливания пузырька газа через поры мембраны, пропитанной жидкостью. После регистрации давления первого пузырька снималась зависимость расхода газа через мембрану от его давления при помощи пенного измерителя расхода. Данные о зависимости расхода от давления наносились на координатную плоскость и численно дифференцировались, что позволяло оценить распределение пор мембраны по размерам.

Определение величины межфазного натяжения проводилось сталагмометрическим методом с использованием стандартной системы сравнения.

Определение размеров капель эмульсии, их количества и площади их поверхности проводилось при помощи монокулярного микроскопа Levenhuk 40L и цифровой камеры DCM-35 с разрешением 0,3 МПикс. (размер кадра – 640x480 Пикс.). Размеры капель определялись при обработке фотографий эмульсии в программе ScopePhoto 3.0.

Увеличения оптической системы на объективе 10x и 40x составляло 130 и 520 раз, по сравнению с оригиналом. Образец эмульсии фотографировали при обоих этих увеличениях – на фотографиях с увеличением 130 раз учитывались капли с размером выше 10 мкм, на фотографиях с увеличением 520 раз учитывались капли с размером в диапазоне 1 – 10 мкм. Затем, для учета охвата площади образца эмульсии, результаты, полученные при увеличении в 520 раз,

домножали на коэффициент пересчета площади при разных увеличениях по формуле :

$$N_i = n_i \cdot 4^2 \cdot \frac{m_{10}}{m_{40}} \qquad (1)$$

Где Ni – количество капель с учетом оптического охвата площади образца разными объективами, ni – суммарное число капель эмульсии i-й фракции при увеличении 520 раз, m40 – число обработанных фотографий с увеличением 520 раз, m10 – число обработанных фотографий с увеличением 130 раз.

При определении размеров капель по фотографиям погрешность определяется программой и составляет ± 0,8 мкм.

Анализ концентраций кобальта проводился на спектрофотометре. Метод основан на измерении резонансного поглощения света свободными атомами определенного элемента при прохождении света через атомный пар исследуемого образца, образующегося в пламени.

Количество экстрагентов в воде определяли по перманганатной окисляемости.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эмульгирование в системе газ-жидкость.

Исследование процесса эмульгирования в системе газ-жидкость проводилось на мембране со средним диаметром пор 0,15 мкм следующим образом: воздух подавали в межтрубное пространство мембранного аппарата при постоянном давлении 0,12 атм, жидкость (воду) подавали внутрь керамической мембраны.

Переменными параметрами были расход жидкости, расход газа, зависимым параметром - диаметр образующихся пузырей. Полученные значения критерия Рейнольдса и соответствующие им размеры образующихся пузырьков приведены на рис. 4.

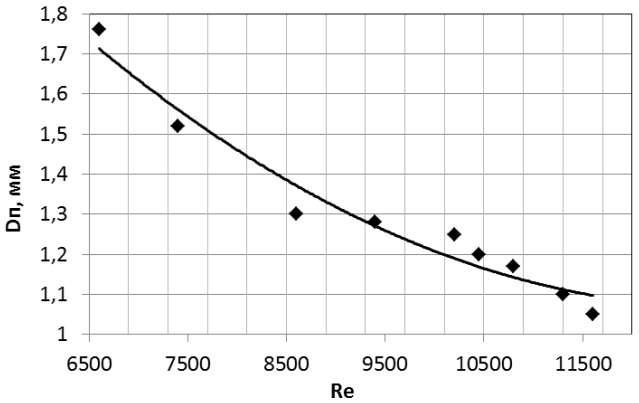

Рис.4. Зависимость диаметра пузырька от критерия Рейнольдса.

Газосодержание определяется как отношение объема, занятого дисперсной фазой ($V_г$) к объему смеси двух компонентов:

$$\varphi = \frac{V_г}{V_ж + V_г} = \frac{1}{1 + V_ж / V_г} = \frac{1}{1 + Q_ж / Q_г}, \qquad (2)$$

где $V_г$ и $V_ж$ – объем воздушной фазы и водной среды, $Q_ж$ – объемный расход жидкости, $Q_г$ – объемный расход газовой фазы.

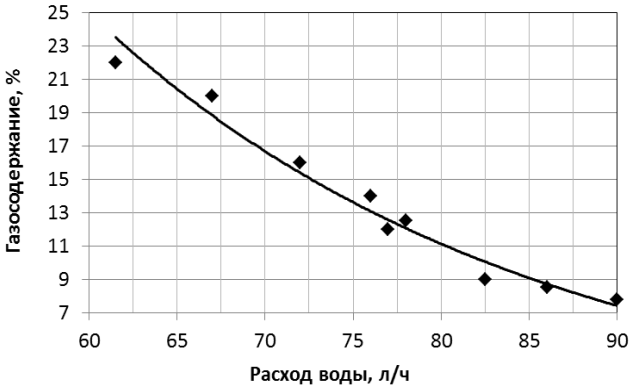

Рис. 5. Зависимость содержания газа в воде от расхода воды.

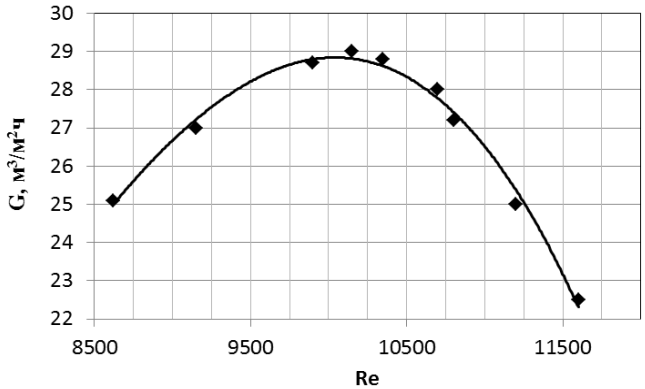

Рис.6. Зависимость газопроницаемости через мембрану от критерия Рейнольдса.

Поток газа (G) рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{Q_г}{f_{раб}}, \qquad (3)$$

где $f_{раб}$ – рабочая площадь мембраны. Площадь мембраны рассчитана как

$$f_{раб} = \pi d_м l_{раб}, \qquad (4)$$

где $d_м$ – внутренний диаметр мембраны, $l_{раб}$ – рабочая длина мембранного элемента.

Коэффициент проницаемости K_G рассчитывается по уравнению

$$K_G = \frac{V}{\tau * f * \Delta p} = \frac{G}{\Delta p}, \qquad (5)$$

где τ – время, Δp – движущая сила процесса ($\Delta p = P_{раб} / 2$).

Таблица 1.

Расчетные значения газосодержания, рабочей площади мембраны, потока газа и коэффициента проницаемости K_G.

$Q_ж$, л/ч	$P_{воды}$, атм.	$w_ж$, м/с	Re	d_0, мм	$Q_г$, л/ч	φ, %	$f_{раб}$, мм^2	G, $\frac{м^3}{м^2 * ч}$	K_G, $\frac{м^3}{м^2 * ч * атм}$
61,5	0,2	3,48	8640	1,33	17,8	22,5	706,86	25,18	419,67
72,3	0,28	4,09	10150	1,24	14,6	16,8	502,65	29,05	484,17
78,1	0,36	4,42	10820	1,15	10,7	12,0	392,70	27,25	454,17
90,0	0,44	5,09	11600	1,06	7,3	7,8	322,01	22,67	377,83

Напряжение сдвига (F_c) воздушного пузырька для турбулентного потока жидкости рассчитана по формуле:

$$F_c = \frac{\lambda \rho_{ж} w_{ж}}{8}, \qquad (6)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность воды ($\rho_{ж}$=998 кг/м^3), λ – коэффициент сопротивления, полученный из уравнения Блазиуса: λ=0,3164$Re^{-0,25}$.

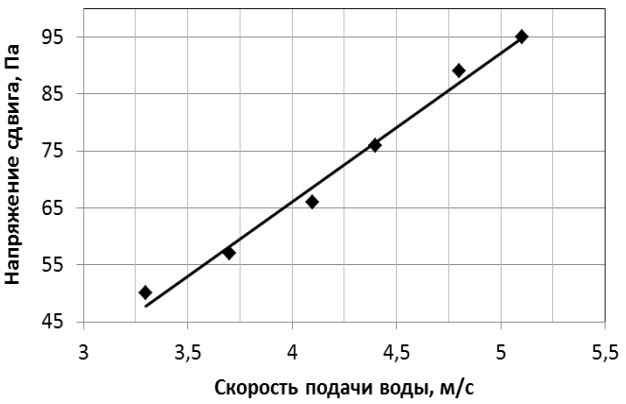

Рис.7. Зависимость напряжения сдвига от скорости воды в мембранном канале.

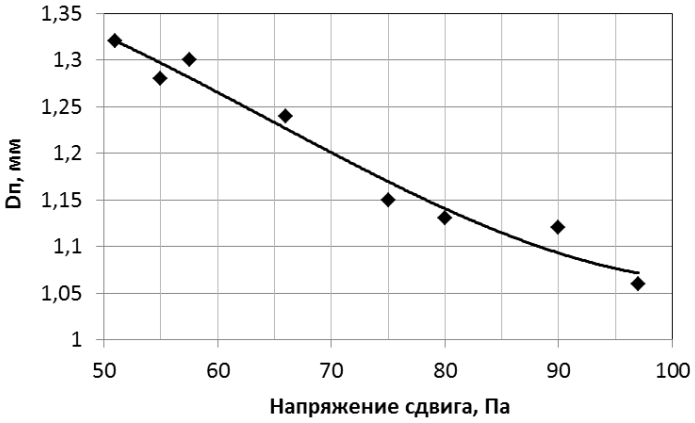

Рис.8. Зависимость диаметра пузырька от напряжения сдвига.

Эмульгирование в системе жидкость - жидкость.

В качестве диспергируемой фазы для получения эмульсий были выбраны пять веществ - трибутилфосфат (ТБФ), петролейный эфир, хлороформ, керосин и раствор керосина в Д2ЭГФК. Такой выбор определялся тем обстоятельством, что все соединения используются в качестве экстрагентов некоторых металлов, а именно в процессах экстракции возможно прикладное использование мембранного эмульгирования. Было исследовано 6 систем: трибутилфосфат(ТБФ)–вода, петролейный эфир–вода, хлороформ–вода, керосин – вода, керосин-Д2ЭГФК – вода. Извлекаемый компонент – ион кобальта, находящийся в растворе в виде хлорида кобальта (II) (концентрация соли менее 1г/л). В пяти последних системах в воду добавляли додецилсульфат натрия в количестве 1 г/л для исключения коалесценции капель эмульгируемой жидкости за время ее движения по трубке к точке отбора проб. Последняя система является модельной для изучения процесса экстракции кобальта из ЖРО экстрагентом Д2ЭГФК, растворенном в растворителе – керосине.

Полученные зависимости среднего размера частиц эмульсии от гидродинамических параметров потока представлены на рис. 9.

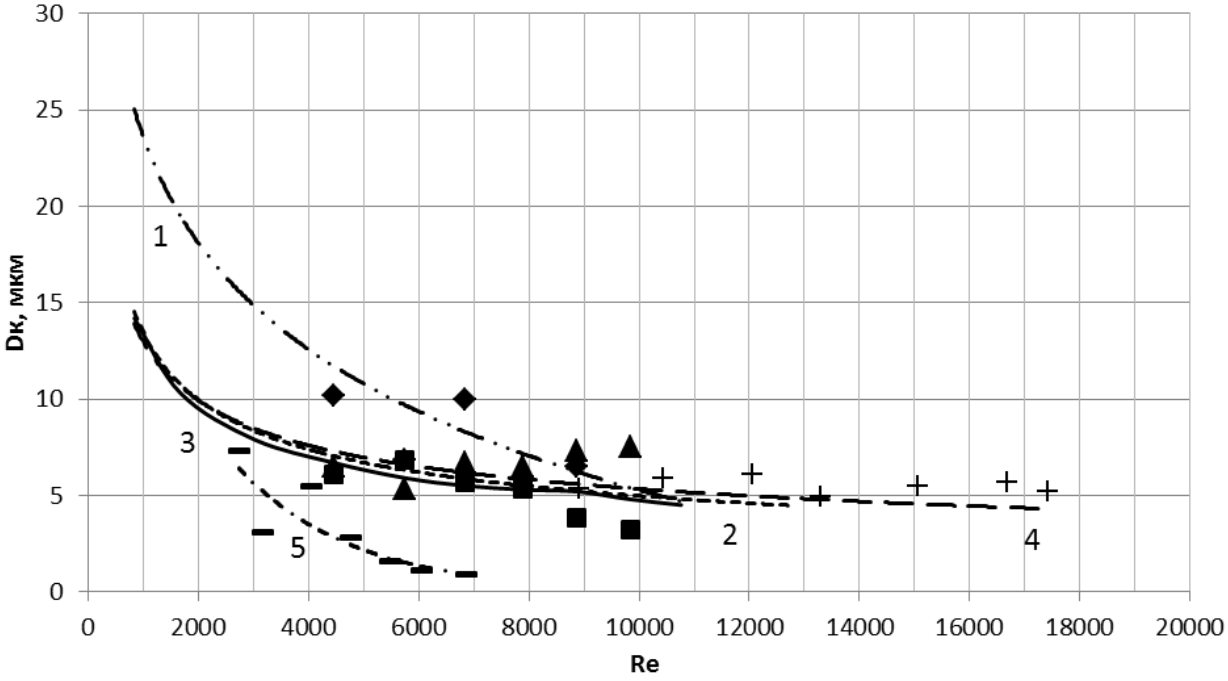

Рисунок 9. Зависимость среднего размера капель от числа Рейнольдса. ♦ 1 – ТБФ, ▲ 2 - петролейный эфир, ■ 3 – хлороформ, + 4 – керосин, ▬ 5 - Керосин-Д2ЭГФК

Зависимость среднего диаметра капель эмульсии от скорости течения дисперсионной среды в трубчатой мембране показывает, что усиление турбулентности потока уменьшает средний диаметр капель эмульсии. Это происходит в силу того, что увеличивается напряжение сдвига и, как следствие, срыв растущей капли происходит на более ранней стадии ее роста. Характер изменения экспериментально полученных значений среднего диаметра капель совпадает с рассчитанными теоретическими кривыми при условиях эксперимента.

Из данных зависимостей видно, что уже при Re = 2 500 – 5 000 происходит резкое уменьшение среднего размера капель эмульсии, а при Re > 6 000 оно прекращается, т.е. существует предел воздействия силы среза на размер капель. Это происходит потому, что размер капель становится равен высоте примембранного слоя, в котором скорость движения дисперсионной среды приближается к нулю. Из приведенных данных были получены зависимости площади поверхности частиц, развиваемой из единицы массы эмульгируемого вещества, от уровня турбулентности. Зависимости приведены на рис. 10.

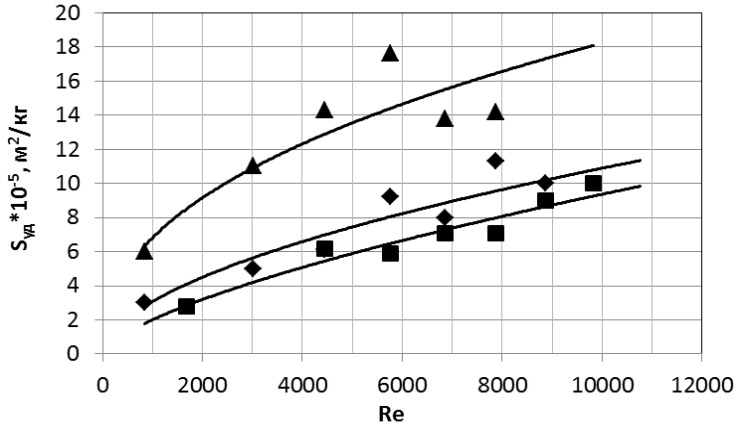

Рис.10. Зависимость площади поверхности частиц эмульсии от числа Рейнольдса.
▲- петролейный эфир, ♦ – ТБФ, ■ – хлороформ.

Видно, что поверхность частиц увеличивается – это является закономерным по мере уменьшения среднего размера частиц.

Степень полидисперсности частиц эмульсии, которая показывает, насколько однородна система.

Она оценивается критерием Span, который рассчитывается по формуле (7).

$$Span = \frac{d_{90} - d_{10}}{d_{50}}, \qquad (7)$$

где d90, d50 и d10 - диаметры пузырьков, соответствующие 90, 50, и 10 об.% на интегральной кривой распределения по размерам.

Если степень полидисперсности меньше 0,4, то эмульсию принято считать монодисперсной. Степень полидисперсности эмульсии очень важна при проектировании процесса, в котором используется эта эмульсия – чем более узко распределение частиц по размеру, тем меньше ошибка, вносимая в расчеты использованием среднего размера частиц.

Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рис. 11.

Эксперименты показали, что при наличии объяснимого неполной воспроизводимостью условий экспериментов разброса величин Span тем не менее наблюдается тенденция однородности системы с ростом турбулентности потока. Это хорошо объясняется особенностями конструкции мембранного аппарата, где на траектории потока эмульсии находятся местные сопротивления типа «расширение – сужение», где происходит дополнительное диспергирование капель. Это обстоятельство следует использовать при конструировании промышленных мембранных эмульгаторов.

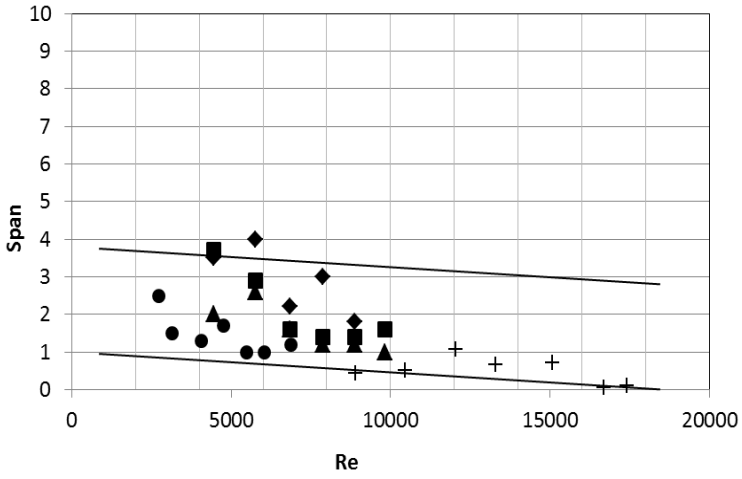

Рис.11. Зависимость степени полидисперсности частиц эмульсии от числа Рейнольдса. ♦ ТБФ, ▲ петролейный эфир, ■ хлороформ, + керосин, ● керосин-Д2ЭГФК

Значимым параметром, влияющим на размер капель эмульсии, является перепад давления на мембране. Это определяется законом Пуазейля, регламентирующим количество проницаемых пор при определенном давлении. Если мембрана обладает узким распределением пор по размерам, влияние перепада давления на размер образующихся капель будет незначительным.

Расход воды внутри напорного канала во всех экспериментах поддерживался на постоянном уровне – 20,5 л/ч, что соответствовало числу Рейнольдса Re = 4450.

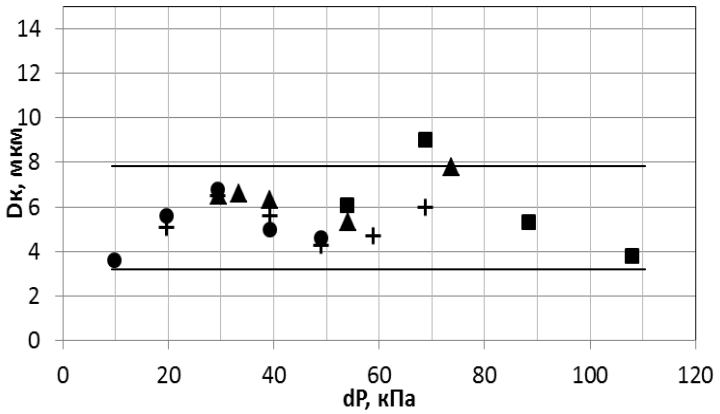

Рис.12. Зависимость среднего диаметра капель от перепада давления. ▲ петролейный эфир, ■ хлороформ, + керосин, ● керосин-Д2ЭГФК

На рис. 12 представлены зависимости средних размеров частиц эмульсий Dк от перепада давления. Для использованной мембраны число пор, питающих одну каплю, на протяжении экспериментов составляло 2-20. Средний размер капель пропорционален числу питающих эти капли пор.

Полидисперсность же эмульсий от перепада давления не зависит, что подтверждается представленными на рис. 13 экспериментально – расчетными данными. Объясняется это тем же – одинаковыми условиями формирования капель эмульсии по всей площади мембраны. Соотношение между средними

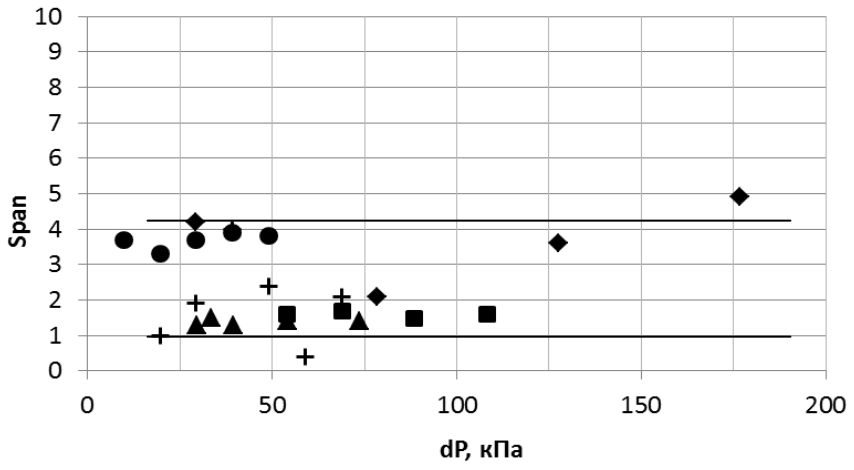

Рис.13. Зависимость степени полидисперсности эмульсии от величины перепада давления. ♦ ТБФ, ▲ петролейный эфир, ■ хлороформ, + керосин, ● керосин-Д2ЭГФК.

значениями степени полидисперстности эмульсий во всех системах при меняющемся перепаде давления аналогично соотношению средних значений в условиях меняющейся силы среза (зависимость от числа Рейнольдса). Это подтверждает вышеизложенные рассуждения о том, что степень полидисперсности эмульсии зависит от свойств мембраны, а именно от степени равномерности ее пор.

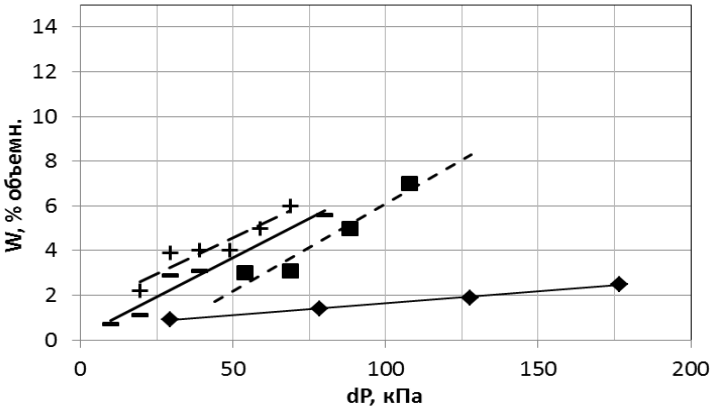

Рис. 14. Зависимость маслосодержания от величины перепада давления: ♦ ТБФ, ■ хлороформ, + керосин, ▬ керосин-Д2ЭГФК.

Концентрация органической фазы легко контролируется тем же перепадом давления (рис. 14). С ростом движущей силы массопереноса через мембрану пропорционально увеличивается коэффициент проницаемости.

В данной исследовательской работе процесс мембранного экстрагирования проведен на системе «керосин-Д2ЭГФК – вода-хлорид кобальта (II)», с добавлением соли нитрата натрия в непрерывную фазу, так же как и в предыдущих исследованиях для стабилизации эмульсии в экстрагируемый раствор вводили додецилсульфат натрия в количестве 1 г/л.

Из полученной зависимости видно, что с увеличением концентрации соли диаметр капель увеличивается, что объясняется коагуляцией капель эмульсии.

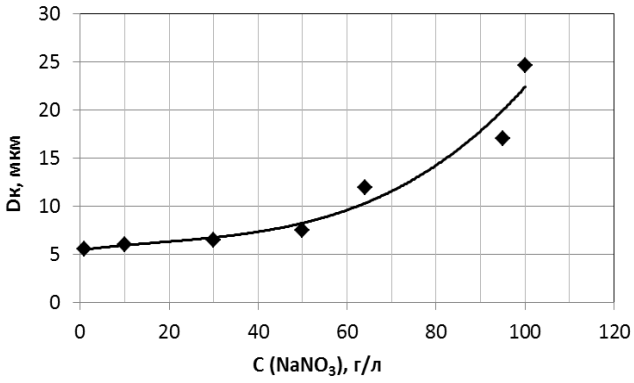

Рис. 15. Зависимость диаметра капель эмульсии от концентрации электролита.

А при концентрации превосходящей 100г/л, эмульсия полностью разрушается. Это происходит из-за того, что при добавлении электролита нарушается двойной электрический слой вокруг капель эмульсии, что приводит к коагуляции капель.

Для проведения экстракции были выбраны параметры эмульсии соответствующие минимально необходимому количеству экстрагента, взятого с небольшим избытком по стехиометрии. А именно: маслосодержание в эмульсии составляло 10 г/л (примерно 1,1%). Непрерывная фаза – водный раствор хлорида кобальта(II) с концентрацией 0,25 г/л по ионам кобальта. Эмульсию стабилизировали додецилсульфатом натрия в количестве 1 г/л.

После проведения экстракции анализ показал, что в рафинате ионы кобальта отсутствуют, что говорит о правильности подбора условий экстракции.

Сорбционное разделение эмульсий «жидкость-жидкость».

На стадии сорбционного разделения эмульсии в исследуемом диапазоне концентраций (до 2,55 % об.) остаточное содержание дисперсной фазы в очищенной эмульсии составило 0,006% об. По результатам испытаний установлено, что защитная функция фильтрующего материала сохранилась после пропускания 32 литров воды, что составляет 32 объема установки.

Мембранная доочистка эмульсии

Вторая стадия процесса деэмульгирования представляет собой очистку эмульсии и проводится в мембранном аппарате с полимерной мембраной. В результате разделения получаемыми продуктами будут очищенная дисперсионная среда и дисперсная фаза в виде концентрированной эмульсии.

Эксперименты проводились в течение полутора часов. На протяжении этого времени не наблюдалось изменения производительности мембран для исследованных систем. Полученные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты исследования процесса деэмульгирования на полимерных мембранах.

Марка мембраны	УПМ-50		УАМ-150		ОПМН-П		ОПМН-К	
Материал мембраны	Полисульфон-амид		Целлюлоза		Пиперазин		Поливинилов-ый спирт	
$P_{раб}$	0,1 МПа		0,15 МПа		3 МПа		3 МПа	
Параметр / Система	G* л/м^{2}ч	φ**	G л/м^{2}ч	φ	G л/м^{2}ч	φ	G л/м^{2}ч	φ
Дистилированная вода	74	-	17		16		16	
Эмульсия вода-керосин (8,2 г/л)	65	0,62	14	0,79	16	0,96	14	0,82
Эмульсия вода-керосин (8,2 г/л), стабилизированная ПАВ (0,5 г/л)	55		13		14		22	

*G – производительность мембраны.

**φ – селективность мембраны по керосину.

Для проведения данной стадии процесса рекомендована мембрана ОПМН-П, так как на ней была получена наибольшая селективность по керосину, равная 0,96.

Влияние концентрации Д2ЭГФК далее изучали на мембране ОПМН-П при $P_{раб}$ = 3 МПа. Результаты исследования показали, что содержание Д2ЭГФК в интервале концентраций 1 – 5 мл Д2ЭГФК в 1л дистиллированной воды не влияет на производительность мембраны и селективность по керосину.

Исследования влияния концентрации ПАВ в интервале 0,3 – 0,5 г/л показали, что производительность и селективность от содержания ПАВ не зависят.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что МЭ с применением керамических мембран является эффективным методом создания эмульсий «газ-жидкость» и «жидкость-жидкость» с точки зрения достижения тонкого диспергирования, равномерности распределения и регулирования соотношения фаз. Размер частиц дисперсной фазы может быть снижен до 1 мкм. Равномерность распределения достигается в момент формирования эмульсии без дополнительного перемешивания. Содержание дисперсной фазы может быть снижено до величины менее 1%.

2. Составлено математическое описание процесса МЭ, позволяющее с точностью до 5% предсказать размер частиц дисперсной фазы и влияние на него основных параметров процесса – размера пор мембраны, пористости, перепада давления, гидродинамической характеристики потока дисперсионной среды.

3. Показано, что предельный размер капель определяется эффективной пористостью и толщиной пограничного слоя, который в свою очередь зависит от степени гидрофильности материала мембраны и средней скорости потока вдоль мембраны. С изменением эффективной пористости пропорционально изменяется количество питающих пор на одну каплю/пузырек.

4. Полидисперсность эмульсии практически полностью определяется характером кривой распределения пор мембраны по размерам. При использовании мембран с узким распределением пор на полидисперсность не влияют такие важнейшие параметры процесса как перепад давления и скорость потока.

5. Оптимальной геометрической формой мембран в мембранном контакторе являются керамические капилляры с внутренним диаметром 1,5-2 мм и толщиной стенки 0,5 мм, что определяется простотой создания необходимых гидродинамических режимов при малых энергетических затратах.

6. На стадии деэмульгирования при малых содержаниях диспергированной фазы предложено использовать двухстадийную обработку из коалесцирующе-адсорбционных фильтров и ультрафильтрации на полимерных мембранах.

Основное содержание работы опубликовано в работах:

1. Седышева С.А., Свитцов А.А., Баранов В.В., Каграманов Г.Г. Мембранное эмульгирование. // Информационно-аналитический журнал «Мембраны» - М., 2008 - № 2, с. 10.
2. Седышева С.А., Свитцов А.А., Каграманов Г.Г. Установка для диспергирования газа в жидкой среде. // Патент № 2381825 – М., 2010.
3. Седышева С.А., Свитцов А.А., Каграманов Г.Г. Способ газонасыщения жидкости. // Патент № 2382673 - М., 2010.
4. Седышева С.А., Свитцов А.А., Хубецов С.Б., Дунаев Д.Г. Очистка ЖРО от эмульгированных масел. // Тез. Докл. 6-й Международной научно-технической конф. «Обращение с радиоактивными отходами» - Москва, ВНИИАЭС, 2009, с.8.
5. Седышева С.А., Свитцов А.А., Смирнов А.А., Орлов Н.С. Мембранное эмульгирование в системе «жидкость-жидкость». // Информационно-аналитический журнал «Мембраны» - М., 2010 - №1, с. 15-21.
6. Седышева С.А., Свитцов А.А. Реагентная ультрафильтрация как метод очистки водных растворов. // Тез. Докл. Международной научной конференции «Мембранные и сорбционные процессы и технологии». - Киев, 2010, с. 60.
7. Седышева С.А., Свитцов А.А. Реагентная ультрафильтрация как метод очистки водных растворов. // Тез. Докл. Конференции «Мир водных технологий» - Минск, 2010, с 14.
8. Седышева С.А., Свитцов А.А., Баранов В.В., Каграманов Г.Г. Мембранное эмульгирование. // Успехи в химии и химической технологии: сб. научных тр. Том XXII, №2 (82). – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2008. – с. 36.
9. Седышева С.А., Свитцов А.А., Смирнов А.А. Очистка сточных вод методом реагентной ультрафильтрации. // Производственно-технический и научно-практический журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение» - М., 2010 - № 5(29). с.38-44.