Значение мембранной технологии в последние годы резко возросло, прежде всего, как технологии, способной навести мост через пропасть, разделяющую промышленность и экологию. Глобальный характер воздействия и влияния мембранной технологии на реализацию других российских и мировых научно-технологических приоритетов в последнее время получил свое дальнейшее подтверждение. Критическая технология федерального уровня «Мембраны» вошла в 17 приоритетных для российской науки направлений, в которых российские ученые опережают мировой уровень, причем, без использования мембранных процессов невозможно обеспечить поддержание необходимого научно-технического уровня в 12 приоритетах [1]. Мембрана – плоская поверхность (пленка, плоское тело), протяженность которой по двум координатам значительно превышает протяженность по третьей координате, и через которую осуществляется массоперенос. Поскольку объектом исследования [2-5] были выбраны жидкие отходы отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), которые в свою очередь представляют собой смесь различных компонентов (описаны в первой части статьи), в том числе минеральных масел и органических веществ, и была поставлена задача их разделения на масляную и водную фазы, поэтому для проведения процесса мембранного разделения необходимо было правильно подобрать мембранный материал. Согласно проведенному обзору литературы [6-10] и исследованию эмульсий отработанных СОЖ было выявлено, что при разделении необходимы ультрафильтрационные полупроницаемые мембраны, чаще используются ассиметричные мембраны. Мембрана должна обеспечивать высокую селективность, производительность, быть химически стойкой (инертной по отношению к компонентам СОЖ), механически прочной, работать при значениях pH 7-14 (определяется объектом исследования), быть сменной в аппарате (для проведения серии экспериментов). Мембрана также должна быть гидрофильной, т.к. речь идет о водном растворе. Большинство промышленно производимых мембран в настоящее время изготавливается из полимерных материалов. Существует несколько гипотез о механизме мембранного разделения: молекулярно-ситовое разделение (самая ранняя версия); диффузионный механизм: в соответствии с которым и вода, и растворенные вещества переходят через мембрану путем диффузии, при этом скорость диффузионного переноса воды больше, чем растворенных веществ; пленочная модель механизма мембранного разделения водных смесей (ее автор Бестереков Уйлесбек); адсорбционный механизм, характерный для гидрофильных мембран (поверхность которых хорошо смачивается водой) в результате адсорбции на стенках пор появляется слой чистой воды, и если диаметр пор не превышает удвоенной толщины такого слоя, то ионы растворенных соединений не могут пройти через них, вследствие структурирования воды в тонких порах уменьшается ее растворяющая способность и происходит как бы выталкивание частиц растворенного вещества

из поры.; в настоящее время наиболее обоснованной представляется капиллярно-фильтрационная модель селективной проницаемости (эта модель была предложена Сурираджаном [11] и затем усовершенствована в работах Ю.И. Дытнерского и его сотрудников [12]). Суть капиллярно-фильтрационной модели заключается в следующем: на поверхности и внутри пор гидрофильной мембраны, помещенной в водный раствор, образуется слой связанной воды. Вода может связываться с материалом мембраны, например, путем образования водородных связей с гидроксильными или карбоксильными группами ацетатцеллюлозы. Баромембранные процессы (в том числе ультрафильтрация) обусловлены градиентом давления по толщине мембран, в основном полимерных, и используются для разделения растворов и коллоидных систем при 5-30 °С. Этот процесс (даже если он осуществляется на непористом носителе) принципиально отличается от обычного фильтрования. При обычном фильтровании продукт откладывается в виде кристаллического или аморфного осадка на поверхности фильтра, тогда как при ультрафильтрации образуются два раствора по разные стороны мембраны, один из которых обогащен растворенным веществом (концентрат). В этих процессах накопление данного вещества у поверхности мембраны недопустимо, т.к. приводит к снижению селективности и проницаемости мембраны. При изучении механизма мембранного разделения необходимо учитывать степень сродства разделяемого раствора и материала мембраны, изучить их природу и характеристики. Поэтому были проведены исследования по определению топографии поверхности и размеров пор выбранных мембранных материалов на сканирующем зондовом микроскопе MultiMode V фирмы VEECO (США). MultiMode V – это новое поколение самого широко используемого и проверенного СЗМ MultiMode, с целью определения возможности их применения в процессе разделения. Реализует весь набор методик атомно-силовой микроскопии и сканирующей туннельной микроскопии, выдавая характеристики поверхности, такие как топография, упругость, трение, адгезия и распределение магнитного и электрического полей. Короткий оптический путь между зондом и образцом обеспечивает высокие скорость сканирования и точность. Электрохимические приставки позволяют работать в режимах электрохимической сканирующей туннельной микроскопии, электрохимической атомно-силовой микроскопии и микроскопии электрохимического потенциала. В качестве образцов для исследования были представлены: 1. Исходный мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа; 2. Мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа после мембранного разделения; 3. Мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа после мембранного разделения в системе с материалом пожарного рукава; 4. Мембранный материал – бумага подпергамент марки П; 5. Полупроницаемая мембрана из трубчатого ультрафильтра БТУ Ф-1 (20 – 70 кДа). Результаты исследований топографии поверхности мембранных материалов представляют собой рисунки в трехмерной системе координат (x,y,z) – рис. 1, на

основе которых можно определить как ширину и длину объектов, так и высоту. Необходимо отметить, ось z (высота) имеет свой независимый масштаб. Размеры пор определяются по изображениям, используя приведенный масштаб. Также получены гистограммы шероховатости поверхности исследуемых мембранных материалов, результаты представлены в таблице 1 (распределение участков поверхности по высоте), по пику которых определяется шероховатость поверхности мембран.

1 2 3 4 Рис. 1 – Результаты исследований на сканирующем зондовом микроскопе MultiMode V фирмы VEECO (США): 1) исходный мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа; 2) мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа после мембранного разделения; 3) мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа после мембранного разделения в системе с материалом пожарного рукава; 4) исходная бумага подпергамент марки П

По результатам исследований образцов мембранных материалов на зондовом микроскопе можно отметить следующее:

- Исходная мембрана ФМПЭС 50 кДа имеет толщину поверхности около 105 нм, после процесса мембранного разделения – 450 нм, при использовании совместно с материалом пожарного рукава – 200 нм. Таким образом, при использовании мембраны в процессе мембранного разделения происходит «набухание» мембраны, т.е. прилипание частиц разделяемой среды, что значительно сокращает срок службы мембраны и влияет на ее производительность. При использовании мембраны ФМПЭС совместно с материалом пожарного рукава удается значительно снизить эффект «набухания», что положительно влияет на эффективность процесса мембранного разделения.

Таблица 1 – Численные значения гистограмм шероховатости поверхности образцов мембранных материалов

Образец	Максимальное значение шероховатости на графике, нм	Толщина материала нм	Доля поверхности, %
исходный мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа	180	60-140	45 (при 105 нм)
мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа после мембранного разделения	650	320-580	65 (при 450 нм)
мембранный фильтр ФМПЭС 50 кДа после мембранного разделения в системе с материалом пожарного рукава	375	125-275	52 (при 210 нм)
исходная бумага подпергамент марки П	2,75*10 ³	0,5-2,0*10 ³	37 (при 1*10 ³ нм)

· Мембранный материал – бумага подпергамент марки П – имеет толщину поверхности 1 мкм. Для образца №5 – полупроницаемой мембраны из трубчатого ультрафильтра БТУ Ф-1 (70 кДа) – приведен только оптический снимок, так как шероховатость его поверхности намного больше предельно допустимого значения для данного микроскопа.

· По полученным снимкам определили размеры пор мембранных материалов. Для исходной мембраны ФМПЭС 50кДа – 800 – 1000 нм; для этой же мембраны после процесса разделения СОЖ – 330 – 625 нм; после разделения с применением материала пожарного рукава – 490 – 760 нм. Таким образом, в системе с материалом пожарного рукава мембранный фильтр ФМПЭС подвергается наименьшему воздействию, но все же происходит ее «забивание» и «набухание», т.е необходимо проводить предварительную очистку потока перед

процессом мембранного разделения с применением промышленных мембран. Анализируя полученные результаты для мембранных материалов и эмульсий отработанных СОЖ, можно сделать вывод о том, что вследствие удаления химических компонентов, прежде всего, окисляемых органических соединений, доминирующих в составе отработанных СОЖ, будет обеспечено снижение токсичности сточных вод мембранным методом с применением исследуемых материалов. Для жидкого отхода СОЖ на основе Автоката-1 мембраной будут задерживаться только частицы эмульсии с размером 2198 нм, их доля (в сравнении с остальными наноразмерными частицами) составляет 11,7 %; для Автоката -2 – частиц эмульсий отработанной СОЖ с размером 2136 нм (16,3 %); для Эмульсола – основная масса определенных наноразмерных частиц будет задерживаться, т.к. их диаметр составляет 1907 нм. По мере накопления экспериментальных данных выяснилось, что иногда молекулы с меньшим размером задерживаются лучше более крупных. Поэтому исходя из полученных результатов и их анализа, а также принимая во внимание, что вода имеет квантово-волновую сущность, а в данном случае речь идет о баромембранных процессах, можно предположить адсорбционно-волновой характер мембранного разделения, поскольку речь идет о непористых мембранных материалах, избирательных в отношении изученных разделяемых веществ различной природы.