

УДК 66.067.38.661.515

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН ПРИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДРОЖЖЕВЫХ И СПИРТОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

© С.И. Лазарев, В.Л. Головашин

Ключевые слова: ультрафильтрация; динамическая мембрана; коэффициент задержания; удельный поток растворителя.

Проведены исследования по влиянию рабочего давления на формирование динамических мембран при ультрафильтрации водных растворов дрожжевых и спиртовых производств. Выявлено, что с повышением рабочего давления на поверхности ультрафильтрационных мембран формируются динамические мембраны, при этом увеличивается коэффициент задержания, удельный поток растворителя стремится к асимптотическому значению.

ВВЕДЕНИЕ

При ультрафильтрационном разделении коллоидных растворов и суспензий на поверхности ультрафильтрационных мембран и в примембранной области возможно образование слоя геля и даже выпадение кристаллизующихся веществ на поверхность мембраны. Данный эффект имеет как отрицательные, так и положительные свойства. К отрицательным свойствам можно отнести уменьшение удельного потока растворителя через мембраны, необратимое изменение структурных свойств мембран, при химическом взаимодействии геля с материалом активного слоя, забивка частицами геля пор мембраны, а к положительным – увеличение коэффициента задержания мембран.

Последрожжевая водная барда [1–3], образующаяся при производстве хлебопекарных дрожжей и этилового спирта, из свеклосахарной массы, является характер-

ным коллоидным раствором, содержащим взвешенные частицы, которые при ультрафильтрации образуют гель-слой на поверхности мембраны. В данной работе исследовалось влияние рабочего давления на процесс формирования динамической мембраны, а также влияние толщины динамической мембраны на основные кинетические характеристики процесса ультрафильтрации: коэффициент задержания и удельный поток растворителя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальные исследования проводились на мембранной разделительной установке, оснащенной разделительным модулем трубчатого типа с использованием ультрафильтрационных ацетатцеллюлозных (УАМ-150) и полисульфонамидных (УПМ-К) мембран (рис. 1).

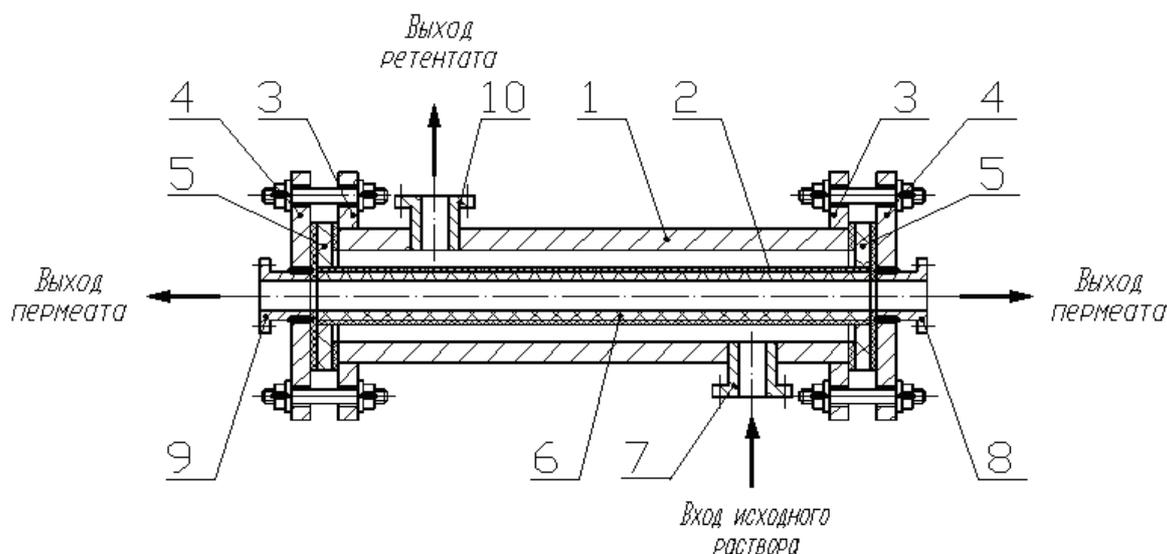


Рис. 1. Схема ультрафильтрационного модуля трубчатого типа

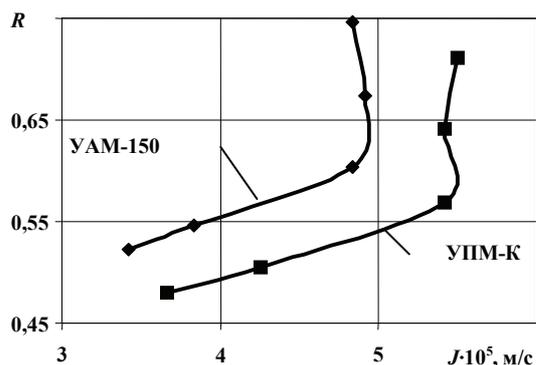


Рис. 2. Зависимость коэффициента задержания от удельного потока растворителя через мембраны

Трубчатый мембранный модуль состоит из цилиндрического корпуса (1) с фланцами (3), выполненного из нержавеющей стали X18H10T, пористой трубки (6), на которую снаружи нанесена мембрана (2), опирающаяся на трубные решетки (5), зажатые между фланцами (3) и (4), штуцеров для ввода и вывода исследуемого раствора (7, 10) и отвода пермеата (8, 9). По результатам экспериментов рассчитывались следующие параметры: удельный поток растворителя и коэффициент задержания.

Удельный поток растворителя рассчитывался по формуле (1):

$$J = \frac{V}{F \cdot \tau} \quad (1)$$

где J – удельный поток растворителя, м/с; V – объем собранного пермеата, м³; F – рабочая площадь трубчатой мембраны, м²; τ – время проведения эксперимента, с.

Затем по бихроматной окисляемости (ХПК) [4] определялись концентрации растворенных веществ в исходной жидкости и пермеате. Коэффициент задержания рассчитывался по формуле:

$$R = \frac{C_{\text{пер}} - C_{\text{исх}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100 \quad (2)$$

где R – коэффициент задержания, %; $C_{\text{пер}}$ – концентрация растворенного вещества в пермеате, кг/м³; $C_{\text{исх}}$ – концентрация растворенного вещества в исходном растворе, кг/м³.

Результаты расчетных данных приведены на рис. 2, в виде зависимостей коэффициента задержания от удельного потока растворителя через мембраны.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При ультрафильтрационном разделении водных растворов дрожжевых и спиртовых производств на ультрафильтрационных мембранах образуются динамические мембраны [5]. Мембранообразующим веществом выступает свекольный крахмал, образующий слой геля в примембранной области и частично адсорбирующегося на поверхности активного слоя мембраны. Удерживание мембранообразующих веществ на поверхности ультрафильтрационной мембраны зависит от энергии взаимодействия между веществом и мембраной. То есть чем больше энергия взаимодействия молекул вещества с поверхностью мембраны, тем

больше времени вещество находится на поверхности мембраны [5, 6].

В стационарном состоянии динамическая мембрана может существовать на поверхности ультрафильтрационной мембраны при значениях сдвигового напряжения динамической мембраны большего сдвигового напряжения, определяемого значением тангенциального и нормального потоков. Поскольку тангенциальный поток поддерживается одинаковым, а его средняя линейная скорость намного превышает скорость трансмембранного потока, то снижение последнего происходит до тех пор, пока не достигается некоторая оптимальная для данных гидродинамических условий толщина, при которой скорость подвода мембранообразующих частиц к динамической мембране уравновешивается обратнодиффузионным отводом.

Процесс формирования динамической мембраны на поверхности ультрафильтрационных мембран можно условно разделить на два периода, которые хорошо заметны на рис. 2. В первом периоде в области низких давлений (до 2 МПа) динамическая мембрана еще не уплотнена, коэффициент задержания и удельный поток растворителя возрастают практически линейно. Во втором периоде при увеличении давления свыше 2 МПа происходит резкое увеличение коэффициента задержания и наблюдается асимптотическое значение удельного потока растворителя, что свидетельствует об уплотнении дисперсных частиц селективного слоя динамической мембраны. При этом пористость динамической мембраны (отношение объема водозаполненных областей к общему объему мембранной фазы) уменьшается, а ее сопротивление потоку жидкости увеличивается.

Это подтверждает взаимосвязь удельной производительности и сопротивления динамической мембраны с давлением в аналитическом выражении (закон Дарси) следующего вида:

$$R_s = (R_D + R_0) = \frac{\Delta P}{J \cdot \mu} \quad (3)$$

где R_s , R_D , R_0 – сопротивление динамической мембраны, ее сжимаемого селективного слоя и подложки (ультрафильтрационной мембраны); ΔP – разность давлений, Па; μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

Динамические мембраны, формируемые при ультрафильтрации водных растворов дрожжевых и спиртовых производств, обладают высокой сжимаемостью, т. е. с ростом давления над мембраной происходит сжатие селективного слоя динамической мембраны, вследствие чего возрастает вклад поверхностных сил (нерастворяющегося объема, электроповерхностных сил и т. д.). Эти вклады различны по величине для исследованных ультрафильтрационных мембран, на которых образуется селективный слой динамической мембраны.

Для описания изменения сопротивления динамической мембраны от давления предложена расчетная формула:

$$R_s = \left(\frac{\Delta P^n}{J \cdot \mu} \right) \exp\left(\frac{A}{T} \right) \quad (4)$$

где n , A – числовые коэффициенты (табл. 1); T – температура раствора, К.

Таблица 1

Тип мембраны	n	A
УАМ-150	0,129	-250
УПМ-К	0,160	-421

ВЫВОДЫ

При очистке водных растворов дрожжевых и спиртовых производств от растворенных веществ на ультрафильтрационной мембране формируются динамические мембраны из содержащихся в растворе веществ, в частности свекольного крахмала. Образование динамических мембран влияет на процесс как положительно (увеличивается коэффициент задержания), так и отрицательно (уменьшается удельный поток растворителя через мембраны). Для описания изменения сопротивления динамической мембраны от рабочего давления процесса предложена аппроксимационная формула.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артюхов В.Г., Горбатенко В.Г., Гайворонский Я.С.* Переработка мелассы на спирт и другие продукты по безотходной технологии. М.: Агропромиздат, 1985. 287 с.
2. *Лазарев С.И., Коробов В.Б., Клиот М.Б., Пирогов П.А.* Очистка сточных вод производства сульфенамида Ц обратным осмосом // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1993. Т. 36. Вып. 5. С. 76-80.
3. *Лазарев С.И., Коробов В.Б., Абоносимов О.А.* Влияние давления на эффективность ультрафильтрационной очистки водных растворов спиртовых производств // Изв. вузов. Пищевая технология. 1998. № 1. С. 78-80.

4. *Лурье Ю.Ю.* Унифицированные методы анализа вод. М.: Химия, 1973. 376 с.
5. *Брык М.Т., Цапюк Е.А.* Ультрафильтрация. Киев: Наукова думка, 1989. 288 с.
6. *Дытнерский Ю.И.* Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 378 с.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., по теме «Теоретико-экспериментальные исследования влияния поверхностных явлений на сорбционные и проницаемые коэффициенты пористых тел», ГК № 02.740.11.0272 07.07.2009 г., и по теме «Влияние кинетических параметров на баромембранное разделение промышленных растворов содержащих поверхностно-активные вещества», ГК №П674 от 20.05.2010 г.

Поступила в редакцию 12 ноября 2010 г.

Lazarev S.I., Golovashin V.L. Effect of pressure on formation of dynamic of ultra-filtration membranes in aqueous solutions yeast and alcohol production

The studies on the effect of operating pressure on the formation of dynamic membranes for ultra-filtration of aqueous solutions of yeast and alcohol production are made. It is revealed that with increasing of working pressure at the surface of ultra-filtration membranes the dynamic membrane are formed with an increase in the coefficient of ourselves to the detention, the specific flux of the solvent tends to an asymptotic value.

Key words: ultra-filtration; dynamic membrane; detention factor; flux of solvent.