

УДК 628.16.08

Профессор С.И. Лазарев, аспирант К.В. Шестаков,
(Тамбовский государственный технический университет)
кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики.

тел (4752) 63-10-19

E-mail: tstu@admin.tstu.ru

аспирант О.А. Пронина,

(Воронежский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова)

кафедра коммерции и товароведения

профессор О.С. Корнеева

(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

кафедра биохимии и биотехнологии.

тел. (473)255-55-57

E-mail: biotehvsuet@mail.ru

Professor S.I. Lazarev, postgraduate K.V. Shestakov,

(Tambov State Technical University) Department of applied geometry and computer graphics.

phone (4752) 63-10-19

E-mail: tstu@admin.tstu.ru

postgraduate O.A. Pronina,

(Voronezh branch RGTEU)

Department of Commerce and merchandising

professor O.S. Korneeva

(Voronezh state university of engineering technology) Department of biochemistry and biotechnology.

phone (473)255-55-57

E-mail: biotehvsuet@mail.ru

Исследование удельного потока растворителя в процессах ультрафильтрационного и обратноосмотического разделения биологических растворов биохимических производств

Research specific flux of solvent in the processes of ultrafiltration and reverse osmosis of biological solutions separation in biochemical industry

Реферат. Данная работа посвящена исследованию удельного потока растворителя в баромембранных процессах разделения в биохимическом производстве. Основными показателями, которыми характеризуются методы баромембранной технологии, являются производительность и качество разделения. Производительность баромембранного разделения оценивается через удельную производительность или удельный поток растворителя, который равен расходу пермеата через единицу рабочей площади мембраны в единицу времени и также определяемый скоростью процесса баромембранного разделения. Данный параметр зависит от материала мембраны, природы растворенных веществ и их концентраций в растворе, от рабочего давления, температуры и гидродинамики процесса. В работе проанализирован удельный поток растворителя и математически описан уравнением, основанным на законе Дарси, устанавливающим прямопропорциональную зависимость от движущей силы процесса, концентрации и вида мембраны. Для проведения исследования применялась следующая методика. Начальный этап заключался в предварительной отмывке мембран от примесей, проверке герметичности отдельных узлов, выводе установки в рабочий режим на промежуток времени до 18 часов. Затем был проведен предварительный опыт для установления постоянной производительности с коэффициентом задержания мембран. После этого была выполнена серия основных экспериментов, по результатам которых рассчитывали удельный поток растворителя. В результате исследований сделаны определенные выводы. При повышении концентрации уменьшается удельный поток растворителя. На ультрафильтрационных мембранах удельный поток растворителя выше, чем на обратноосмотических мембранах. Данное явление зависит от типа мембраны. При повышении давления прямо пропорционально увеличивается поток растворителя, и, следовательно, производительность баромембранного разделения растворов. На удельный поток растворителя влияют концентрационная поляризация, гелеобразование и осадкообразование, которые образуются в результате увеличения давления и адсорбции на поверхности мембраны.

© Лазарев С.И., Шестаков К.В.,
Пронина О.А., Корнеева О.С., 2015

Summary. This work is devoted to the study of specific solvent stream in baro membrane separation processes in the biochemical industry. The main indicators, which characterize baromembranes technology, are productivity and quality division. Performance of baromembrane separation is estimated by the specific output or specific solvent stream, which is equal to the permeate flow per unit working area of the membrane per unit of time, and also determines the speed of the process of baromembrane division. This parameter depends on the material of the membrane, the nature of the solutes and their concentrations in the solution, the operating pressure, temperature and hydrodynamic processes. The article analyzed the specific solvent flow, which mathematically described by the equation based on Darcy's Law. This law establishes proportional dependence on the driving force of the process, the concentration and type of membrane. For the research was used following technique. The initial stage was to preliminary cleaning of membranes from impurities, checking the integrity of individual units, launching in work mode for a time period of 18 hours. Then there was a preliminary experience for the establishment of a permanent performance with a factor of retention membranes. After that was done a series of basic experiments, the results of which were used for calculate of specific solvent stream. As a result of investigations made certain conclusions. Specific solvent stream decreases with increasing concentration. In ultrafiltration membranes the specific solvent stream is higher than in reverse osmosis membranes. This phenomenon depends on the type of membrane. When the pressure increases the flow of the solvent and performance of baromembrane separation of solutions increases too. Specific solvent stream are influenced by concentrating polarization, gelation and sedimentation, which are formed as a result of increasing pressure and adsorption on the membrane surface.

Ключевые слова: биологический раствор, удельный поток растворителя, мембрана, пограничный слой, концентрационная поляризация, обратный осмос, ультрафильтрация.

Keywords: biological solution, specific flux of solvent, membrane, boundary layer, concentration polarization, reverse osmosis, ultrafiltration.

Методы мембранной технологии в процессах разделения, очистки и концентрирования биологических растворов в биохимической промышленности приобретают в настоящее время все большую актуальность. В первую очередь, это связано с тем, что проблема снижения загрязнения окружающей среды вышла на передний план в списке глобальных проблем. Отсюда вытекает необходимость исследования данных методов и применение их на промышленных предприятиях. Исследования данных методов ведутся как в нашей стране, так и за рубежом. Данная работа посвящена исследованию удельного потока растворителя в баромембранных процессах разделения в биохимическом производстве. Основными показателями, которыми характеризуются методы баромембранной технологии, являются производительность и качество разделения. Производительность баромембранного разделения оценивается через удельную производительность или удельный поток растворителя, который равен расходу пермеата через единицу рабочей площади мембраны в единицу времени и также определяемый скоростью процесса баромембранного разделения.

Основным количественным показателем, характеризующим процесс ультра-фильтрационного и обратноосмотического разделения, считается удельный поток растворителя. Данный параметр зависит от многих факторов, например, от материала мембраны, природы растворенных веществ и их концентраций в растворе, от рабочего давления, температуры и гидродинамики процесса. Давление является движущей силой процесса разделения, поэтому воздействует на кинетические параметры процесса ультрафильтрации и обратного осмоса, определяющие производительность и качество разделения.

Влияние давления на удельный поток растворителя можно разделить на две части. Первая часть заключается в том, что удельный поток растворителя с ростом давления повышается. Вторая часть показывает, что при более высоких давлениях он остается неизменным.

Зависимость же удельного потока растворителя от концентрации заключается в следующем. Увеличение концентрации раствора приводит к уменьшению удельного потока растворителя. Это связано с ростом осмотического давления растворов разделяемых веществ и влиянием адсорбционных слоев на поверхности мембран, уменьшающий их проницаемость.

Увеличение рабочего давления при разделении водных растворов неорганических и органических веществ приводит к увеличению удельного потока растворителя [1-2]. Необходимо отметить, что наиболее достоверные результаты можно получить экспериментально, определив влияние давления для конкретной мембраны и конкретного растворенного вещества, поскольку в разных работах приводятся разнообразные зависимости удельного потока растворителя от давления.

Для описания удельного потока растворителя в ультрафильтрационной мембране применялось уравнение вида:

$$J = k \cdot (\Delta P - \Delta \pi) \quad (1)$$

где k – проницаемость мембраны по дистиллированной воде, м/с·МПа;

ΔP – перепад давления на мембране, МПа;

$\Delta \pi$ – перепад осмотического давления в растворах по обе стороны мембраны, МПа.

Отклонения от закона Дарси, при фильтровании через мембраны, объясняется наличием динамического осмотического давления, которое записывается:

$$\Delta\pi = \frac{1}{\gamma} \cdot (C_0 - C_f) \quad (2)$$

где γ - коэффициент распределения растворенного вещества между раствором и мембраной; $C_{0, f}$ - концентрация растворенного вещества в ядре потока и в пермеате, кг/м³.

Следовательно формулу (1) можно записать:

$$J = k \cdot (\Delta P - \frac{1}{\gamma} \cdot (C_0 - C_f)) \quad (3)$$

Из формул следует, что удельный поток растворителя мембран, при баро-мембранном разделении (стоит отметить, что бывают отклонения) сложным образом зависит как от концентрации, так и от движущей силы процесса [2-4].

Для ультрафильтрации и обратного осмоса характерно явление концентрационной поляризации, которое заключается в повышении концентрации растворенного вещества у поверхности мембраны, в пограничном слое. Толщина пограничного слоя, в общем случае, зависит от режима движения раствора над поверхностью мембраны. Отмечается, что с понижением скорости течения раствора в мембранном канале развивается концентрационная поляризация.

При увеличении концентрационной поляризации падает удельный поток растворителя из-за роста осмотического давления и снижения движущей силы процесса. Это связано, в первую очередь, с повышением концентрации раствора у поверхности мембраны.

Стоит отметить, что в приведенных выше формулах для расчета удельного потока растворителя не учитывают влияние сорбции растворенных веществ на изменение удельного потока растворителя из-за уменьшения сечения пор мембраны, а также не учитывают влияние температуры на процесс. При расчете удельного потока растворителя температуру необходимо учитывать, поскольку вязкость и плотность раствора напрямую связаны с ней.

В связи с вышесказанным нами предложена следующая зависимость удельного потока растворителя от концентрации внешнего раствора и температуры [3]:

$$J = k \cdot (\Delta P^m - k_1 \cdot C) \cdot \exp(k_2 \cdot C^n) \cdot \exp\left(\frac{A_1}{T}\right) \quad (4)$$

где k_1, k_2, n, A_1 - числовые коэффициенты.

В таблице 1 приведены значения эмпирических коэффициентов для исследованных мембран и растворов. Формула должна отражать большую часть параметров процесса, которые влияют на удельный поток растворителя в мембране.

Из таблиц видно, что удельный поток растворителя имеет сильную обратную зависимость от концентрации растворенного вещества. Данный факт подтверждает влияние концентрации раствора на удельный поток растворителя мембран.

Т а б л и ц а 1

Значения эмпирических коэффициентов для расчета удельного потока растворителя через мембраны

Мембрана	k_1	k_2	m	n	A_1
УПМ-К	-0,664	4,367	0,275	-0,351	-1731,6
УАМ-200	-0,031	1,809	0,157	-0,857	-1096,6
УАМ-150	-0,664	4,367	0,276	-0,351	-2000,0
МГА-100	0,033	0,199	0,231	-2,138	365,3
ОПМ-К	0,117	0,042	0,038	1,7532	-388,0

В ходе данной работы было исследовано влияние концентрации и давления на удельный поток растворителя при очистке сточных вод от растворенных веществ с целью дальнейшего их использования во вторичных процессах производств.

Первый этап заключался в предварительной очистке водной массы от нерастворимых веществ гравитационным и центробежным отстаиванием. Далее проводили баромембранную очистку на лабораторной мембранной установке с использованием мембран УАМ-150, УАМ-200, МГА-100 и ОПМ-К и разделительной ячейки [1].

Для проведения исследования применялась следующая методика. После предварительной отмывки мембран от примесей сорбционного характера собирали разделительную ячейку и подсоединяли ее к установке. После проверки герметичности отдельных узлов установка была выведена в рабочий режим и оставлена в заполненном раствором состоянии на промежуток времени до 18 часов. Затем был проведен предварительный опыт для установления постоянной производительности с коэффициентом задержания мембран. После этого была выполнена серия основных экспериментов, в течение которых отбирали пробы исходного раствора и пермеата, измеряли объемный расход пермеата, давление, температуру и контролировали расход разделяемого раствора. Анализ растворенных веществ в водной массе осуществляли по бихроматной окисляемости (ХПК) [5]. Далее рассчитывали удельный поток растворителя по результатам экспериментальных данных, полученных в процессе баромембранного разделения промышленных растворов биохимических производств.

На рисунках 1-4 представлены сравнение расчетных (пунктирная линия) и экспериментальных (сплошная линия) результатов в зависимости от концентрации исходного раствора и вида мембраны.

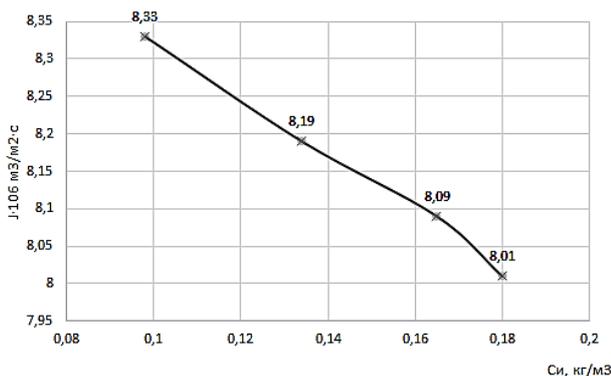


Рисунок 1. График зависимости удельного потока растворителя от концентрации исходного раствора для мембраны УАМ-150

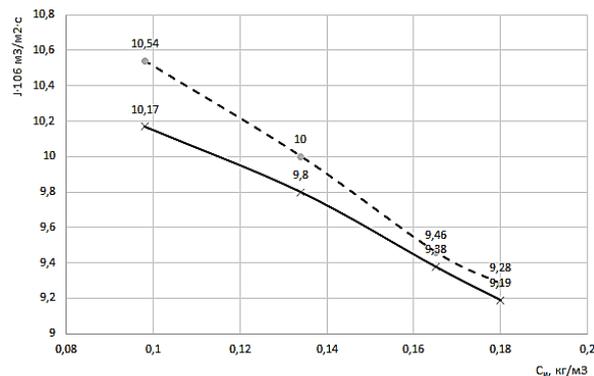


Рисунок 2. График зависимости удельного потока растворителя от концентрации исходного раствора для мембраны УАМ-200

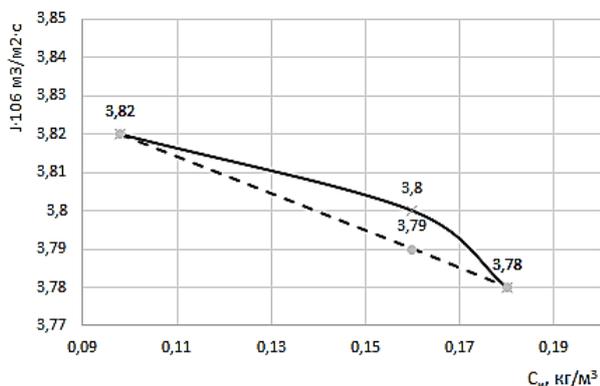


Рисунок 3. График зависимости удельного потока растворителя от концентрации исходного раствора для мембраны МГА-100

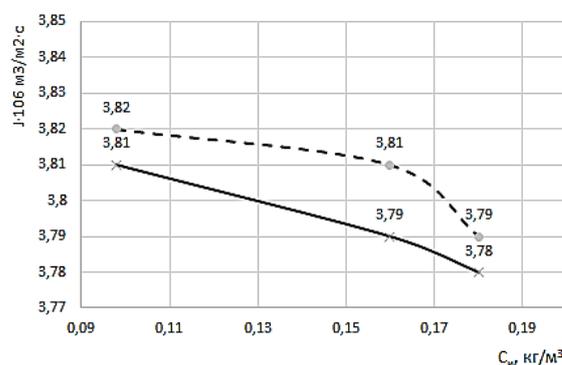


Рисунок 4. График зависимости удельного потока растворителя от концентрации исходного раствора для мембраны ОПМ-К

В завершение работы необходимо сделать следующие выводы:

1. Проанализирован удельный поток растворителя и математически описан уравнением, основанным на законе Дарси, устанавливающим прямопропорциональную зависимость от движущей силы процесса, концентрации и природы мембраны.
2. При повышении концентрации уменьшается удельный поток растворителя. На ультрафильтрационных мембранах удельный поток растворителя выше, чем на обратно-осмотических мембранах.

ЛИТЕРАТУРА

1 Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. М.: ДеЛиПринт, 2007. 208 с.
 2 Anil K. Pabby, Syed S.H. Rizvi, Ana Maria Sastre Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications. CRC, 2008. 316 p.
 3 Лазарев С.И., Головашин В.Л., Ворожейкин Ю.А. Анализ и расчет кинетических коэффициентов ультрафильтрационного разделения промышленных растворов крахмально-паточных

ских мембранах. Данное явление зависит от механизма переноса в ультрафильтрационных и обратноосмотических мембранах.

3. При повышении давления прямо пропорционально увеличивается поток растворителя, и, следовательно, производительность баромембранного разделения растворов. На удельный поток растворителя влияют концентрационная поляризация, гелеобразование и осадкообразование, которые образуются в результате адсорбции на поверхности мембраны растворенных веществ.

производств // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2012. Т. 17. № 4. С. 1254 - 1257.

4 Головашин В.Л., Лазарев С.И., Лавренченко А.А. Исследование кинетических коэффициентов электроультрафильтрационного разделения промышленных растворов биохимических производств // Вестник ТГТУ. 2014. Т. 20. № 1. С. 86 - 95.

5 Water Environment Federation. Membrane Systems for Wastewater Treatment, 2005, 264 p.

REFERENCES

1 Svetsov A. A. Vvedenie v membrannuyu tekhnologiyu [Introduction to membranesing technology]. Moscow: Deliprint, 2007. 208 p. (In Russ.).

2 Anil K. Pabby, Syed S.H. Rizvi, Ana Maria Sastre. Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications. CRC, 2008. 316 p.

3 Lazarev S.I., Golovashin V.L., Vorozheikin Y.A. Analysis and calculation of kinetic coefficients ultrafiltration separation of solutions starch and treacle production. *Vestnik Tambovskogo*

universiteta. Seriya: Estestvenniye I technicheskie nauki. [Bulletin of Tambov university. Series: Natural and Technical Sciences], 2012, vol. 17, no.4, pp. 1254 - 1257. (In Russ.).

4 Golovashin V.L., Lazarev S.I., Lavrenchenko A. A. Investigation of the Kinetic Coefficients of Electroultrafiltration Separation of Industrial Solutions for Biochemical Production. *Vestnik TGTU [Bulletin of TSTU]*, 2014, vol. 20, no. 1, pp. 86 – 95. (In Russ.).

5 Water Environment Federation. Membrane Systems for Wastewater Treatment, 2005, 264 p.

Благодарность

Авторы выражают благодарность заслуженному деятелю науки РФ, д.т.н, проф. Полянскому К.К. и к.т.н., доц. Головашину В.Л. за помощь при выполнении данной работы.