

УДК 66.081.6

## РАЗРАБОТКА АППАРАТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СТОКОВ ХИМИЧЕСКИХ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫМИ МЕТОДАМИ

© С.В. Ковалев, К.С. Лазарев, О.А. Ковалева

*Ключевые слова:* раствор; прикатодная мембрана; прианодная мембрана; электробаромембранный аппарат. Разработаны конструкции электробаромембранных аппаратов плоскокамерного и рулонного типов, позволяющих разделять стоки химических и машиностроительных производств электробаромембранными методами.

В настоящее время перед отечественной и зарубежной промышленностью остро стоит проблема очистки стоков химических и машиностроительных предприятий, а также разработки новых технологических линий и конструкций аппаратов [1–3].

На основе анализа литературных и патентных данных по методам и конструктивному оформлению процессов разделения стоков наряду с традиционными аппаратами были выявлены новые перспективные процессы и конструкции мембранных аппаратов на их основе [1–6]. Разработка принципиально новых конструкций мембранных аппаратов одновременно велась с учетом возможности наложения двух движущих сил на процесс разделения (электрического потенциала и разности давлений (рабочего и осмотического)).

Разработанные конструкции электробаромембранных аппаратов, предложенных ранее для очистки и разделения стоков, отличаются от предложенных авторами тем, что имеют меньшую рабочую площадь разделения в единице объема аппарата, и потоки пермеата (прикатодного и прианодного), полученные на выходе из аппарата, обладают меньшим объемом в отличие от разработанных и предложенных нами [1–4]. Стоит отметить, что предложенные авторами конструкции аппаратов позволяют снижать концентрационную поляризацию при разделении растворов и предотвращают прогорание электродов (за счет изготовления дополнительного элемента на сетке-турбулизаторе) в процессе выделения Джоулева тепла.

Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа, показанный на рис. 1, работает следующим образом [7].

Исходный раствор под давлением, превышающим осмотическое давление растворенных в нем веществ, через штуцер 11 (рис. 1) подается в первую камеру разделения, образованную фланцем 3, прокладкой 5, прикатодной или прианодной мембраной 15.

В этот же момент времени к чередующимся диэлектрическим камерам корпуса с соединением типа выступ-впадина 2 и 1 (рис. 1) к аппарату подводится с помощью устройства 6 внешнее постоянное электрическое поле с заданной плотностью тока.

Поток раствора турбулизируется с помощью электропроводящей сетки-турбулизатора 13, на все вершины которой нанесен диэлектрический элемент 25 в точках касания с поверхностью мембран (рис. 1), и затем раствор поступает к мембранам 15, прикатодным или прианодным, в зависимости от схемы подключения «минус» или «плюс».

Из образовавшейся камеры разделения (рис. 1) между фланцем 3, прокладкой 5 прикатодной или прианодной мембраны 15 отводятся катионы или анионы (рис. 1), проникающие через прикатодную или прианодную мембрану 15, пористую подложку из ватмана 16, монополярный электрод-пластину 14 и дренажную сетку 17, расположенные последовательно на диэлектрической камере корпуса 1, с прикатодным или прианодным пермеатом в зависимости от схемы подключения «минус» или «плюс» и отводятся через штуцер 7 (рис. 1) в виде оснований или кислот. Оставшиеся анионы или катионы (рис. 1), движущиеся в камере разделения в ядре потока электропроводящей сетки-турбулизатора 13, переходят через переточное эллиптическое окно 19 в следующую камеру разделения.

Раствор переходит из камеры в камеру по переточным эллиптическим окнам 19 всего аппарата (рис. 1), где происходит аналогичное разделение, катионы или анионы отводятся с пермеатом в виде оснований или кислот. В то же время анионы или катионы (рис. 1) отводятся с прианодным или прикатодным ретентатом через штуцер 12 вывода разделяемого раствора в виде кислот или оснований.

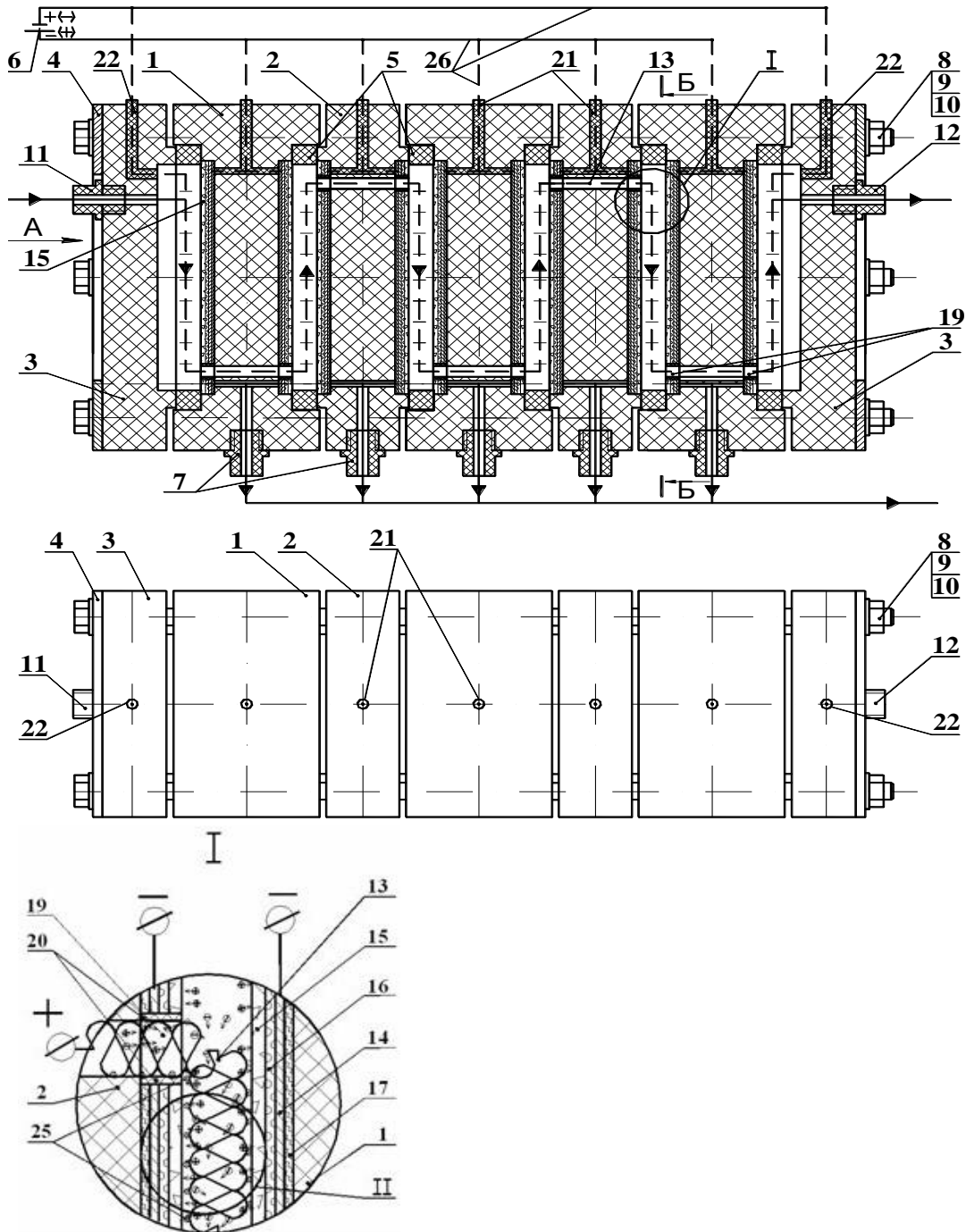
Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа, показанный на рис. 2, работает следующим образом [8].

Исходный раствор под давлением, превышающим осмотическое давление растворенных в нем веществ, через штуцер 11 ввода разделяемого раствора (рис. 2) по каналу 29 ввода разделяемого раствора подается в первую камеру разделения, образованную диэлектрическим фланцем корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы с одной стороны 3, с уложенными на него гофрированной дренажной сеткой 14, гофрированного монополярно-пористого электрода-пластины

16 и обратноосмотической мембраны 15, прикатодной или прианодной, в зависимости от схемы подключения «плюс» или «минус», с одной стороны, а с другой стороны, диэлектрической камеры корпуса «с выступом» 1, с уложенными на нее гофрированной дренажной сеткой 14, гофрированного монополярно-пористого

электрода-пластины 16 и обратноосмотической мембраны 15, прикатодной или прианодной, в зависимости от схемы подключения «плюс» или «минус», между которыми находится прокладка 5.

В этот же момент времени к чередующимся диэлектрическим камерам корпуса с тремя профилями



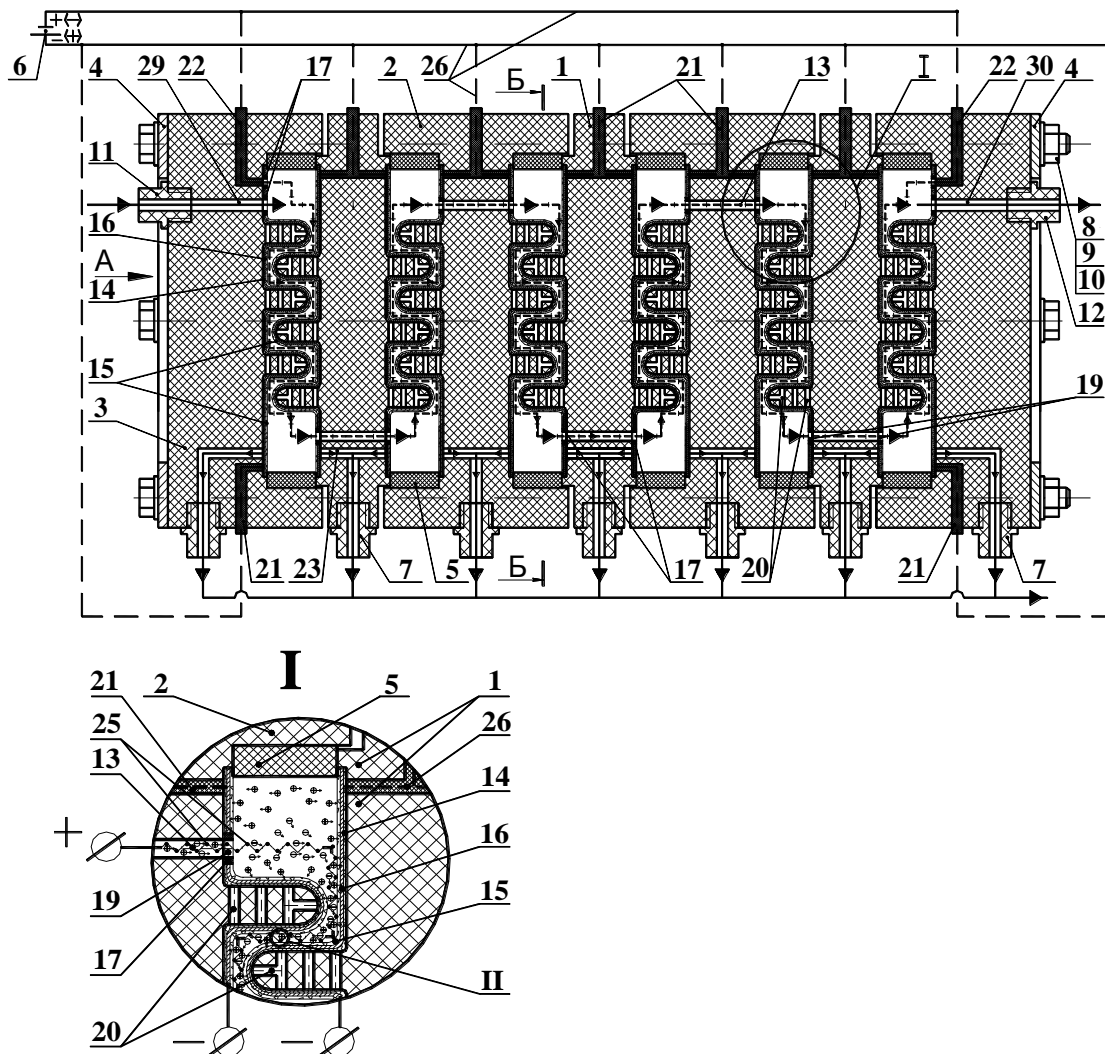
**Рис. 1.** Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа: 1, 2 – чередующиеся диэлектрические камеры корпуса с соединением типа выступ-впадина; 3 – фланец; 4 – металлическая пластина; 5 – прокладка; 6 – устройство для подвода постоянного электрического тока; 7 – штуцер для отвода прикатодного или прианодного пермеата; 8, 9, 10 – болт, шайба, гайка; 11, 12 – штуцера ввода и вывода разделяемого раствора; 13 – сетка-турбулизатор; 14 – монополярно-пористый электрод-пластина; 15 – мембрана (прикатодная или прианодная); 16 – подложка из ватмана; 17 – дренажная сетка; 19 – переточные эллиптические окна; 20 – герметизирующая заливка; 21, 22 – полимерный компаунд; 25 – диэлектрический элемент; 26 – электрические провода

полуэллиптической формы 1 и 2, диэлектрическим фланцем корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы с одной стороны 3 (рис. 2), включением устройства 6 к аппарату подводится внешнее постоянное электрическое поле с заданной плотностью тока.

Раствор, двигаясь, турбулизируется с помощью последовательно соединенных между собой отдельных элементов сетки-турбулизатора 13, на все вершины которой нанесен диэлектрический элемент 25 в точках касания с поверхностью обратноосмотических мембран 15, прикатодных или прианодных (рис. 2), и поступает к обратноосмотическим мембранам 15, прикатодным или прианодным.

Из образовавшейся между обратноосмотическими мембранами 15, прикатодными или прианодными в зависимости от схемы подключения «плюс» или «минус», и прокладки 5 камеры разделения (рис. 2) катио-

ны или анионы, проникающие через обратноосмотические мембраны 15, прикатодные или прианодные, гофрированные монополярно-пористые электроды-пластины 16 и гофрированные дренажные сетки 14 попадают в пространство, образованное диэлектрическим фланцем корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы с одной стороны 3, диэлектрической камерой корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы «с выступом» 1 и гофрированными монополярно-пористыми электродами-пластинами 16, которые содержат гофрированные дренажные сетки 14, образуя каналы для отвода прикатодного или прианодного пермеата по эллиптическим каналам 23, расположенным на диэлектрических фланцах корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы с одной стороны 3, и чередующихся диэлектрических камерах корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы 1 и 2, по

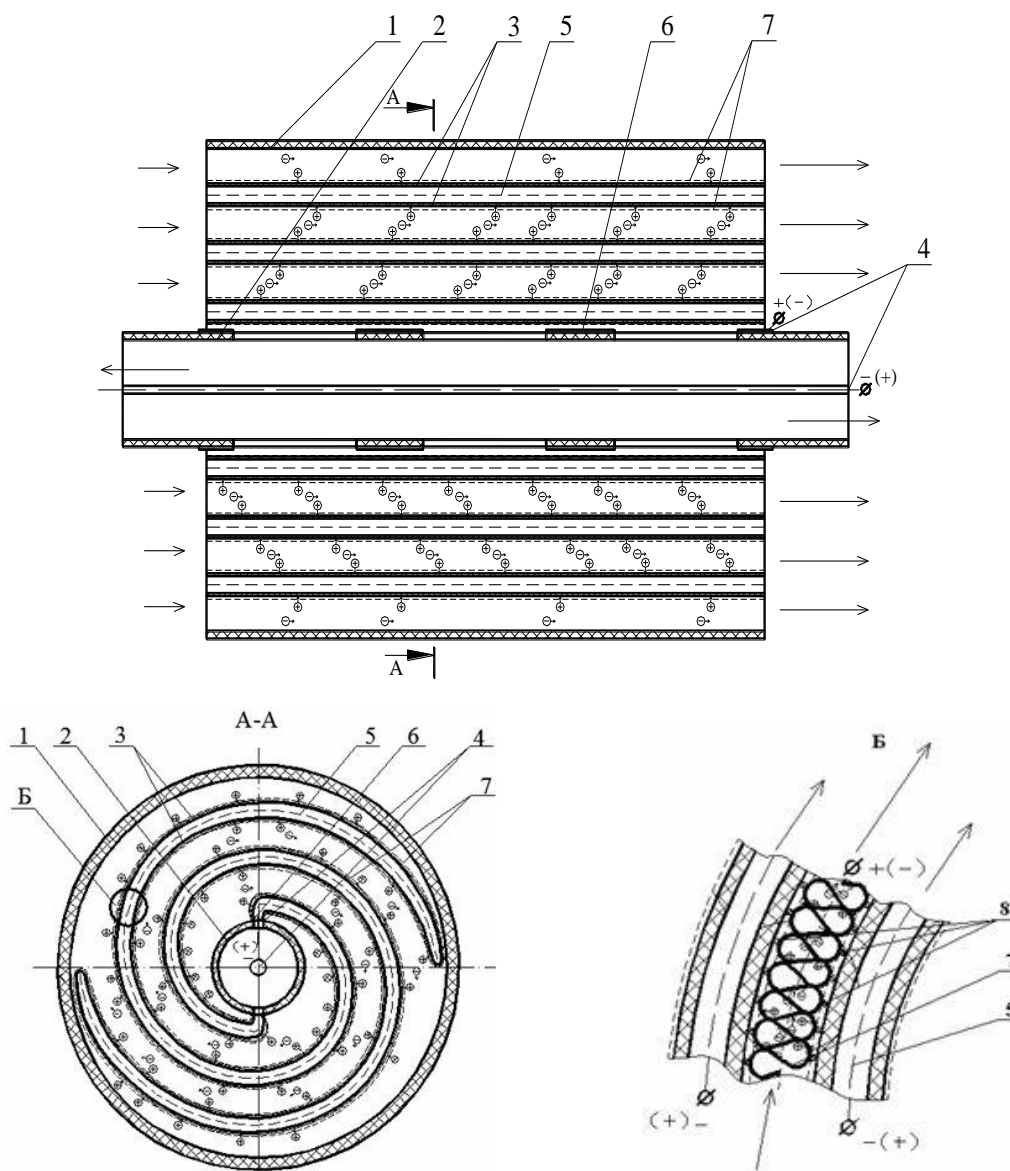


**Рис. 2.** Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа: 1, 2 – чередующиеся диэлектрические камеры корпуса; 3 – диэлектрический фланец корпуса; 4 – металлическая пластина; 5 – прокладка; 6 – устройство для подвода постоянного электрического тока; 7 – штуцер для отвода прикатодного или прианодного пермеата; 8, 9, 10 – болт, шайба, гайка; 11, 12 – штуцера ввода и вывода разделяемого раствора; 13 – сетка-турбулизатор; 14 – гофрированные дренажные сетки; 15 – мембрана; 16 – монополярно-пористые электроды-пластины; 17, 28 – герметизирующая заливка; 18 – отверстие под болт; 19 – переточные эллиптические окна; 20 – отверстия на полуэллиптических профилях для отвода прикатодного или прианодного пермеата; 21, 22 – полимерный компаунд; 23 – эллиптический канал; 24 – центральные отверстия для подвода электрических проводов; 25 – диэлектрический элемент; 26 – электрические провода; 29, 30 – каналы для ввода и вывода разделяемого раствора

штуцерам 7 для отвода прикатодного или прианодного пермеата в виде оснований или кислот в зависимости от схемы подключения «плюс» или «минус». А оставшиеся анионы или катионы (рис. 2), движущиеся в камере разделения в ядре потока последовательно соединенной между собой из отдельных элементов сетки турбулизатора 13, на все вершины которой нанесен диэлектрический элемент 25 в точках касания с поверхностью обратноосмотических мембран 15, прикатодных или прианодных, переходят через переточное эллиптическое окно 19, расположенное на диэлектрической камере корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы «с выступом» 1 в нижней части, в следующую камеру разделения, образованную чередующимися диэлектрическими камерами корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы 1 и 2 с уложенными на них гофрированными дренажными

сетками 14, гофрированными монополярно-пористыми электродами-пластинами 16 и обратноосмотическими мембранами 15, прикатодными или прианодными, между которыми находится прокладка 5, в виде кислот или оснований в зависимости от схемы подключения «плюс» или «минус».

Раствор переходит из камеры в камеру через переточные эллиптические окна 19 (рис. 2), расположенные на чередующихся диэлектрических камерах корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы 1, 2 всего аппарата, в последовательности соединения диэлектрических камер корпуса с тремя профилями полуэллиптической формы «с выступом» 1 в нижней части и «с впадиной» 2 в верхней части, где происходит аналогичное разделение. Анионы или катионы (рис. 2) отводятся с прианодным или прикатодным ретенатом в ядре потока последовательно соединенной между собой



**Рис. 3.** Электробаромембранный аппарат рулонного типа: 1 – цилиндрический корпус; 2 – перфорированная раствороотводящая трубка; 3 – мембрана; 4 – устройство для подвода электрического тока; 5 – дренажная сетка; 6 – щелевидная пластина; 7 – сетка-турбулизатор; 8 – диэлектрический элемент

из отдельных элементов сетки-турбулизатора 13, на все вершины которой нанесен диэлектрический элемент 25 в точках касания с поверхностью мембран 15, прикатодных или прианодных, через штуцер 12 вывода разделяемого раствора в виде кислот или оснований.

Исходный раствор, протекая по всем камерам разделения, последовательно очищается от анионов или катионов в зависимости от схемы подключения «плюс» или «минус».

Электробаромембранный аппарат рулонного типа, показанный на рис. 3, работает следующим образом [9].

Разделяемая жидкость под давлением, превышающим осмотическое (рис. 3), через торцевую поверхность поступает в межмембранное пространство между цилиндрическим корпусом 1, мембраной 3 и перфорированной раствороотводящей трубкой 2.

После заполнения аппарата жидкостью на клеммы устройства для подвода электрического тока 4 подается постоянное напряжение, вызывающее определенную плотность тока в растворе. Под действием электрического поля в зависимости от схемы подключения анод или катод катионы или анионы транспортируются через прикатодную или прианодную мембрану 3 к катоду 5, являющуюся дренажной сеткой из графитовой ткани, и выводятся сквозь щели пластины 6, расположенные на перфорированной раствороотводящей трубке 2. Анионы или катионы транспортируются по всему межмембранному пространству в центральном ядре потока сетки турбулизатора 7, выполненной из электропроводящего полимерного композита, являющейся анодом или катодом, на все вершины которой нанесен диэлектрический элемент 8 в точках касания с поверхностью мембран.

В результате электрохимических реакций в прикатодном и прианодном пространствах образовавшиеся продукты вымываются прикатодным пермеатом, продавливаемым под действием перепада давления через мембраны, и прианодным ретентатом в зависимости от схемы подключения соответственно.

Таким образом, из разделяемого раствора, протекающего по всему межмембранному каналу в виде анионов и катионов, отводятся растворенные вещества с прикатодным пермеатом и прианодным ретентатом.

На разработанных конструкциях электробаромембранных аппаратов плоскокамерного и рулонного типов, представленных на рис. 1–3, без наложения электрического поля можно проводить баромембранные процессы, например, ультрафильтрацию, обратный осмос, нанофильтрацию [7–9].

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны конструкции электробаромембранных аппаратов плоскокамерного типа для осуще-

ствления процессов очистки стоков химических и машиностроительных производств.

2. Разработана конструкция электробаромембранного аппарата рулонного типа для осуществления процессов очистки стоков химических и машиностроительных производств, данный аппарат отличается дифференцированным выделением анионов и катионов в зависимости от схемы подключения электродов.

3. Разработанные конструкции электробаромембранных аппаратов заметно снижают концентрационную поляризацию, образование диффузионных слоев у поверхности мембран, предотвращают прогорание электродов в местах соприкосновения с мембранами и повышают общую рабочую площадь мембран в единице объема аппарата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 352 с.
2. Патент № 2324529 РФ. В01D 61/14, В01D 61/42. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа. Бюл. № 14. 2008.
3. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
4. Патент № 2268085 РФ. В01D 61/42. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. Бюл. № 02. 2006.
5. Baker R.W. Membrane technology and applications. Н.: WILEY, 2004. 538 p.
6. Hsieh H.P. Inorganic Membranes for Separation and Reaction. Н.: Elsevier, 1996. 591 p.
7. Патент № 2403957 РФ. В01D61/42, В01D61/46. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа. Бюл. № 32. 2010.
8. Полож. реш. о выдаче патента по заявке № 2010144096 РФ. В01D61/42. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа.
9. Патент № 2411986 РФ. В01D61/46. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. Бюл. № 5. 2011.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Поступила в редакцию 29 июня 2012 г.

Kovalev S.V., Lazarev, K.S., Kovaleva O.A. DEVELOPMENT OF APPARATUS FOR SEPARATING OF CHEMICAL AND MECHANICAL ENGINEERING INDUSTRIES SEWAGES BY ELECTROBAROMEMBRANE METHODS

The constructions of electrobaromembrane apparatus of flat-chamber and roll types, which can be partitioned wastewater of chemical and engineering industries by electrobaromembrane methods are developed.

*Key words:* solution; near-cathode membrane; near-anode membrane; electrobaromembrane apparatus.