

УДК 66.081.6

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАСТВОРОВ

© С.В. Ковалев, С.И. Лазарев

*Ключевые слова:* технологические схемы; электробаромембранное разделение; мембрана; аппарат.

Разработана методика совершенствования принципиальных технологических схем проведения процесса электробаромембранного разделения растворов.

Во втором десятилетии XXI в. активно развивающимся направлением считается применение методов мембранной технологии с наложением на систему мембрана–раствор разности электрических потенциалов совместно с перепадом давления до и после мембраны. Данное направление является актуальным из-за возможности применения схем дифференцированного выделения ионов по потокам раствора, что является плодотворным для дальнейших схем переработки технологических растворов и сточных вод. Так как потоки, обедненные или обогащенные соединениями определенных групп, легче перерабатывать и утилизировать с применением традиционных методов очистки.

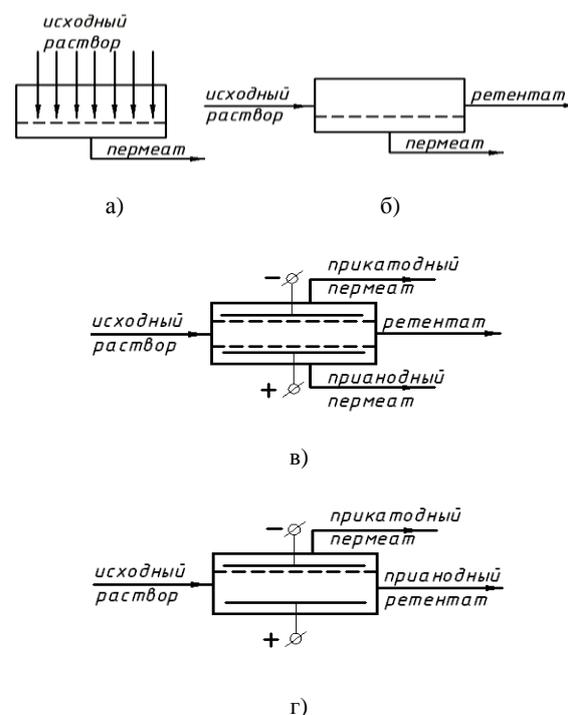
Применяемые в промышленности и лабораторной практике принципиальные технологические схемы баромембранного разделения жидких смесей можно классифицировать: по типу осуществляемого процесса (установки микрофльтрации, нанофльтрации, ультрафльтрации, обратноосмотические, электродиализные); по назначению (промышленные и опытные установки для научных исследований); по режиму работы (периодические и непрерывные); по организации потока разделяемой смеси. На основании тщательного подбора методов и способов разделения для конкретного технологического раствора, баромембранные методы могут быть модернизированы с наложением на процесс постоянного электрического тока и переменного. Конкретных принципиальных технологических рекомендаций по схемам очистки электробаромембранными методами по наличию разделяющего действия не обнаружено, и встречаются только разрозненные литературные данные по данным перспективным методам разделения растворов [1–3].

Существуют два способа принципиального проведения процессов мембранного разделения – тупиковый (фльтрационный) и проточный (мембранный), показанные на рис. 1а, 1б. Их модификацией является дифференцированное выделение ионов по потокам прикатодного пермеата, прианодного пермеата и ретентата (рис. 1в), а для схем очистки, содержащих легко полимеризующиеся соединения, особенностью является дифференцированное выделение ионов по потокам прикатодного пермеата и прианодного ретентата, т. к. известно, что в процессах электролиза и электробаромембранного разделения происходит налипание целевого продукта на поверхность анодного электрода и

налипание продукта на поверхность мембран перед прианодным электродом. Для того чтобы избавиться от отрицательного воздействия этого фактора, разработан проточный вариант схемы разделения (рис. 1г).

Тупиковый способ разделения применяется в основном на патронных мембранных элементах [4].

Для применения проточной (мембранной) схемы организации процесса мембранного разделения необходимо учитывать следующие особенности [5]: 1) по длине аппарата объемный расход разделяемого потока уменьшается за счет оттока пермеата, и принципиально уменьшается линейная скорость жидкости вдоль мембраны; 2) по длине аппарата концентрация задерживаемых мембраной компонентов растет, пропорционально повышается и концентрация их в пермеате;



**Рис. 1.** Способы принципиального проведения процессов мембранного разделения: а – тупиковый (фльтрационный); б – проточный (мембранный); в, г – проточный (электробаромембранный)

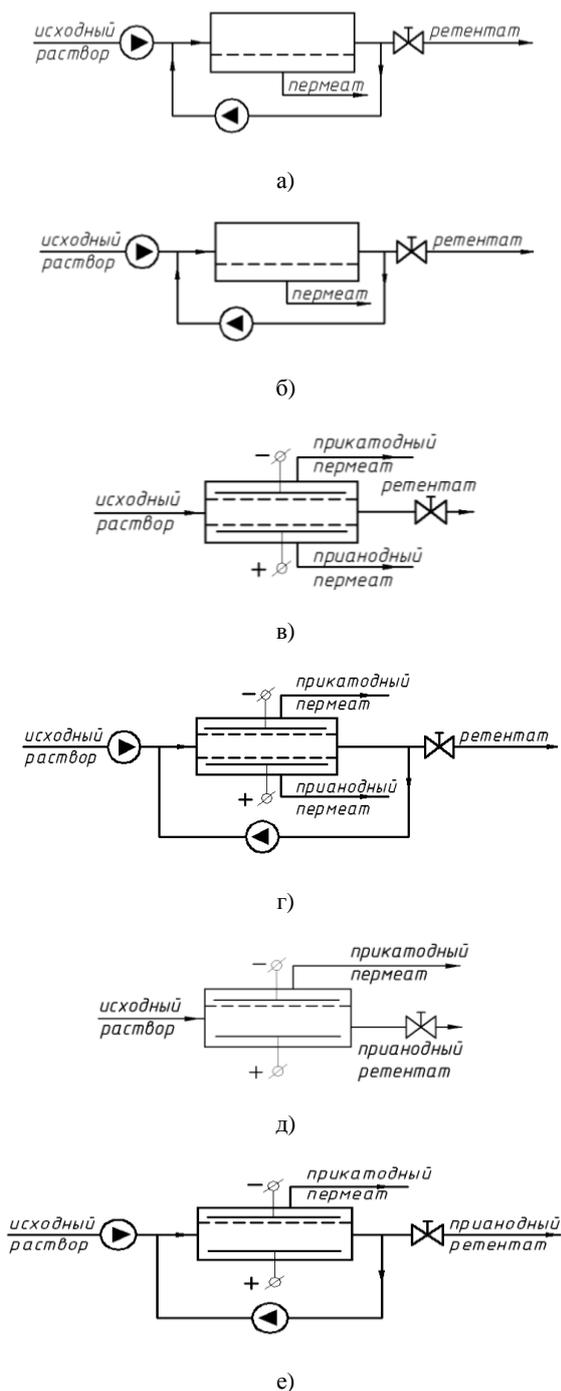


Рис. 2. Схемы осуществления мембранных и электробаромембранных процессов разделения растворов

3) по длине аппарата давление над мембраной падает из-за гидравлического сопротивления в напорном канале, соответственно, снижается движущая сила процесса разделения; 4) эффективное концентрирование целевого газа или компонента жидкой смеси требует каскадной схемы соединения аппаратов; 5) глубокая очистка растворов требует многоступенчатых схем соединения аппаратов.

В проточных схемах мембранного разделения растворов применяются две конфигурации потоков – транзитная (прямоточная мембранная и циркуляцион-

ная) [5] (рис. 2а, 2б) и электробаромембранная (прямоточная и циркуляционная) (рис. 2в–е).

Циркуляционные схемы мембранного и электробаромембранного разделения (рис. 2б, 2г, 2е) применяются, когда крайне необходимо обеспечить высокую скорость потока в напорном канале (например, для того чтобы не происходили процессы осадкообразования на мембране (концентрационная поляризация, образование слоя геля)).

По числу ступеней установки можно разделить на одноступенчатые и многоступенчатые (каскадные). Под одной ступенью можно понимать часть технологической схемы процесса мембранного разделения, в котором происходит однократное проникновение растворенного вещества через мембрану. Многоступенчатые установки применяются, когда одноступенчатые схемы разделения не обеспечивают выполнение требований по качеству разделения [4].

На рис. 3а–в показан простейший вариант многоступенчатой установки мембранного и электробаромембранного разделения на примере двухступенчатой схемы процесса разделения исходного раствора.

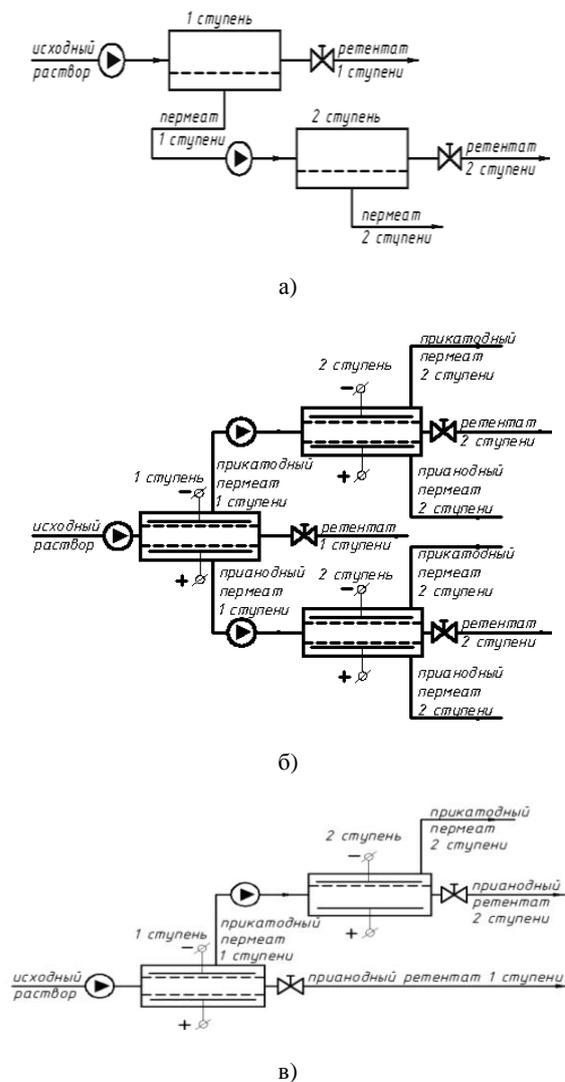


Рис. 3. Схема двухступенчатой установки: а – мембранной; б, в – электробаромембранной

По организации потока разделяемой смеси различают секционированные и несекционированные установки. В секционированных установках все аппараты группируются по секциям, в каждой такой секции разделительные аппараты соединены параллельно, но сами секции соединены последовательно. Для оптимального распределения потоков разделяемого раствора между мембранными аппаратами, обеспечивающими наиболее благоприятные гидродинамические усло-

вия в межмембранных каналах всех разделительных элементов установки, с учетом изменения концентрации веществ в разделяемом растворе аппараты соединяют в секции [6] (рис. 4а–в).

Другая конфигурация – это рециркуляционная система, показанная на рис. 5а–в. В этом случае исходный раствор прокачивается несколько раз через одну и ту же ступень, состоящую из нескольких модулей [7].

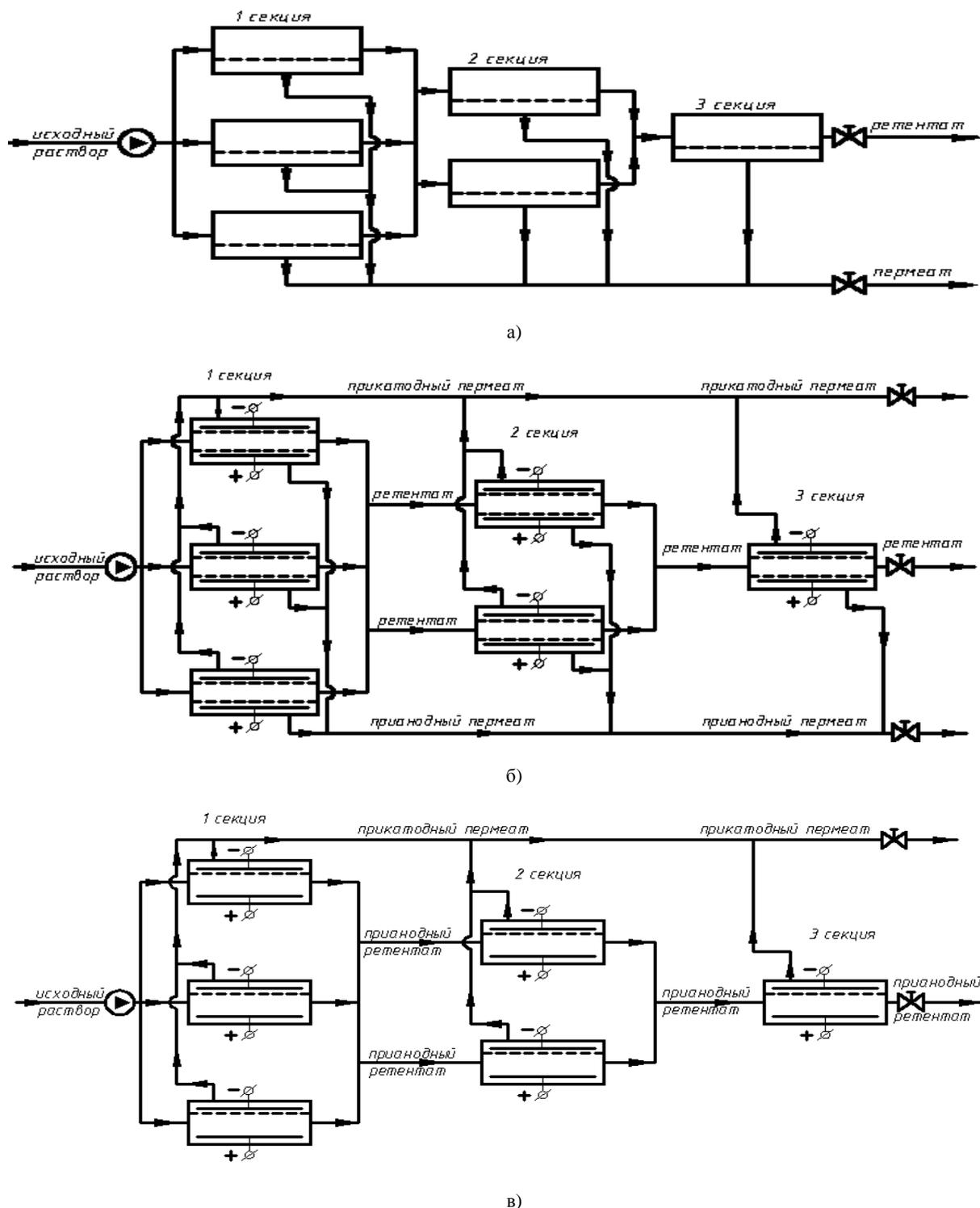
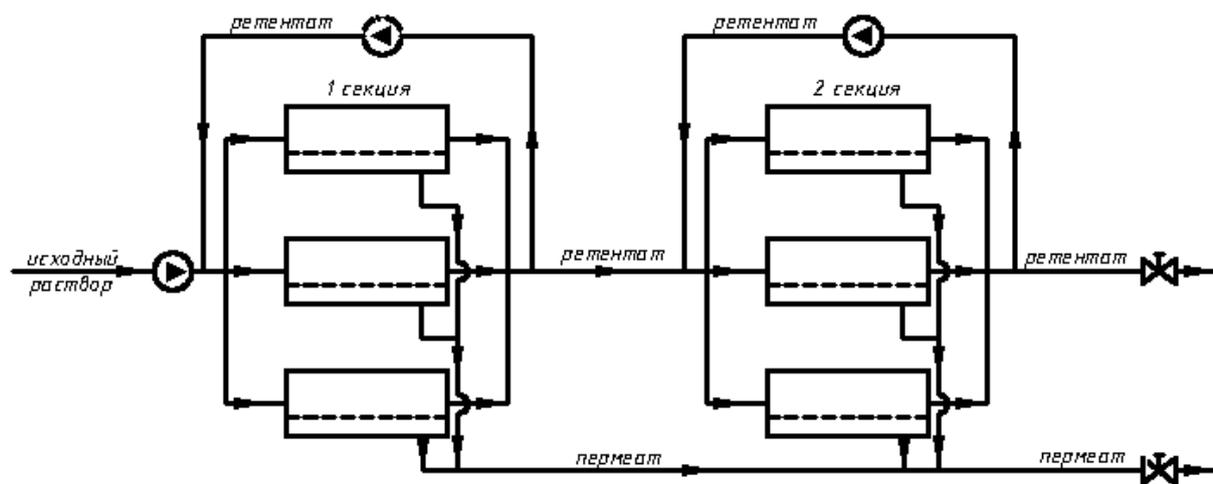
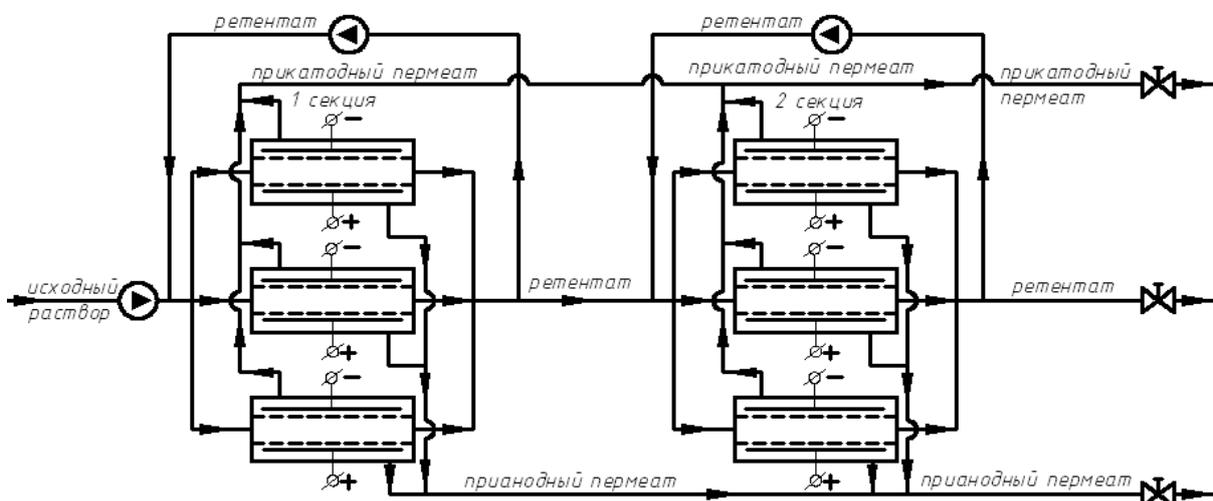


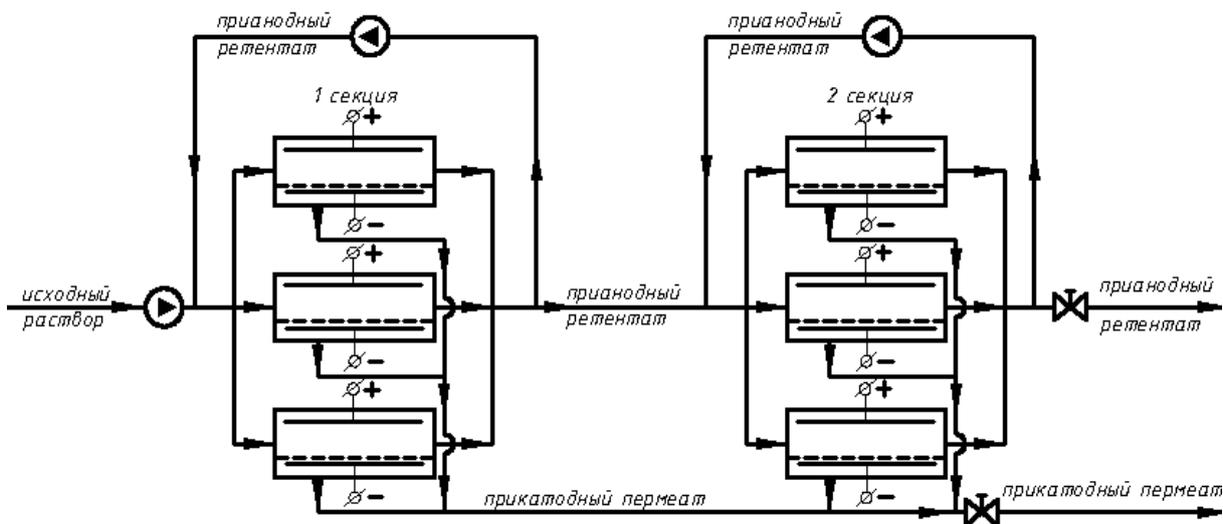
Рис. 4. Схема трехсекционной установки: а – мембранная; б, в – электробаромембранная



а)



б)



в)

Рис. 5. Схема рециркуляционной установки: а – мембранная; б, в – электробаромембранная

Каждая ступень снабжена рециркуляционным насосом, что позволяет оптимизировать гидродинамические условия. При этом наблюдается лишь небольшое падение давления в каждой ступени, где можно регулировать скорость потока и давление. Система рециркуляции сырья является гораздо более гибкой, чем однопроводная система, и ей следует отдать предпочтение в процессах ультра- и микрофильтрации, когда ожидаются сильная концентрационная поляризация и быстрое отложение осадков на мембранах [7].

Технологическое оформление электробаромембранных методов разделения растворов применяется с аппаратами, представленными в работах [8–18].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачев А.С. Кинетика электробаромембранного разделения водных сульфатосодержащих растворов (в производстве оптических отбеливателей): автореф. дис. ... канд. тех. наук. Тамбов, 2006.
2. Лазарев С.И. Научные основы электрохимических и баромембранных методов очистки, выделения и получения органических веществ из промышленных стоков: автореф. дис. ... д-ра тех. наук. Тамбов, 2001.
3. Карлин Ю.В. Влияние электрического поля на ионный транспорт через обратноосмотические мембраны: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1984.
4. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. М.: ДеЛи принт, 2007. 208 с.
5. Хараев Г.И., Ямшилов С.С., Хантургаев А.Г. Баромембранные процессы. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. 126 с.
6. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
7. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: пер. с англ. М.: Мир, 1999. 513 с.
8. Патент РФ № 2403957. В01D61/42, В01D61/46. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Чепеняк П.А., Данилов А.Ю., Лазарев К.С. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа. Бюл. № 32. 2010.
9. Лазарев К.С., Ковалев С.В., Лазарев С.И., Кочетов В.И. Проектирование и расчет электробаромембранных аппаратов плоскокамерного типа для очистки промышленных стоков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 5. С. 5-9.
10. Патент РФ № 2447930. В01D61/42, В01D61/14. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Кормильцин Г.С., Лазарев К.С., Ковалева Т.Д., Ворожейкин Ю.А., Эрлих А.В. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа. Бюл. № 11. 2012.
11. Патент РФ № 2268085. В01D 61/42. Лазарев С.И., Горбачев А.С., Абоносимов О.А. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. Бюл. № 02. 2006.
12. Патент РФ № 2411986. В01D 61/46. Лазарев С.И., Ковалев С.В., Абоносимов О.А., Ансимова З.А., Лазарев К.С. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. Бюл. № 11. 2008.
13. Патент РФ № 2273512. В01D 61/42. Лазарев С.И., Головашин В.Л., Мамонтов В.В. Электробаромембранный аппарат трубчатого типа. Бюл. № 10. 2006.
14. Патент РФ № 2324529. В01D 61/42. Лазарев С.И., Вязовов С.А., Рябинский М.А. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа. Бюл. № 05. 2006.
15. Патент РФ № 2326721. В01D 61/42. Лазарев С.И., Абоносимов О.А., Рябинский М.А. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. Бюл. № 11. 2008.
16. Лазарев С.И., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Мембранный аппарат с плоскими фильтрующими элементами. А.с. 1745284 СССР // Б. И. 1992. № 25. С. 6.
17. Лазарев С.И., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Мембранный аппарат. А.с. 1681926 СССР // Б. И. 1991. № 37. С. 7.
18. Патент РФ № 2487746. В01D 61/42. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Соломина О.А., Лазарев К.С. Электробаромембранный аппарат рулонного типа. Бюл. № 20. 2013.

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

Поступила в редакцию 10 октября 2013 г.

Kovalev S.V., Lazarev S.I., TECHNOLOGICAL APPROACH TO PRINCIPLED SCHEMES IMPROVING ELECTROBAROMEMBRANE DIVISION OF INDUSTRIAL SOLUTIONS

The technique improvement of technological schemes of the process of electrobaromembrane separation solutions is developed.

*Key words:* flow charts; electrobaromembrane division; membrane; apparatus.