

УДК 665.662

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБОРОТНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ

Е.Е. Ергожин, Т.К. Чалов, Т.В. Ковригина, Е.А. Мельников, К.Х. Хакимболатова

*Актуальность данной работы имеет исключительное значение и широкое применение в технологических процессах на большинстве промышленных предприятий, в том числе нефтеперерабатывающих. Промышленные предприятия нефтяной отрасли подвержены строгому контролю по защите окружающей среды, расходу воды, количеству и качеству сбрасываемых сточных вод. В данной статье приведены данные по очистке оборотной воды перед секцией осветления методом обратного осмоса с применением прибора электромагнитной обработки. Авторами изготовлена пилотная обратноосмотическая установка производительностью 0,370 м<sup>3</sup>/ч, выход по пермеату (очищенной воде) составил 0,3 м<sup>3</sup>/ч, сброс концентрата – 0,07 м<sup>3</sup>/ч. Испытательный стенд работает по замкнутой схеме, т.е. пермеат и рассол возвращаются в исходную емкость. Разработаны технологическая схема очистки до норм, отвечающих требованиям подпиточной воды, а также техническое задание на проектирование промышленных систем оборотного водоснабжения.*

*Ключевые слова: пилотная обратноосмотическая установка, электромагнитная обработка, производительность, степень очистки, нефтепродукты, общее солесодержание, жесткость воды, технологическая схема, пермеат, концентрат.*

### Введение

Системы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий оказывают как прямое, так и косвенное негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому эксплуатация таких систем должна осуществляться в соответствии с положениями об охране окружающей среды. Должны предусматриваться мероприятия по охране окружающей среды, рациональному использованию водных ресурсов и обеспечению экологической безопасности. Водоснабжение промышленных предприятий должно предусматривать максимальный оборот производственных сточных вод для восполнения потерь воды [1–3].

Поддержание качества воды в оборотных системах является важным фактором оптимального режима работы производства, влияющим, главным образом, на эффективность работы теплообменных устройств. Ухудшение качества воды приводит к уменьшению работоспособности и производительности нефтеперерабатывающего завода. Для решения основных возникающих проблем СНИПом предусматривается продувка системы, подщелачивание или подкисление воды и т.д. [4] С недавних пор появились новые методы защиты: в систему вводятся различные полимерные добавки – реагенты, предотвращающие образование кальциевых отложений, коррозии и биообрастания в различных элементах оборотной системы предприятия. При охлаждении оборотной воды за счет испарения в градирнях, других потерь и подпитки менее дешевой (не деминерализованной) водой концентрация солей в системе повышается, меняя свойства оборотной воды, что приводит к необходимости автоматического дозирования и корректировки дозы полимерных реагентов в зависимости от свойств оборотной воды в различные моменты эксплуатации для поддержания постоянных свойств [5–8].

Предприятия нефтеперерабатывающей промышленности являются крупнейшими источниками загрязнения окружающей среды. На территории Республики Казахстан нефтяная отрасль представлена полным перечнем технологических процессов. При этом на всех этапах переработки нефти происходит загрязнение природных объектов [9, 10].

Известно, что мембранные процессы (электрохимические и баромембранные, мембранно-биореакторные и т.д.) в сочетании с другими возможностями и с включением инновационных компонентов могут существенно повысить эффективность и

производительность очистительных установок.

Целью данной работы является проведение испытаний пилотной обратно-осмотической установки с применением импульсной электромагнитной обработки воды перед секцией осветления ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» (далее – ТОО «АНПЗ»).

### Результаты и обсуждение

В ходе проведения данной работы разработана опытно-конструкторская документация на изготовление пилотной установки, включающая узел обратно-осмотического опреснения воды, совмещенный с генератором импульсного электромагнитного поля, и технологическая схема очистки воды с целью повышения качества оборотной воды с применением

технологии импульсной электромагнитной обработки воды (рис. 1). Известно, что при снижении объема концентрата увеличивается концентрация всех солей в нем: находящиеся в концентрате соли жесткости образуют микрокристаллы с выделением их на поверхности мембранного элемента [11]. В результате производительность установки резко уменьшается, а мембранные элементы необходимо подвергать «химической» промывке или замене. Решить эту проблему можно либо с помощью реагентов, вводимых в исходную воду, либо при помощи импульсной электромагнитной обработки воды в процессе обратного осмоса. Для выполнения этой задачи необходимо создать условия, когда только зарождающиеся микрокристаллы солей жесткости будут находиться в воде как бы на «магнитной подушке», без выделения их на поверхности мембраны.

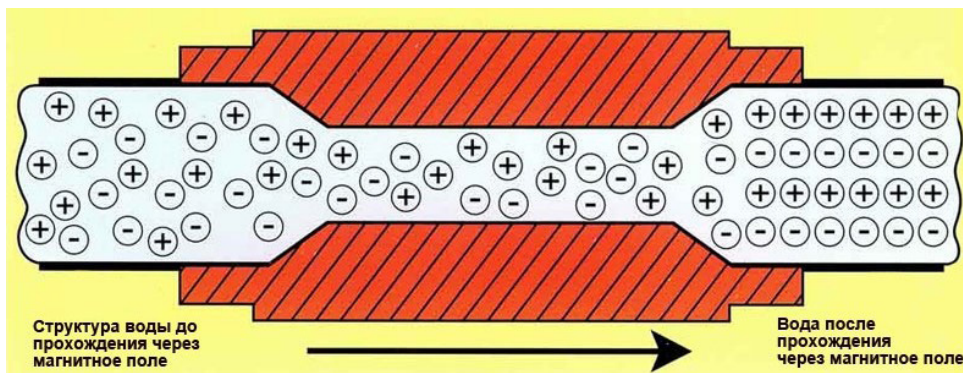


Рисунок 1. Принцип работы прибора электромагнитной обработки воды

Электромагнитный преобразователь предназначен для очистки и защиты от отложений солей жесткости. Он может использоваться как самостоятельно, так и в качестве дополнения к уже имеющимся системам водоподготовки. В блоке управления расположена печатная плата с мощным электромагнитом и микропроцессором, который генерирует электромагнитные импульсы и управляет изменением диапазона частот от 1 до 25–50 кГц. Электромагнитные волны различной длины и меняющихся во времени амплитуды и частоты передаются по проводам-излучателям. Электромагнитный импульс концентрируется в объеме воды, протекающей в трубопроводе в том месте, где установлена катушка. Под воздействием электромагнитных волн двухвалентные катионы кальция и магния теряют возможность

взаимодействовать с анионами и образовывать нерастворимые соединения. Преобразованные катионы кальция и магния теряют возможность кристаллизоваться и выпадать в осадок. При этом химический и минеральный состав воды не меняется.

Согласно техническому заданию для проведения длительных испытаний технологии магнитно-импульсной обработки воды был разработан комплект документов на испытательный стенд, включающий в себя обратноосмотическую установку, снабженную прибором электромагнитной обработки воды (далее – ПЭО).

Технологическая схема представлена на рис. 2, по которой исходная вода поступает в емкость Е1. Из емкости Е1 насосом Н1 вода подается на механический фильтр Ф1 с порогом фильтрации 5 мкм, затем вода поступает на обратноосмотическую

установку производительностью 300 л/ч. В установке фильтрованная вода насосами высокого давления НВ подается на блок обратноосмотических элементов А1–А2. Перед насосом высокого давления НВ – после точки врезки рециркуляционной линии – на трубопроводе устанавливается ПЭО. Расходы концентрата, пермеата и рециркуляции концентрата контролируются по ротаметрам Р1, Р2, Р0 соответственно. Работа фильтра Ф1 контролируется по перепаду давления – манометры, показывающие М1, М2. Работа элементов обратноосмотических А1–А2 контролируется по ротаметрам Р1, Р2, Р0 и по перепаду давления на манометрах М3, М4. Испытательный стенд работает по замкнутой схе-

ме, т.е. пермеат и рассол возвращаются в исходную емкость.

Контролируемые параметры испытательного стенда: производительность по пермеату, концентрату, рециркуляционной линии, перепад давления на фильтре Ф1 и элементах А1–А2; общая минерализация (далее – ТДС) в емкости Е1, в пермеате и концентрате.

Прибор электромагнитной обработки воды представлен на рис. 3.

### Комплектация испытательного стенда

Испытательный стенд имеет следующий комплектацию:

Таблица 1. Комплектация испытательного стенда

Наименование комплектующего	Количество, ед.
Рама	2
Фильтр тонкой очистки	1
Импульсный магнитный преобразователь	1
Катушка магнитная	1
Корпус мембранного элемента 4040	4
Мембранный обратноосмотический элемент 4040	4
Насос высокого давления	2
Трубопроводы, краны, ротаметры, манометры, измерительная аппаратура	1 комплект

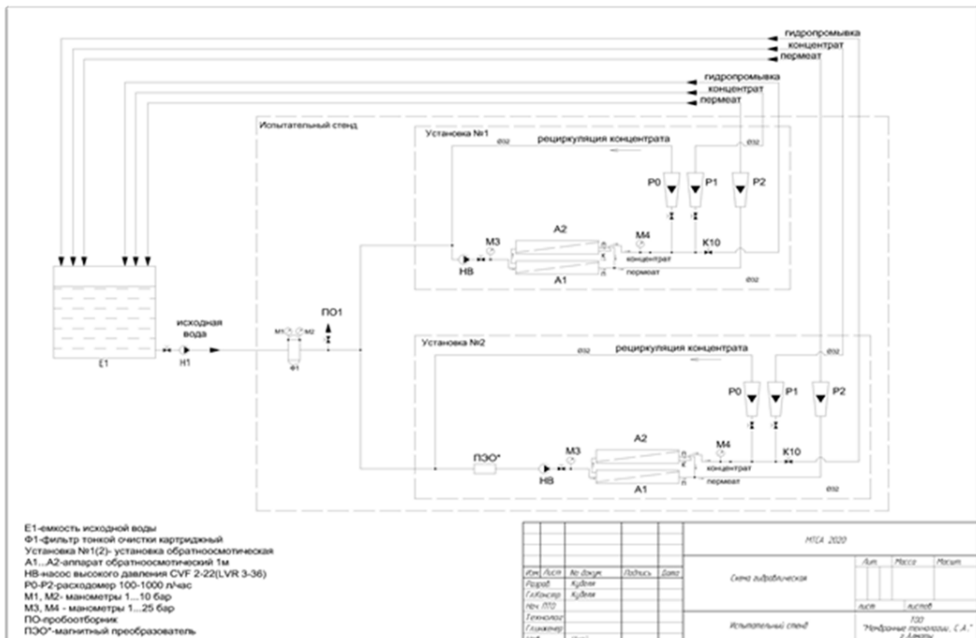


Рисунок 2. Технологическая схема испытательного стенда



Рисунок 3. Прибор электромагнитной обработки воды

Проведены испытания пилотной установки для очистки оборотной воды перед секцией осветления, доставленной с ТОО «АНПЗ». Испытания проводились в период с 25 июня по 18 сентября 2020 г. В ходе проведения испытаний на экспериментальной установке был подобран оптимальный режим по повышению качества оборотной воды методом обратноосмотического опреснения с применением импульсной электромагнитной обработки воды.

#### **Описание режима по расходам воды на экспериментальных установках**

На вход в линию насоса высокого давления обратноосмотической установки подавался поток воды с производительностью 0,370 м<sup>3</sup>/ч, выход по пермеату (по

очищенной воде) составлял 0,3 м<sup>3</sup>/ч, сброс концентрата составлял 0,07 м<sup>3</sup>/ч.

Фрагменты результатов испытаний, проведенных с 25.06.2020 г. по 18.09.2020 г., приведены в табл. 2.

В результате проведенных испытаний и исходя из данных протоколов независимой лаборатории установлено, что общее солесодержание снизилось в воде перед секцией осветления с 427 до 13,0 мг/л, рН – с 7,8 до 6,6.

Обработка воды в магнитном поле применяется для борьбы с накипеобразованием. Сущность метода состоит в том, что при пересечении водой магнитных силовых линий катионы солей жесткости выделяются не на поверхности нагрева, а в массе воды. Метод эффективен при обработке вод кальциево-карбонатного класса [12].

Таблица 2. Результаты проведенных на обратноосмотической установке испытаний

Дата	Время	ΔР вк. бар	ΔР вых. бар	Q перм. м³/ч	Q конц. м³/ч	Q рач. м³/ч	TDS, (мг/л)			T, °C			pH		
							исх.	перм.	конц.	исх.	перм.	конц.	исх.	перм.	
25.06.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,1	1887,6	19	19	19	8,4	6,7	8,7
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1887,6	20	21	21	8,4	6,7	8,7
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1887,6	20	21	21	8,4	6,7	8,7
26.06.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,8	1884,3	21	21	21	8,4	6,7	8,8
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,7	1885,0	21	22	22	8,4	6,7	8,8
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,7	1885,0	22	22	22	8,4	6,7	8,8
29.06.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,6	1884,5	19	19	19	8,4	6,7	8,5
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,8	1887,3	19	19	19	8,4	6,7	8,5
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,8	1885,2	21	22	22	8,4	6,7	8,5
30.06.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,9	1885,4	21	21	21	8,4	6,7	8,7
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,9	1888,7	21	22	22	8,4	6,7	8,7
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1884,9	21	22	22	8,4	6,7	8,7
1.07.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1885,6	20	20	20	8,4	6,7	8,6
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1885,7	20	21	21	8,4	6,7	8,6
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,1	1885,9	20	21	21	8,4	6,7	8,6
2.07.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,1	1888,0	18	18	18	8,4	6,7	8,6
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,8	1888,0	18	19	19	8,4	6,7	8,6
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,7	1888,9	19	20	20	8,4	6,7	8,6
3.07.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,5	1887,2	20	20	20	8,4	6,8	8,7
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,7	1884,3	20	21	21	8,4	6,8	8,7
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1883,5	20	21	21	8,4	6,8	8,7
14.09.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,9	1887,2	19	19	19	8,4	6,8	8,8
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1885,9	20	21	21	8,4	6,8	8,8
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,0	1884,9	20	21	21	8,4	6,8	8,8
15.09.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	13,1	1887,0	18	18	18	8,4	6,8	8,7
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,8	1886,9	18	19	19	8,4	6,8	8,7
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,9	1886,3	19	20	20	8,4	6,8	8,7
16.09.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,8	1886,7	20	20	20	8,4	6,8	8,7
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,4	1886,7	20	21	21	8,4	6,8	8,7
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,5	1887,9	20	21	21	8,4	6,8	8,7
17.09.2020	9:00	9,0	8,8	0,3	0,07	0,002	427	12,5	1885,6	19	19	19	8,4	6,7	8,7
	13:00	9,0	8,8	0,3	0,07	0,002	427	12,6	1882,9	19	20	20	8,4	6,7	8,7
	17:00	9,0	8,8	0,3	0,07	0,002	427	12,9	1887,9	19	20	20	8,4	6,7	8,7
18.09.2020	9:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,9	1887,5	19	19	19	8,4	6,7	8,8
	13:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,8	1887,6	20	21	21	8,4	6,7	8,8
	17:00	9,1	8,9	0,3	0,07	0,002	427	12,7	1884,7	20	21	21	8,4	6,7	8,8

Если в воде присутствуют диссоциирующие соли (присутствуют соли гидрокарбоната кальция  $\text{CaHCO}_3$  в воде ТОО «АНПЗ»), при магнитной обработке происходит несколько процессов:

- смещение электромагнитными силами полей равновесия между структурными компонентами воды;
- физико-химический механизм увеличения центров кристаллизации в объеме жидкости после ее магнитной обработки, а также изменение скорости

коагуляции (слипания и укрупнения) дисперсных частиц в потоке жидкости.

Магнитная обработка воды нами осуществлялась прибором «Термит», который создает низкочастотные сигналы переменной частоты диапазона 1–10 кГц, поступающие по проводам излучателя, намотанным по определенной схеме и последовательности на трубопровод.

На рис. 4 представлены фотографии разрезанных мембран после очистки с применением электромагнитной обработки и без применения.



Рисунок 4. Фотографии разрезанных мембран: а) с применением электромагнитной обработки воды; б) без применения электромагнитной обработки воды

Из рис. 4, б), видно, что на обратноосмотических мембранах образуются отложения – соли кальция и магния (рыхлое пористое порошкообразное вещество известкового происхождения), а использование магнитной обработки воды в опреснении перед секцией осветления имеет положительный результат. Соли кальция и магния не оседают на обратноосмотических мембранах (рис. 4, а), тем самым продлевая срок службы обратноосмоти-

ческих мембран, которые являются наиболее дорогостоящими комплектующими частями установки.

Таким образом, применение магнитной обработки воды в технологии очистки воды обратным осмосом имеет большие перспективы по ряду причин:

- защита обратноосмотических мембран от отложений, тем самым увеличение срока их службы;

– невысокая стоимость прибора магнитной обработки воды;  
– простота схемы подключения прибора, что позволяет не менять уже существующую технологическую схему очистки воды.

### Выводы

Разработана высокоэффективная технология очистки воды перед секцией

осветления ТОО «АНПЗ», основанная на методе обратного осмоса с применением импульсной электромагнитной обработки. Установлено, что применение данной технологии позволяет минимизировать сброс воды и продлевать срок службы мембран, защищая их от отложений. При этом достигается высокое опреснение воды до норм, отвечающим требованиям подпиточной воды.

### Список использованной литературы

1. Ушаков Г.В. Биологически очищенные сточные воды для подпитки систем оборотного водоснабжения. – Экология и промышленность России, 2007, № 9, с. 20–22.
2. Алиев А.Ф. Предотвращение накипеобразования в оборотных системах технического водоснабжения при использовании вод повышенной минерализации. – Теплоэнергетика, 2006, № 8, с. 55–58.
3. Наумов С.В., Мухутдинов А.А., Сольяшинова О.А. Экологизация технологий оборотного водоснабжения. – Вестник Казанского технологического университета, 2010, № 1, с. 208–211.
4. СНиП РК 4.01-02-2009. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
5. Анаников С.В., Азимов Ю.И., Савдур С.Н. Разработка систем управления оборотного водоснабжения в нефтехимических производствах. – Вестник Казанского технологического университета, 2013, т. 16, № 2, с. 136–138.
6. Москвичева Е.В., Салахутдинова А.Р., Игнаткина Д.О., Сидякин П.А., Щитов Д.В., Ибрагимов З.К. Современные системы оборотного водоснабжения промышленного предприятия. – Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2015, № 39 (58), с. 151–163.
7. Fielding K.S., Dolnicar S., Schultz T. Public acceptance of recycled water. – International Journal of Water Resources Development, 2019, v. 35, Iss. 4, p. 551–586.
8. Moya-Fernández P.J., López-Ruiz S., Guardiola J., González-Gómez F. Determinants of the acceptance of domestic use of recycled water by use type. – Sustainable Production and Consumption, 2021, v. 27, p. 575–586.
9. Ерғожин Е.Е., Чалов Т.К., Хакимболатова К.Х. Мембраны и мембранные технологии. – Алматы, ИП «Бекетаева», 2017, 260 с.
10. Ерғожин Е.Е., Чалов Т.К., Мельников Е.А. Состояние и перспективы мировой нефтеперерабатывающей промышленности. – Алматы, ИП «Бекетаева», 2019, 562 с.
11. Колесников И.К., Курбанов Ж.Ф. Воздействие единого электромагнитного поля на кавитационные процессы в воде. – The Scientific Heritage, 2020, № 55-2 (55), с. 56–60.
12. Рунов Д.М., Лаптев А.Г. Электромагнитная обработка воды в системе оборотного водоснабжения. – Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015, № 1–2, с. 18–25.

## АЙНАЛЫМДАҒЫ СУДЫҢ САПАСЫН ИМПУЛЬСТІ- ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӘДІСПЕН ЖАҚСARTU

Е.Е. Ерғожин, Т.К. Чалов, Т.В. Ковригина, Е.А. Мельников, К.Х. Хакимболатова

Бұл жұмыстың өзектілігі өте маңызды және технологиялық үрдістерде көптеген өнеркәсіп кәсіпорындарында, оның ішінде мұнай өңдеу зауыттарында су кеңінен қолданылады. Мұнай өнеркәсібінде қоршаған ортаны қорғауға, суды тұтынуға, ағынды сулардың мөлшері мен сапасына қатаң бақылау жүргізеді. Бұл мақалада электромагниттік тазарту құралын қолдана отырып, кері осмос әдісімен айналымдағы суды тазарту туралы мәліметтер келтірілген. Авторлар қуаттылығы 0,370 м<sup>3</sup>/сағ болатын, өткізгіштігі 0,3 м<sup>3</sup>/сағ. (тазартылған су үшін), концентраттың шығымы 0,07 м<sup>3</sup>/сағ. сәйкес кері осмос қондырғысын жасап шығарды. Жасақталған

сынақ стенді жабық тізбекте жұмыс істейді, яғни, өткізгіш пен тұзды ерітінді соңынан бастапқы ыдысқа қайтарылады. Қайтарылған суды стандарт талаптарына сәйкес тазарту технологиялық сызбалары, сонымен қатар сумен жабдықтаудың өндірістік қайта өңдеу жүйелерін жобалауға арналған техникалық тапсырма әзірленді.

Түйін-сөздер: пилоттық кері осмос қондырғысы, электромагниттік өңдеу, өнімділігі, тазарту дәрежесі, мұнай өнімдері, жалпы тұз мөлшері, судың кермектігі, технологиялық сызбасы, өткізгіш, концентрат.

## IMPROVING THE QUALITY OF RECYCLED WATER BY PULSED ELECTROMAGNETIC TREATMENT

**E.E. Ergozhin**, T.K. Chalov, T.V. Kovrigina, Ye.A. Melnikov, K.Kh. Khakimbatova

*The relevance of this work is of exceptional importance and is widely used in technological processes at most industrial enterprises, including oil refineries. Industrial enterprises of the oil industry are subject to strict controls on environmental protection, water consumption, and the quantity and quality of wastewater discharged. This article presents data on the treatment of recycled water before the clarification section by reverse osmosis using an electromagnetic treatment device. The authors made a pilot reverse osmosis unit with a capacity of 0.370 m<sup>3</sup>/h, the permeate output (for purified water) was 0.3 m<sup>3</sup>/h, the concentrate discharge was 0.07 m<sup>3</sup>/h. The test bench operates in a closed circuit, i.e. the permeate and brine are returned to the original container. The technological scheme of purification to the standards that meet the requirements of make-up water, as well as the technical specification for the design of industrial recycling water supply systems, has been developed.*

*Keywords: pilot reverse osmosis plant, electromagnetic treatment, productivity, degree of purification, petroleum products, total salinity, water hardness, technological scheme, permeate, concentrate.*

### Информация об авторах

**Ергожин Едил Ергожаевич** – академик НАН РК, [ics\\_rk@mail.ru](mailto:ics_rk@mail.ru).

**Чалов Тулеген Каменович** – докт. хим. наук, профессор, зав. лабораторией ионообменных смол и мембран, [chalov.45@mail.ru](mailto:chalov.45@mail.ru).

**Ковригина Татьяна Васильевна** – канд. хим. наук, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник лаборатории ионообменных смол и мембран, [kovriginat@mail.ru](mailto:kovriginat@mail.ru).

**Мельников Евгений Александрович** – доктор PhD, старший научный сотрудник лаборатории ионообменных смол и мембран, [sebas273@mail.ru](mailto:sebas273@mail.ru).

**Хакимболатова Камила Хакимболатовна** – канд. хим. наук, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник лаборатории ионообменных смол и мембран, [ics\\_kamila@mail.ru](mailto:ics_kamila@mail.ru).

АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», г. Алматы, Казахстан