

УДК 547.53.554+541.183.3

**Е. Е. ЕРГОЖИН**, Т. К. ЧАЛОВ, К. Х. ХАКИМБОЛАТОВА\*,  
Т. В. КОВРИГИНА, Е. А. МЕЛЬНИКОВ

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

\*E-mail: ics\_kamila@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ НА НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Аннотация.** Разработана технологическая схема и техническая документация на изготовление испытательного стенда с производительностью по очищенной воде – 300 л/ч. Проведены длительные испытания на испытательном стенде, а также анализ качества отобранной воды до очистки, с применением прибора электромагнитной обработки и без него. В результате проведенных испытаний обнаружено, что общее солесодержание после обратноосмотической установки снизилось с 535,5 до 30,0 мг/л, а в воде с применением магнитной обработки воды – с 535,5 до 12,7. При этом рН в первом случае варьировался с 8,3 до 6,2, во втором – с 8,3 до 6,44.

Установлено, что использование магнитной обработки воды в опреснении перед установкой обратного осмоса имеет положительный результат, а именно, соли кальция и магния не оседают на обратноосмотических мембранах, тем самым продлевая срок службы обратноосмотических мембран.

**Ключевые слова:** обратный осмос, безреагентная электромагнитная обработка, производительность, степень очистки, общее солесодержание, жесткость воды.

При работе химических и нефтехимических предприятий одним из важнейших этапов технологических процессов является водоподготовка и получение воды нормативного качества [1,2]. Умягчение воды, т.е. снижение содержания растворимых солей кальция и магния, осуществляют различными способами. Выбор метода умягчения воды определяется исходной жесткостью и ее качеством, необходимым для потребителя, т.е. необходимой глубиной умягчения, экологическими и технико-экономическими соображениями.

В последние годы в Республике Казахстан растет доля использования подземных вод в водоснабжении, в первую очередь, для питьевых целей, потому что, как правило, они не требуют специальной очистки, а в ряде случаев и обеззараживания.

Общим недостатком подземных вод некоторых регионов является повышенная жесткость. В научной литературе имеются данные о так назы-

ваемых «каменных зонах», где источники питьевой воды характеризуются высокой общей минерализацией, где образование у населения камней в почках имеет местный экзогенный характер.

На крупных предприятиях химической и нефтехимической промышленности в основном используется умягчение воды методом обратного осмоса [3]. Следует отметить, что известные способы водоподготовки требуют больших энергетических затрат, которые обуславливают значительное увеличение количества сжигаемого топлива, и как следствие, поступление в атмосферный воздух значительных объемов продуктов сгорания топлива в промышленных печах. В данном случае изменяется состав атмосферного воздуха, часто приближая концентрации токсичных веществ к опасным по биологическому действию на биосистемы. При сжигании различных видов топлива в стационарных топливосжигающих установках в атмосферу поступает значительное количество токсичных веществ- это твердые частицы (зола, пыль, сажа), оксиды серы ( $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ ), азота ( $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ), а также в меньших количествах монооксид углерода ( $\text{CO}$ ), альдегиды (в основном  $\text{HCHO}$ ), органические кислоты ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  и др.).

Из литературных сведений известен метод, применяемый для удаления отложившихся на поверхности труб солей. В основе его лежит метод наложения электромагнитного воздействия различных частот [4]. Используемые в данное время аппараты для магнитной обработки воды типа АМО-25, АМО-ЮО, АМ0200 отличаются высокой мощностью (350-500 Вт), большими габаритами и массой (40-330 кг), а также необходимостью нагревания обрабатываемой воды до  $60^\circ\text{C}$ , что связано также со значительными энергетическими затратами.

Нами исследована возможность использования умягчения воды для технологических нужд предприятий химической и нефтехимической промышленности, а также для питьевых нужд с помощью электромагнитного воздействия в диапазоне звуковых частот.

В процессе водоподготовки для технологических нужд ТОО «ПетроКазахстан Ойл Продактс» (ТОО «ПКОП») на базе АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова» проведены лабораторные испытания обратноосмотической установки умягчения воды с использованием электромагнитной обработки и без нее.

Целью работы является исследование эффективности безреагентной электромагнитной обработки исходной воды перед установкой химподготовки (секция 3100) ТОО «ПКОП».

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Методом обратного осмоса можно обессоливать воду с различным содержанием солей [5,6]. Вода с исходным солесодержанием 0,3–1,0 г/л может быть на одной ступени обратного осмоса обессолена до 5–10 мг/л, т. е. примерно в сто раз, что соответствует селективности распространенных

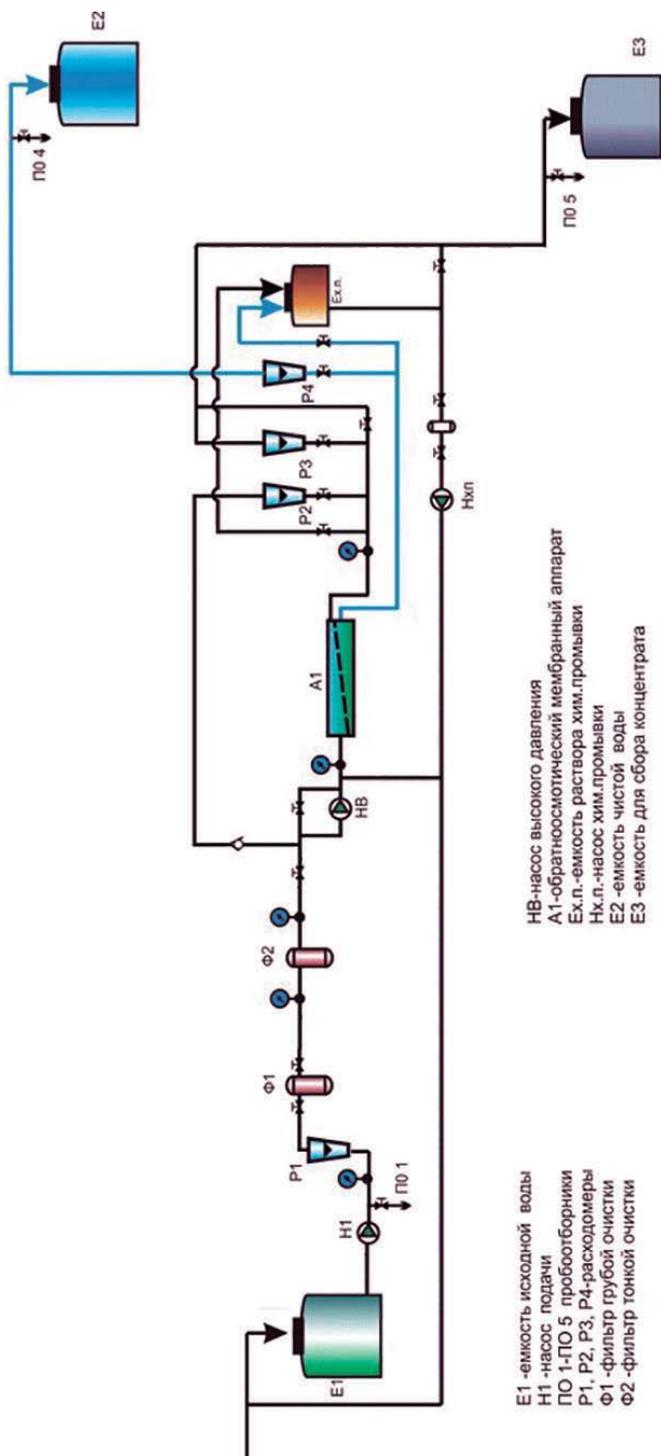


Рисунок 1 – Схема экспериментального обратноосмотического стенда

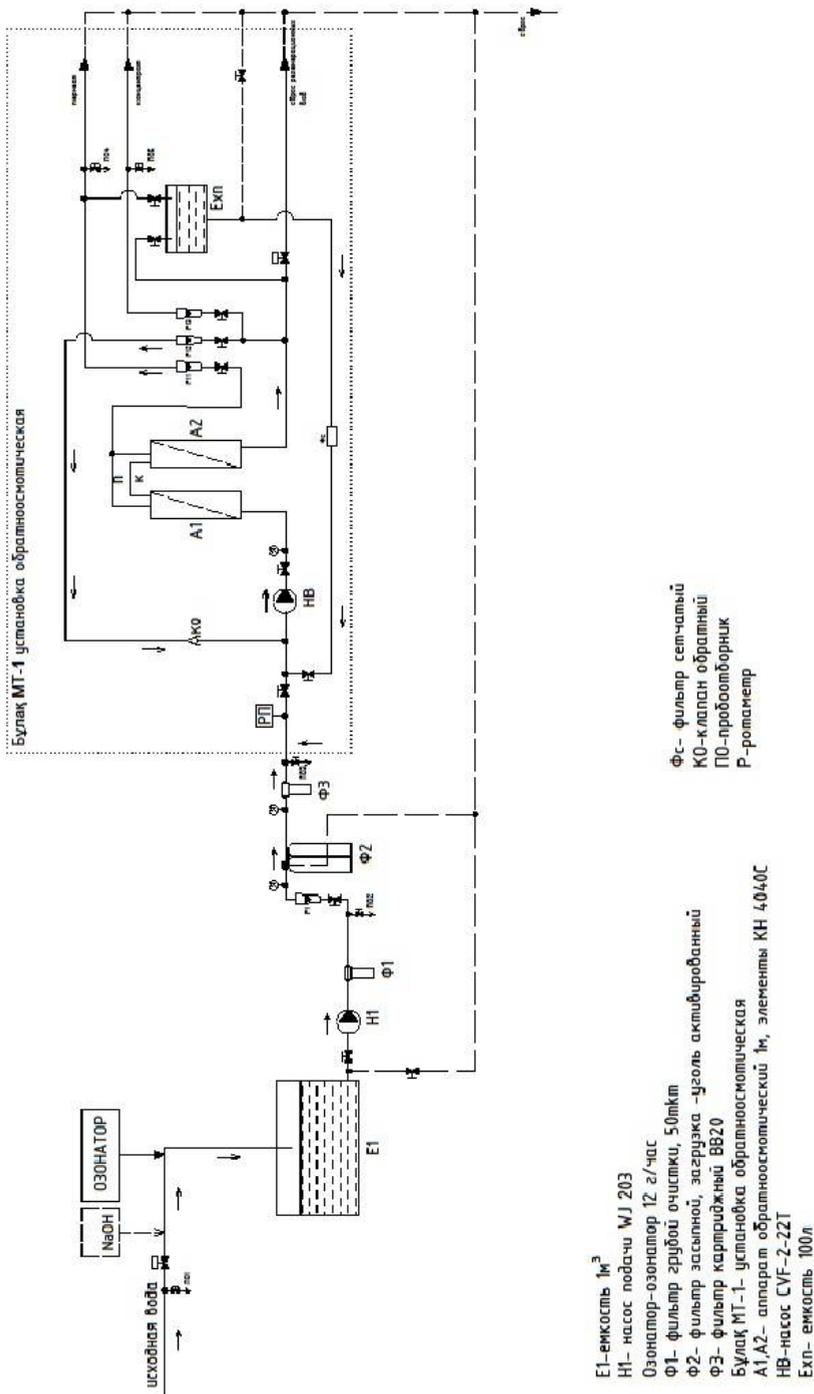


Рисунок 2 – Технологическая схема пилотной обратнoсмoтoчecкoй установки

промышленных обратноосмотических мембран. В случаях, когда не требуется такая глубина обессоливания, могут быть применены менее селективные обратноосмотические мембраны для низконапорного обратного осмоса, обладающие большей удельной производительностью.

Схема обратноосмотического стенда представлена на рисунке 1: сточная вода поступает в исходную емкость, из которой насосом подается на фильтр предварительной грубой очистки с рейтингом фильтрации 50-80 мкм, затем на фильтр тонкой очистки (5 мкм), далее на обратноосмотическую установку, состоящую из одного мембранного модуля. Очищенная вода поступает в емкость чистой воды, а концентрат в емкость для сбора концентрата. Перед фильтрами и после фильтров установлены манометры, а после каждого этапа очистки – пробоотборник. Расход пермеата, концентрата контролируется по расходомерам.

Разработана технологическая схема пилотной обратноосмотической установки (рисунок 2). Обратноосмотическая установка для опреснения воды представляет собой конструкцию, на раме которой размещены мембранные аппараты, шкаф управления и насос высокого давления.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработана проектно-конструкторская документация на изготовление опытной установки, включающей узел обратноосмотического опреснения воды, совмещенный с генератором импульсного электромагнитного поля. При снижении объема концентрата, увеличивается концентрация всех солей в нем, а именно, находящиеся в концентрате соли жесткости образуют микрорекристаллы с выделением их на поверхности мембранного элемента. 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 микрорекристаллы солей жесткости будут находиться в воде как бы на «магнитной подушке», без выделения их на поверхности мембраны.

*Механизм действия магнитного поля.* Принцип действия существующих магнитных аппаратов умягчения воды основан на комплексном многофакторном воздействии магнитного поля, генерируемого постоянными магнитами или электромагнитами на растворенные в воде гидратированные катионы металлов и структуру гидратов и водных ассоциатов, что приводит к изменению скорости электрохимической коагуляции (слипания и укрупнения) дисперсных заряженных частиц в потоке намагниченной жидкости и образованию многочисленных центров кристаллизации, состоящих из кристаллов практически одинакового размера.

В процессе магнитной обработки воды происходят несколько процессов:

- смещение электромагнитным полем равновесия между структурными компонентами воды и гидратированными ионами;
- увеличение центров кристаллизации растворенных в воде солей в заданном объеме воды на микровключениях из дисперсных феррочастиц;
- изменение скорости коагуляции и седиментации дисперсных частиц в обрабатываемом магнитном поле потоке жидкости.

Экспериментально доказано, что на неподвижную воду магнитные поля действуют гораздо слабее, поскольку обрабатываемая вода обладает некоторой электропроводностью, при ее перемещении в магнитных полях генерируется небольшой электрический ток. Данный способ обработки движущейся в потоке воды часто обозначается магнитогидродинамической обработкой (МГДО). С использованием современных методов МГДО можно добиться такого эффекта в водоподготовке, как создание локального увеличения концентрации ионов в локальном объеме воды (для преобразования избыточного содержания ионов солей жесткости в тонкодисперсную кристаллическую фазу и предотвращения выпадения солей на поверхности трубопроводов и теплообменного оборудования).

Конструктивно большинство аппаратов магнитной обработки воды представляют собой магнитодинамическую ячейку, изготавливаемую в виде полого цилиндрического элемента из ферромагнитного материала, с магнитами внутри, врезающегося в водопроводную трубу с помощью фланцевого или резьбового соединения с кольцевым зазором, площадь поперечного сечения которого не меньше площади проходного сечения, подводящего и отводящего трубопроводов, что не приводит к существенному падению давления на выходе аппарата. В результате ламинарного стационарного течения электропроводящей жидкости, каковой является вода, в магнитодинамической ячейке, находящейся в однородном поперечном магнитном поле с индукцией  $B_0$ , генерируется сила Лоренца, величина которой зависит от заряда  $q$  частицы, скорости ее движения  $u$  и индукции магнитного поля  $B$ . Сила Лоренца направлена перпендикулярно скорости движения жидкости и к линиям индукции магнитного поля  $B$ , в результате чего заряженные частицы и ионы в потоке жидкости движутся по окружности, плоскость которой перпендикулярна линиям вектора  $B$ . Таким образом, выбирая необходимое расположение вектора магнитной индукции  $B$  относительно вектора скорости потока жидкости, можно целенаправленно воздействовать на ионы солей жесткости  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ , перераспределяя их в заданном объеме водной среды.

Выпускаемые промышленностью аппараты магнитной обработки воды подразделяются на электромагнитные (АМО) и использующие постоянные магниты системы (ГМС), магнитные преобразователи Максмир, МПВ, MWS, ММТ и активаторы воды серий АМП, МПАВ, МВС, КЕМА бытового и промышленного назначения. Большинство из них схожи по конструкции и

принципу действия ГМС выгодно отличаются от магнитных устройств на основе электромагнитов и магнитотвердых ферритов, поскольку при их эксплуатации отсутствуют проблемы, связанные с потреблением электроэнергии и с ремонтом при электрическом пробое обмоток электромагнита.

Противонакипной эффект при магнитной обработке воды зависит от состава обрабатываемой воды, напряженности магнитного поля, скорости движения воды, продолжительности ее пребывания в магнитном поле и других факторов. В целом, противонакипной эффект при магнитной обработке воды усиливается с повышением температуры обрабатываемой воды; при более высоком содержании ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ; с увеличением значения pH воды: а также при уменьшении общей минерализации воды.

При движении потока молекул воды в магнитном поле перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, вдоль оси Y (см. вектор V), будет возникать момент сил F1, F2 (сила Лоренса), пытающихся развернуть молекулу в горизонтальной плоскости (рисунок 3). При движении молекулы в горизонтальной плоскости, вдоль оси Z, будет возникать момент сил в вертикальной плоскости. Но полюса магнита будут всегда препятствовать повороту молекулы, и поэтому тормозить движение молекул перпендикулярно линиям магнитного поля. Это приводит к тому, что в молекуле воды, помещенной между двумя полюсами магнита остается только одна степень свободы – колебание вдоль оси X – силовых линий приложенного магнитного поля. По всем остальным координатам движение молекул воды будет ограниченным: молекула воды становится «зажатой» между полюсами

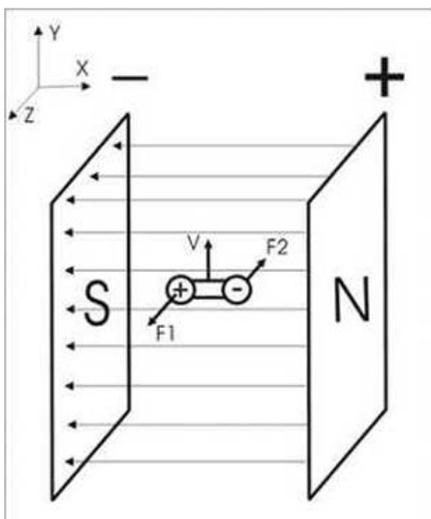


Рисунок 3 – Поведение молекулы воды в магнитном поле

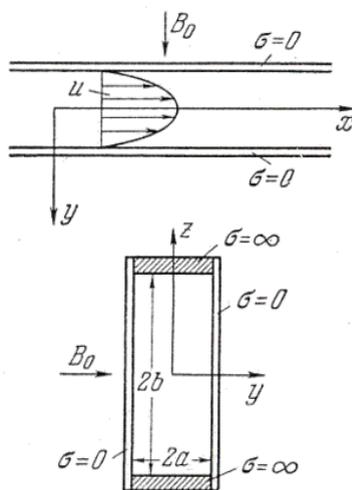


Рисунок 4 – Схема магнитогидродинамической ячейки

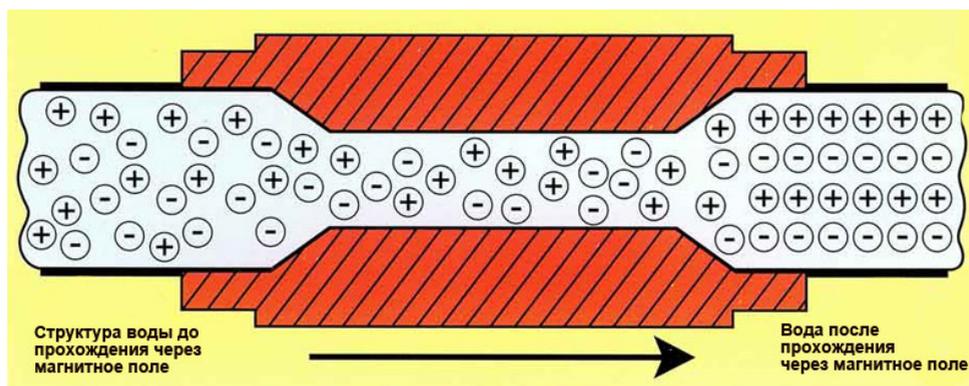


Рисунок 5 – Структура воды до и после прохождения через магнитное поле

магнита, совершая лишь колебательные движения относительно оси Х. Определенное положение диполей молекул воды в магнитном поле вдоль силовых линий поля будет сохраняться, тем самым делая расположение диполей воды более упорядоченным (рисунки 4, 5).

Электромагнитный преобразователь предназначен для очистки и защиты от отложений солей жесткости. 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 меняющейся 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 выпасть в осадок. Химический и минеральный состав воды при этом не меняется.

При выполнении данной работы использовали прибор электромагнитной обработки воды серии «Термит».

Серия «Термит» – прибор настенного типа. Принцип работы состоит в создании низкочастотных сигналов переменной частоты диапазона 1-10 кГц, поступающим по проводам-излучателям, намотанным по определенной схеме и последовательности на входные или обратные трубопроводы защищаемой системы (оборудования), и концентрируемым в объеме протекающей воды. Создаваемое динамическое электромагнитное поле изменяет структуру кристаллов солей переменной жесткости, которые вследствие этого не оседают на внутренней поверхности трубопроводов и т.д., а уже имеющиеся отложения постепенно разрушаются и удаляются потоком воды.



Для проведения длительных испытаний технологии магнитно-импульсной обработки воды был разработан комплект документов на испытательный стенд, включающий в себя две обратноосмотические установки, одна из которых снабжена ПЭО. Технологическая схема представлена на рисунке 6, по которой исходная вода поступает в емкость Е1, из емкости вода подается на две обратноосмотические установки. Перед насосом высокого давления – после точки врезки рециркуляционной линии – на одной установке на трубопроводе устанавливается прибор электромагнитной обработки воды ПЭО. Испытательный стенд работает по замкнутой схеме, т.е. пермеат и рассол (концентрат) возвращаются в исходную емкость. Контролируемые параметры испытательного стенда: производительность по пермеату, концентрату, рециркуляционной линии, перепад давления на каждом тракте, TDS в исходной воде, в пермеате и концентрате.

Описание работы линии обратной промывки обратноосмотических элементов представлена на рисунке 7.

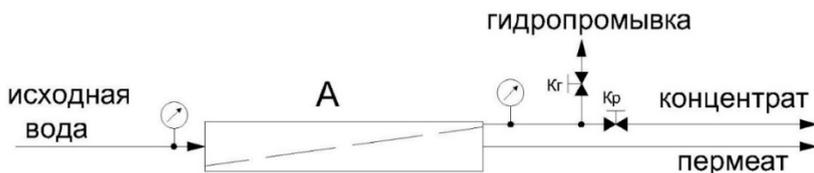


Рисунок 7– Схема гидропромывки обратноосмотических элементов

В соответствии с рисунком 7 для работы обратноосмотического аппарата – А (в режиме опреснения) необходимо создать рабочее давление. Это достигается тем, что прикрывается кран Кр, растет давление на манометрах (до определенного рабочего значения) и начинается процесс обратного осмоса. Через мембрану продавливается исходная вода и в центральный патрубок выходит пермеат. Так как кран Кр является регулировочным, он остается в этом положении – что является рабочим режимом для данного обратноосмотического аппарата – А (рисунок 6). И так остальной поток проходит вдоль мембраны, концентрирует соли и с патрубком на периферии выходит концентрат. При рабочем режиме на поверхности мембраны образуются микрочастицы солей в потоке концентрата. Периодически для смыва этих частиц проводится гидропромывка, открывается кран - Кг, увеличивается поток, идущий по поверхности мембраны, что позволяет смыть частички солей с поверхности мембраны. Наш технологический стенд спроектирован в соответствии с технологическими требованиями для обратноосмотических элементов. Он оборудован краном гидропромывки, который был использован для промывки новых обратноосмотических элементов от заводского консерванта. От установок линии гидропромывок реализованы гибкими армированными шлангами, что позволяет вручную перекладывать шланг в канализацию и сбрасывать порции воды при отмывке элементов от консерванта.

Контролируемые параметры испытательного стенда: производительность по пермеату, концентрату, рециркуляционной линии, перепад давления на фильтре Ф1 и элементах А1-А2. TDS в емкости Е1, в пермеате и концентрате.

Изготовлена пилотная обратноосмотическая установка, производительностью 300 л/ч, которая представлена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Общий вид пилотной обратноосмотической установки производительностью 300 л/ч

Комплектация испытательного стенда:

1. Рама	2
2. Фильтр тонкой очистки	1
3. Импульсный магнитный преобразователь	1
4. Катушка магнитная	1
5. Корпус мембранного элемента 4040	4
6. Мембранный обратноосмотический элемент 4040	4
7. Насос высокого давления	2
8. Трубопроводы, краны, ротаметры, манометры, измерительная аппаратура (комплект)	

Дополнительное оборудование для обеспечения работы испытательного стенда

- Емкость 2 м <sup>3</sup>	1
- Насос подающий	1

С ТОО «ПКОП» были отобраны и привезены пробы исходной воды в количестве 2,0 м<sup>3</sup> на территорию АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова». Пробы воды были отданы в независимую сертифицированную лабораторию «Казэкология» для проведения химического анализа привезенной воды. ТОО «ПКОП» были выдвинуты требования к очищенной воде, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Требуемые нормы к очищенной воде до и после очистки

Наименование пробы	Наименование контролируемого показателя	Исходная вода (техническая) с установки химводоподготовки 3100	Фактич. данные исходной воды (технической)	Норматив. величина очищенной воды (пермеат)	Фактич. данные очищенной воды (пермеат)
Вода с установки химводоподготовки 3100	рН при 25° С	Не более 7,55	7,2	7,0-7,5	5,8
	Жесткость общая, Мг эквл/дм <sup>3</sup>	Не более 8,05	7,3	Не норм	0,60
	Жесткость карбонатная, мг-экв/л	–	–	Не норм	–
	Свободный хлор, мг/дм <sup>3</sup>	–	–	Не более 0,1	0,0
	Содержание сульфатов, мг/дм <sup>3</sup>	Не более 106,1	100,5	Не норм	0,22
	Содержание фосфатов (по Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	–	–	Не более 2,0	1,57
	Содержание кремниевой кислоты, мг/дм <sup>3</sup>	Не более 13,6	1,78	Не норм	0,48
	Содержание натрия, мг/л	–	–	–	–
	Содержание калия, мг/л	–	–	–	–
	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	–	–	0,02	0,01
	Солесодержание (сухой остаток), мг/дм <sup>3</sup>	Не более 794,68	416,0	10	15,2

В ходе проведения испытаний на экспериментальной установке был подобран оптимальный режим по опреснению воды с минимальным сбросом концентрированных вод.

**Описание режима по расходам воды на экспериментальной установке.** На вход в линию насоса высокого давления обратноосмотической установки подавался поток воды с производительностью 0,350 м<sup>3</sup>/ч, выход по пермеату (по очищенной воде) составлял 0,3 м<sup>3</sup>/ч, сброс концентрата составлял 0,05 м<sup>3</sup>/ч.

В таблице 2 приведены результаты очистки воды методом обратного осмоса и магнитной обработки воды. Контроль качества воды осуществлялся экспресс-методом при помощи прибора – ультраметра бР, который позволяет измерять общее солесодержание и рН воды.

Таблица 2 – Результаты проведенных испытаний проб воды

Дата	$\Delta P_{\text{вх}}$ бар	$\Delta P_{\text{вых}}$ бар	$Q_{\text{перм}}$ м <sup>3</sup> /ч	$Q_{\text{конц}}$ м <sup>3</sup> /ч	TDS, мг/л	TDS после ООУ*, мг/л		TDS после МО**, мг/л	pH				Т, °С воды
						исх.	конц.		исх.	перм.	исх.	перм. после ООУ*	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15.10.20	9,1	8,8	0,3	0,05	536,0	30,0	2400,0	12,7	8,2	6,0	8,4	6,4	20
16.10.20	9,0	8,8	0,3	0,05	535,8	30,3	2394,0	12,7	8,3	6,0	8,5	6,5	20
19.10.20	9,0	8,9	0,3	0,05	535,0	30,4	2400,0	12,9	8,2	6,0	8,5	6,4	20
20.10.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,0	30,4	2400,0	12,0	8,2	6,1	8,6	6,5	21
21.10.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,2	30,0	2398,7	12,8	8,2	6,1	8,5	6,5	20
22.10.20	9,0	8,8	0,3	0,05	535,2	30,8	2400,0	12,9	8,3	6,1	8,3	6,4	21
23.10.20	9,0	8,8	0,3	0,05	535,2	30,9	2397,0	13,0	8,3	6,0	8,3	6,5	20
26.10.20	9,0	8,9	0,3	0,05	535,0	30,6	2395,6	12,7	8,3	6,0	8,3	6,4	20
27.10.20	9,1	8,8	0,3	0,05	535,8	30,5	2396,6	12,6	8,2	6,0	8,3	6,4	20
28.10.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,7	31,0	2395,0	12,9	8,3	6,0	8,5	6,5	20
29.10.20	9,0	8,8	0,3	0,05	535,2	30,9	2401,0	12,9	8,3	6,0	8,4	6,4	20
30.10.20	9,0	8,9	0,3	0,05	536,8	30,9	2401,0	12,8	8,2	6,1	8,5	6,4	20
2.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,6	30,5	2400,3	12,8	8,3	6,1	8,5	6,5	20
3.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,8	30,0	2400,4	12,8	8,3	6,1	8,6	6,4	20
4.11.20	9,0	8,9	0,3	0,05	535,7	30,2	2399,6	12,9	8,2	6,0	8,4	6,5	20
5.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,8	30,3	2399,8	13,0	8,3	6,0	8,3	6,4	20
6.11.20	9,1	8,8	0,3	0,05	540,0	30,2	2399,5	13,0	8,3	6,0	8,4	6,5	20
9.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	536,2	30,4	2399,9	12,2	8,3	6,0	8,3	6,4	20

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	536,2	30,0	2400,1	12,9	8,3	6,1	8,4	6,5	20
11.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	536,2	30,3	2400,0	12,8	8,3	6,1	8,5	6,4	20
12.11.20	9,1	8,8	0,3	0,05	538,2	30,2	2399,4	12,3	8,3	6,1	8,5	6,5	20
13.11.20	9,0	8,8	0,3	0,05	538,2	30,3	2399,6	12,3	8,2	6,1	8,4	6,4	21
16.11.20	9,0	8,9	0,3	0,05	535,7	30,2	2399,8	12,5	8,3	6,1	8,5	6,5	20
17.11.20	9,0	8,8	0,3	0,05	535,6	30,8	2400,8	12,6	8,4	6,1	8,5	6,4	20
18.11.20	9,0	8,8	0,3	0,05	537,8	30,8	2400,2	12,8	8,3	6,1	8,6	6,4	20
19.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	537,0	30,8	2400,1	12,2	8,4	6,1	8,5	6,5	20
20.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	537,6	30,9	2400,5	12,5	8,3	6,1	8,5	6,4	20
23.11.20	9,0	8,8	0,3	0,05	537,2	31,0	2400,0	12,0	8,3	6,1	8,6	6,5	20
24.11.20	9,1	8,8	0,3	0,05	536,8	30,5	2400,0	12,7	8,3	6,0	8,4	6,4	20
25.11.20	9,0	8,8	0,3	0,05	536,0	30,5	2400,0	12,5	8,3	6,0	8,5	6,4	20
26.11.20	9,1	8,9	0,3	0,05	536,4	30,0	2399,6	12,9	8,2	6,0	8,5	6,5	21
27.11.20	9,1	8,8	0,3	0,05	534,7	30,0	2399,9	12,0	8,3	6,0	8,6	6,4	20
30.11.20	9,0	8,9	0,3	0,05	534,9	30,2	2399,7	12,5	8,4	6,0	8,6	6,5	20
2.12.20	9,0	8,8	0,3	0,05	534,8	30,2	2400,1	12,3	8,3	6,0	8,5	6,4	20
3.12.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,0	30,3	2400,6	12,7	8,4	6,0	8,4	6,4	19
4.12.20	9,1	8,9	0,3	0,05	535,1	30,1	2400,8	12,4	8,3	6,0	8,5	6,4	20
7.12.20	9,0	8,8	0,3	0,05	535,2	30,0	2400,0	12,0	8,4	6,0	8,5	6,4	20

На рисунке 9 представлены фотографии разрезанных мембран после очистки с применением ПЭО и без его применения.



а)

б)

Рисунок 9 – Фотографии разрезанных мембран: а) с применением магнитной обработки воды; б) без применения магнитной обработки воды

В результате проведенных испытаний обнаружено, что общее содержание снизилось после обратноосмотической установки – с 535,5 до 30,0 мг/л, в воде после обратноосмотической установки и магнитной обработки воды с 535,5 до 12,7, рН от 8,3 до 6,2 и с 8,3 до 6,44 соответственно.

По итогам проведенных испытаний обнаружено снижение содержания в очищенной воде в 2 раза (30,5 мг/л после обратноосмотической установки и 12,6 мг/л после обратноосмотической установки с магнитной обработкой воды).

Из рисунка 9 видно, что использование магнитной обработки воды в опреснении перед установкой обратного осмоса имеет положительный результат, а именно, соли кальция и магния не оседают на обратноосмотических мембранах (рисунок 9,а), тем самым продлевая срок службы обратноосмотических мембран.

**Выдача рекомендаций по программе промывки обратноосмотических элементов и выводы по экспериментальной работе.** Краткое описание принципиальной схемы установки химводоподготовки на ТОО «ПКОП»: вода из резервуара, куда подается вода сырая и вода из санитарно-защитной зоны, поступает на фильтры грубой очистки далее на блок фильтров тонкой очистки (фильтры многокомпонентной очистки, угольные и дисковые фильтры). Далее вода направляется на блок ультрафильтрации и после в промежуточную емкость, откуда вода подается в линию насоса высокого давления. Вода под давлением направляется в промежуточные фильтры и во вторую линию насосов высокого давления обратноосмотической установки. Опресненная вода после обратноосмотической установки направляется на установку декарбонизации воды и после поступает на нужды завода (на установку 3500 для фильтров смешанного действия и установку 3100 для очистки дымовых газов).

В целях проверки эффективности работы схемы химподготовки на ТОО«ПКОП» нами были взяты на химический анализ 7 проб воды с различных узлов:

- Проба №1 – исходная вода;
- Проба №2 – после блока угольных фильтров;
- Проба №3 – после самоочищающихся фильтров;

Таблица 3 – Сокращенный химический анализ проб воды, взятой на 7 точках, согласно существующей принципиальной схемы

Наименование показателей, ед.изм.	Наименование проб воды								Норма по НД
	исход. вода	1	2	3	4	5	6	7	
Мутность, мг/л	–	–	–	–	–	–	–	–	1,5 (2)
Цветность, градусы	–	–	–	–	–	–	–	–	20 (35)
рН	7,96	7,12	7,18	7,47	7,47	8,05	7,92	5,69	В пределах 6-9
Общая минерализация, мг/л	505,9	507,1	507,1	505,9	505,9	503,5	1664,8	17,5	1000 (1500)
Жесткость общая, мг-экв/л	7,5	7,4	7,2	7,2	6,9	7,2	11,07	0,4	7,0 (10)
Железо, мг/л	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3 (1,0)
Азот аммонийный, мг/л	–	–	–	–	–	–	–	–	2,0
Нефтепродукты, мг/л	0,03	–	0,007	–	0,03	–	0,097	–	0,1

- Проба №4 – после блока ультрафильтрации;
- Проба №5 – перед блоком обратного осмоса;
- Проба №6 – концентрат;
- Проба №7 – пермеат.

Данные химического анализа проб, описанных выше, приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, в воде превышена жесткость и общая минерализация (7,5 мг-экв/л и 505,9 мг/л соответственно), которые остаются постоянными после всех узлов очистки воды, кроме узла в точке 7. В результате опреснения на установке обратного осмоса в ней содержание общей жесткости снижается до 0,4 мг-экв/л, содержание общей минерализации до 17,5 мг/л.

Из проведенных испытаний установлено, что существующая технологическая схема экономически нецелесообразна по нескольким причинам:

- исходная вода не имеет критически превышенного содержания анионов и катионов (можно очистить воду, имея более упрощенную технологическую схему очистки);
- реагентное хозяйство (расходы реагентов на промывку блока ультрафильтрации, а также замена загрузки в фильтрах тонкой очистки) требует больших затрат;
- эксплуатация большого количества насосов высокого давления ведет к высоким затратам в энергопотреблении.

Таким образом, в ходе проведенных исследований найдено, что использование технологии опреснения на установке обратного осмоса с применением магнитной обработки воды имеет большую перспективу и может быть использована на нефтехимических предприятиях.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гусаковский В.Б. и др. Водоснабжение промышленных предприятий. – Санкт-Петербург, 2003. – 155 с.
- [2] Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание 2-е, перераб. и доп. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2003. – 288 с.
- [3] Обратный осмос. Теория и практика применения. – С.В. Черкасов <http://wwtec.ru/index.php?id=233>
- [4] Электромагнитная обработка воды. Прибор «Термит». – В.В. Банников. <http://termit.etch.ru/publ.php?p=1>
- [5] Ergozhin E.E., Chalov T.K., Begenova B.E., Khakimbatolova K.Kh. Semi-permeable membranes for ultra-, microfiltration and reverse osmosis // Chem. Journal of Kazakhstan. – 2019. № 4. – P. 6-24.
- [6] Ergozhin E.E., Kovrigina T.V., Chalov T.K., Tolemisova D.K., Melnikov Ye.A. New investigations in ion-exchange membranes synthesis and their modification // Chem. Journal of Kazakhstan. – 2018. – № 1. – P. 138-149.

REFERENCES

- [1] Gusakovskij V.B. i dr. Vodosnabzhenie promyshlennyh predpriyatij. Sankt-Peterburg, 2003. 155 p.
- [2] Zhurba M.G., Sokolov L.I., Govorova Zh.M. Vodosnabzhenie. Proektirovanie sistem i sooruzhenij: izdanie 2-e, pererab. i dop. Uchebnoe posobie. M.: Izdatel'stvo ASV, 2003. 288 p.
- [3] Obratnyj osmos. Teorija i praktika primenenija. S.V. Cherkasov <http://wwtec.ru/index.php?id=233>
- [4] Jelektromagnitnaja obrabotka vody. Pribor «Termit». V.V. Bannikov. <http://termit.etch.ru/publ.php?p=1>
- [5] Ergozhin E.E., Chalov T.K., Begenova B.E., Khakimbolatova K.Kh. Semi-permeable membranes for ultra-, microfiltration and reverse osmosis // Chem. Journal of Kazakhstan. 2019. No. 4. P. 6-24.
- [6] Ergozhin E.E., Kovrigina T.V., Chalov T.K., Tolemisova D.K., Melnikov Ye.A. New investigations in ion-exchange membranes synthesis and their modification // Chem. Journal of Kazakhstan. 2018. No. 1. P. 138-149.

Резюме

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

МУҢАЙ-ХИМИЯ КӘСПОРЫНДАРЫНДА  
БАСТАПҚЫ СУДЫ РЕАГЕНТСІЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨНДЕУДІҢ  
ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Тазартылған су бойынша өнімділігі – 300 л/сағ сынақ стендін дайындауға технологиялық схема және техникалық құжаттама әзірленді, сынақ стендінде ұзақ мерзімде сынақтар, сондай-ақ электромагниттік өңдеу құралын қолдана отырып және онсыз тазартылғанға дейінгі алынған судың сапасына талдау жүргізілді. Жүргізілген сынақтар нәтижесінде жалпы тұз мөлшері кері осмостық қондырғыдан кейінгі суда 535,5-тен 30,0 мг/л-ге дейін, ал магнитті өңдеуден кейінгі суда – 535,5-тен 12,7-ге дейін төмендегені анықталды. Бірінші жағдайда рН 8,3-тен 6,2-ге дейін, екіншісінде – 8,3-тен 6,44-ке дейін өзгерді.

Кері осмостық қондырғыда тұщыландыру алдында суды магниттік өңдеуді қолдану оң нәтиже беретіні анықталды, атап айтқанда, кальций мен магний тұздары кері осмотикалық мембраналарда шөкпейді, соның арқасында кері осмотикалық мембраналардың қызмет ету мерзімін ұзартады.

**Түйін сөздер:** кері осмос, жабдықтардың техникалық сипаттамалары, өнімділік, тазарту дәрежесі, жалпы тұз мөлшері, судың кермектігі.

### Summary

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

#### RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF REAGENT-FREE ELECTROMAGNETIC TREATMENT OF SOURCE WATER AT PETROCHEMICAL ENTERPRISES

A technological scheme and technical documentation for the manufacture of a test bench with a purified water capacity of 300 l/h have been developed. Long-term tests were carried out on a test bench, as well as analysis of the quality of the sampled water before purification, with the use of an electromagnetic treatment device and without it. As a result of the tests carried out, it was found that the total salt content after the reverse osmosis unit decreased from 535.5 to 30.0 mg / l, and in water with the use of magnetic water treatment – from 535.5 to 12.7. Moreover, the pH in the first case varied from 8.3 to 6.2, in the second – from 8.3 to 6.44.

It has been established that the use of magnetic water treatment in desalination before the reverse osmosis unit has a positive result, namely, calcium and magnesium salts do not settle on the reverse osmosis membranes, thereby prolonging the service life of the reverse osmosis membranes.

**Keywords:** reverse osmosis, reagent-free electromagnetic treatment, productivity, degree of purification, total salt content, water hardness.

#### Information about authors:

<i>Ergozhin Edil Ergozhaevich</i>	Doctor of Chemical Sciences, Professor, Laureate of the State Prize of the Kazakh SSR in the field of science and technology, Honored Scientist, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Honored Inventor of the Republic of Kazakhstan; <a href="https://orcid.org/0000-0002-5959-6502">https://orcid.org/0000-0002-5959-6502</a>
<i>Chalov Tulegen Kamenovich</i>	Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head laboratory of ion-exchange resins and membranes of JSC "A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences", Almaty, the Republic of Kazakhstan; <a href="mailto:chalov.45@mail.ru">chalov.45@mail.ru</a> ; <a href="https://orcid.org/0000-0002-7204-9490">https://orcid.org/0000-0002-7204-9490</a>
<i>Khakimbolatova Kamila Khakimbolatovna</i>	Ph.D., Assoc. Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Ion-Exchange Resins and Membranes, JSC "A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences", Almaty, the Republic of Kazakhstan; <a href="mailto:ics_kamila@mail.ru">ics_kamila@mail.ru</a> ; <a href="https://orcid.org/0000-0002-4520-5830">https://orcid.org/0000-0002-4520-5830</a>
<i>Kovrigina Tatyana Vasil'evna</i>	Ph.D., Assoc. Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Ion-Exchange Resins and Membranes, JSC "A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences", Almaty, the Republic of Kazakhstan; <a href="mailto:kovriginatat@mail.ru">kovriginatat@mail.ru</a> ; <a href="https://orcid.org/0000-0001-6073-1946">https://orcid.org/0000-0001-6073-1946</a>
<i>Melnikov Yevgeniy</i>	Doctor PhD, Senior Researcher of the Laboratory of Ion-Exchange Resins and Membranes, JSC "A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences", Almaty, Republic of Kazakhstan; <a href="mailto:sebas273@mail.ru">sebas273@mail.ru</a> ; <a href="https://orcid.org/0000-0001-6396-9079">https://orcid.org/0000-0001-6396-9079</a>