

УДК 665.662
МРНТИ 70.25.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108717>

Получена: 02.02.2024.

Одобрена: 18.04.2024.

Опубликована: 30.06.2024.

Оригинальное исследование

Очистка парового конденсата методом электромагнитной обработки

Т.В. Ковригина, К.Х. Хакимболатова, Т.К. Чалов

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

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Данная работа направлена на снижение жидких отходов в процессе обратноосмотической деминерализации воды с использованием прибора электромагнитной обработки. Побочным эффектом при этом является отложение солей на используемых обратноосмотических мембранах, что уменьшает срок их эксплуатации. Это приводит к уменьшению производительности аппарата, а используемые мембраны, соответственно, подвергаются дальнейшей промывке либо замене. В статье приведены данные о проведении длительных испытаний на территории ТОО «Павлодарский нефтехимический завод» по эффективности технологии электромагнитной обработки в процессе обратноосмотической очистки конденсата водяного пара для обеспечения минимального объема концентрата (рассола) не более 10% и предотвращения интенсивного отложения солей на обратноосмотических мембранах.

Цель. Целью данной работы является исследование возможности использования прибора электромагнитной обработки для продления срока эксплуатации обратноосмотических мембран при очистке парового конденсата ТОО «Павлодарский нефтехимический завод».

Материалы и методы. Для проведения данной работы был использован электронный преобразователь солей жёсткости «Термит», который обрабатывает воду электромагнитными волнами, чем не только препятствует образованию накипи, но и удаляет накипь, уже имеющуюся в оборудовании.

Результаты. Найдено, что в пробах очищенной воды после прибора электромагнитной обработки в процессе обратного осмоса, общее содержание солей снизилось до 1,26 мг/кг, а содержание железа с 84 до 10 мкг/дм³. При этом рН воды остаётся практически неизменным. Установлено, что удельная электропроводность парового конденсата составила 5,0 мкСм/см, что соответствует значению, не превышающему требуемых норм.

Заключение. Проведённые на территории ПНХЗ испытания по очистке парового конденсата методом импульсной электромагнитной обработки в процессе обратного осмоса показали положительный результат по снижению общего солесодержания, в частности, железа, а также жёсткости воды.

Ключевые слова: очистка сточных вод, опреснение, пилотная установка, паровой конденсат, общее солесодержание.

Как цитировать:

Ковригина Т.В., Хакимболатова К.Х., Чалов Т.К. Очистка парового конденсата методом электромагнитной обработки // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2024. Том 6, №2. С. 109–118.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108717>.

UDC 665.662

CSCSTI 70.25.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108717>

Received: 02.02.2024

Accepted: 18.04.2024.

Published: 30.06.2024.

Original article**Steam condensate purification by the electromagnetic treatment method****Tatyana V. Kovrigina, Kamilla Kh. Khakimbolatova, Tulegen K. Chalov***A.B. Bekhturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan***ABSTRACT**

Background: This study is aimed at reducing liquid waste in the process of reverse osmotic demineralization of water using an electromagnetic treatment. A side effect of this is the deposition of salts on the reverse osmotic membranes used, which reduces their service life. This leads to a decrease in the performance of the equipment, and, respectively, the membranes used are subjected to further flushing or replacement. The article presents data on long-term tests conducted by Pavlodar Petrochemical Plant LLP on the effectiveness of electromagnetic treatment technology in the process of reverse osmotic purification of water vapor condensate to ensure a minimum volume of concentrate (brine) of no more than 10% and to prevent intensive salt deposition on reverse osmotic membranes.

Aim: Investigate the possibility of using an electromagnetic treatment device to extend the service life of reverse osmotic membranes during steam condensate purification of Pavlodar Petrochemical Plant LLP.

Materials and methods: For this study, "Termite" electronic hardness salt converter was used, which treats water with electromagnetic waves and not only prevents the formation of scale, but also removes the scale already present in the equipment.

Findings: After being treated with an electromagnetic treatment device in the reverse osmosis process, samples of treated water showed a decrease in total salt content to 1.26 mg/kg and iron content from 84 to 10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. At the same time, the water's pH virtually stayed the same. The specific electrical conductivity of steam condensate was found to be 5.0 microns/cm, which corresponds to a value that does not exceed the required standards.

Conclusion: Tests on steam condensate purification carried out by the Pavlodar Petrochemical Plant using pulsed electromagnetic treatment in the reverse osmosis process showed a positive result in reducing the total salt content, in particular iron, as well as water hardness.

Keywords: *wastewater treatment, desalination, pilot plant, steam condensate, total salinity.*

To cite this article:

Kovrigina TV, Khakimbolatova KK, Chalov TK. Steam Condensate Purification by the Electromagnetic Treatment Method. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2024;6(2):109–118.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108717>.

ӨОЖ 665.662
ҒТАХР 70.25.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108717>

Қабылданды: 02.02.2024

Мақұлданды: 18.04.2024.

Жарияланды: 30.06.2024.

Түпнұсқа зерттеу

Бу конденсатын электромагниттік өңдеу әдісімен тазарту

Т.В. Ковригина, К.К. Кәкімболатова, Т.К. Чалов

Ө.Б. Бектуров атындағы Химия ғылымдары институты, Алматы қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Бұл жұмыс электромагниттік өңдеу құралын қолдана отырып, суды кері осмостық деминерализациялау процесінде сұйық қалдықтарды азайтуға бағытталған. Бұл жағдайда жанама әсері пайдаланылатын кері осмостық мембраналарға тұздардың тұндырылуы болып табылады, бұл олардың қызмет ету мерзімін қысқартады. Бұл құрылғының өнімділігінің төмендеуіне әкеледі, ал қолданылатын мембраналар сәйкесінше одан әрі жуылады немесе ауыстырылады. Мақалада «Павлодар мұнай-химия зауыты» ЖШС аумағында су буының конденсатын кері осмостық тазарту процесінде электромагниттік өңдеу технологиясының тиімділігі бойынша концентраттың (тұзды ерітіндінің) ең аз көлемін 10%-дан аспайтын мөлшерде қамтамасыз ету және кері осмостық мембраналарда тұздардың қарқынды тұндырылуын болдырмау үшін ұзақ сынақтар жүргізу туралы деректер келтірілген.

Мақсаты. «Павлодар мұнай-химия зауыты» ЖШС бу конденсатын тазалау кезінде кері осмостық мембраналардың пайдалану мерзімін ұзарту үшін электромагниттік өңдеу құралын пайдалану мүмкіндігін зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Бұл жұмысты орындау үшін суды электромагниттік толқындармен өңдейтін «Термит» қаттылық тұздарының электронды түрлендіргіші қолданылды, бұл қақтың пайда болуына кедергі келтіріп қана қоймайды, сонымен қатар жабдықта бар қақты кетіреді.

Нәтижелері. Кері осмосты орнатқаннан кейін тазартылған су сынақтарында тұздардың жалпы мөлшері 1,26 мг/кг-ға дейін, ал темірдің мөлшері 84-тен 10 мкг/дм³-ке дейін төмендегені анықталды. Бұл жағдайда судың рН мәні өзгеріссіз қалады. Бу конденсатының меншікті электр өткізгіштігі 5,0 мкСм/см құрады, бұл қажетті нормалардан аспайтын мәнге сәйкес келеді.

Қорытынды. ПМХЗ аумағында кері осмос процесінде импульсті электромагниттік өңдеу әдісімен бу конденсатын тазарту бойынша жүргізілген сынақтар жалпы тұз құрамын, атап айтқанда темірді, сондай-ақ судың кермектігін төмендету бойынша оң нәтиже көрсетті.

Негізгі сөздер: ағынды суларды тазарту, тұзсыздандыру, пилоттық қондырғы, бу конденсаты, жалпы тұз мөлшері.

Дәйексөз келтіру үшін:

Ковригина Т.В., Кәкімболатова К.К., Чалов Т.К. Бу конденсатын электромагниттік өңдеу әдісімен тазарту // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2024. 6 том, №2. 109–118 б.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108717>.

Введение

Известно [1], что соли жёсткости значительно уменьшают срок службы технологического оборудования и понижают эффективность теплового нагрева. В практике существует множество способов для устранения данной проблемы. Электромагнитные и магнитные методы являются хорошей альтернативой классическим методам снижения жёсткости воды, поскольку они неинвазивные, дешёвые, не требуют добавления химических веществ в воду, что благоприятно влияет на окружающую среду.

Проведённые ранее работы способствовали формированию основного решения, связанного с применением электромагнитного поля для равномерного потока ионов солей жёсткости в воде и, соответственно, её очистке. Так, хорошо известно, что повышенная жёсткость воды отрицательно влияет на системы горячего водоснабжения как в бытовых, так и в промышленных теплообменных устройствах. В начале 2000-х гг. значительно возрос интерес к таким темам, как устранение жёсткости воды, предотвращение накипи и другим, связанным с умягчением воды. Это обусловлено необходимостью предотвращения образования накипи, солей жёсткости для высокоэффективных систем теплообмена, а также систем энергосбережения и др.

Известно [2], что повышенное содержание солей жёсткости влияет на качество питьевой воды и делает её непригодной для питья. Во избежание этого применяются различные методы для уменьшения жёсткости воды и образования накипи. Самыми распространёнными являются [3, 4]:

- химическое умягчение;
- использование ингибиторов для предотвращения осадкообразования;
- катионный обмен;
- электромембранная обработка;
- магнитные и электромагнитные методы.

Главная задача современных промышленных предприятий состоит в уменьшении водопотребления и сброса сточной воды в окружающую среду. При этом наличие замкнутых циклов водоснабжения становится приоритетной задачей. Эти мероприятия направлены на минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду [5].

Сегодня человечество стремится свести к минимуму негативное воздействие развития технологий на экологию. Одним из эффективных шагов является использование приборов, полностью безопасных для окружающей среды, что способствует выстраиванию гармоничных отношений между человеком и природой [6, 7]. Данная работа решает все вышеупомянутые

проблемы и направлена на сокращение объёма сточных вод в процессе их деминерализации методом обратного осмоса.

В настоящее время все предлагаемые технические решения должны быть [8]:

- энерго- и ресурсосберегающими;
- экологически безопасными;
- экономически целесообразными;
- высокоэффективными.

В настоящее время мембранные технологии достаточно широко используются из-за своих низких энергетических затрат на процессы фильтрации. Вышесказанное прогнозирует применение мембранных технологий как технологий будущего. Ежегодно объём их использования в экономически развитых странах возрастает на 20–25%. Так, использование мембран в процессах ультрафильтрации и обратного осмоса позволяет концентрировать продукт, очищать раствор и пр. при низком уровне энергопотребления. В связи с этим разработка способов получения новых ионообменных мембран для опреснительного оборудования имеет очень большое практическое значение.

В настоящее время известно [9, 10], что электро- и баромембранные процессы в сочетании с другими инновационными методами могут значительно увеличить их производительность.

Значение мембранной технологии в последние годы заметно возросло, поскольку данная технология способна навести мост, соединяющий промышленность и экологию. Жизненная необходимость широкомасштабного внедрения мембранных процессов определяется такими факторами, как применение в области обеспечения национальной безопасности, решение наиболее острых социально-экономических и экологических проблем: повышение качества воды и возвращение её в голову технологических процессов приведет к росту энергоэффективности и экологичности, а разработка импортозамещающих технологий способствует созданию новых рабочих мест и развитию инфраструктуры промышленных и отдалённых регионов. Это предопределяет перспективы практического использования мембранных технологий в сочетании с другими инновационными методами – гибридных технологий – в ближайшем будущем [11].

В Институте химических наук им. А.Б. Бектурова, в лаборатории ионообменных смол и мембран под руководством академика Национальной академии наук Республики Казахстан Ергожина Е.Е. с начала 2000-х гг. проводились работы по очистке сточных вод различных промышленных предприятий с использованием электрохимических и баро-

мембранных технологий [12, 13]. Применение метода обратного осмоса предоставляет отличную возможность возвращать в производство очищенную воду на различных предприятиях нашей республики.

Целью данной работы является очистка парового конденсата Павлодарского нефтехимического завода (далее – ПНХЗ) с использованием импульсной электромагнитной обработки в процессе обратного осмоса.

Материалы и методы

Для проведения данной работы был выбран прибор настенного типа – электронный преобразователь солей жёсткости «Термит» (рис. 1). Прибор «Термит» обрабатывает воду электромагнитными волнами, чем не только препятствует образованию накипи, но и удаляет накипь уже имеющуюся в оборудовании. Разработчиком является компания «Экосервис Технохим-М» (Россия).

Принцип действия прибора заключается в генерировании электромагнитных волн с постоянно меняющимися длиной, частотой и амплитудой колебания. Поток излучаемых волн передаётся в протекающую по трубопроводу воду по проводам излучателям и концентрируется в месте катушки. В процессе их воздействия изменяется структура отложений на стенках, и они теряют возможность кристаллизоваться и впоследствии осаж-



Рисунок 1. Электронный преобразователь солей жёсткости
Figure 1. Electronic converter of hardness salts

даться на стенках в виде накипи. В конечном итоге они остаются в воде в виде осадка [14].

Принцип действующих электромагнитных приборов умягчения воды заключается в комплексном многофакторном воздействии магнитного поля на растворённые в воде гидратированные ионы металлов, структуру гидратов и водных ассоциатов. В связи с этим меняется скорость электрохимической коагуляции дисперсных заряженных частиц в потоке немагнитической жидкости, и образуются центры кристаллизации одинакового размера. Таким образом, создаваемое динамическое электромагнитное поле изменяет структуру кристаллов солей переменной жёсткости, которые вследствие этого не оседают

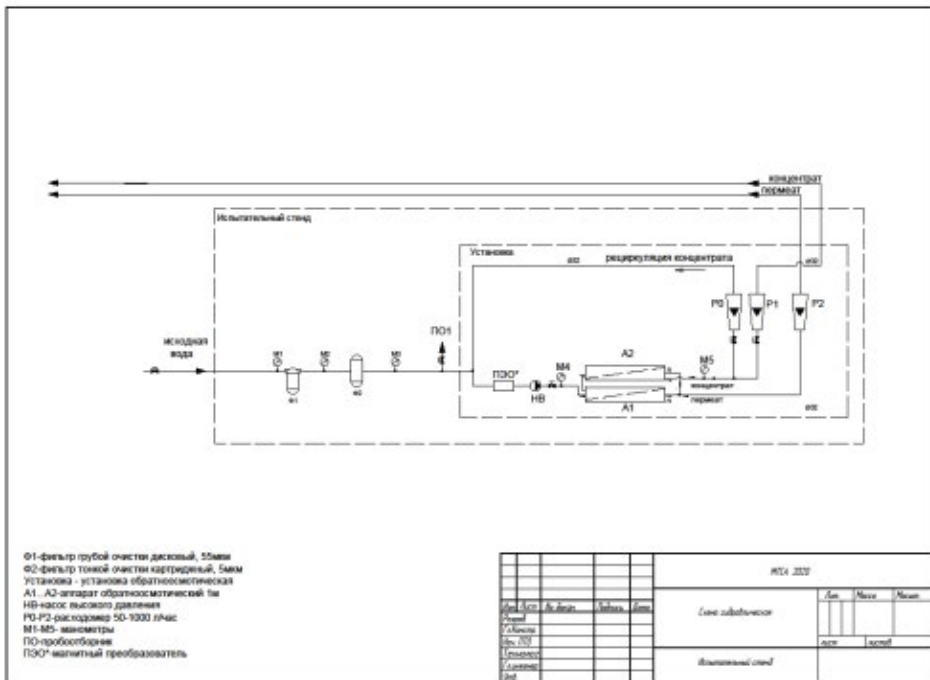


Рисунок 2. Технологическая схема пилотной установки производительностью 300 л/ч
Figure 2. Process flow diagram of a pilot plant with a capacity of 300 l/h

на внутренней поверхности трубопроводов, а уже имеющиеся отложения постепенно разрушаются и удаляются потоком воды.

Результаты и их обсуждение

В ходе выполнения исследований совместно с ТОО «Мембранные технологии» была разработана технологическая схема, а также техническая документация на изготовление пилотной установки производительностью по очищенной воде 300 л/ч (рис. 2).

Описание технологической схемы пилотной установки следующее: исходная вода подаётся на механический фильтр Ф1 с порогом фильтрации 130 мкм, затем на фильтр тонкой очистки Ф2 с порогом фильтрации 5 мкм. Насосом высокого давления (далее – НВ) вода подаётся на два обратноосмотических аппарата А1 и А2. Перед НВ, после точки врезки рециркуляционной линии на трубопроводе устанавливается прибор электромагнитной обработки воды. Расходы концентрата, пермеата и рециркуляции концентрата контролируются



Рисунок 3. Общий вид пилотной установки
Figure 3. General view of the pilot plant

Габариты установки:
1850×800×800. Вес: 100 кг
Dimensions:
1850× 800×800.
Weight: 100 kg



а)

Рисунок 4. Общий вид смонтированной на территории установки ПНХЗ
Figure 4. General view of the unit installed at the Pavlodar Petrochemical Plant

а) вид спереди / front view;
б) вид сзади / back view



б)



Рисунок 5. Фильтр картриджного типа до проведения испытаний
Figure 5. Cartridge type filter before test



а)



б)

Рисунок 6. Фильтр картриджного типа до проведения испытаний
Figure 6. Cartridge type filter before test

а) общий вид / general view; б) в разрезе (вид сверху) / cross-section (top view)



а)



б)

Рисунок 7. Фото изъятых мембранных элементов после проведенных испытаний
Figure 7. Photos of the removed membrane elements after tests

а) в разрезе / cross-section;
б) в развернутом виде / unfolded



Рисунок 8. Фото фильтрующего элемента после завершения длительных испытаний
Figure 7. Photo of the filter element after completion of long-term tests

Таблица 1. Требуемые нормы к очищенному водяному паровому конденсату
Table 1. Required standards for purified water steam condensate

Показатели качества Quality indicators	Норма Regulatory standard
Прозрачность по шрифту, см, не менее Snellen transparency, cm, not less than	40
Жёсткость общая, мкг-экв/кг Total hardness, µg-eq/kg	5
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг, не более Content of iron compounds (in terms of Fe), µg/kg, not more than	50
Водородный показатель (pH), ед. Potential of hydrogen (pH), units	6,8–7,5
Содержание нефтепродуктов, мг/кг, не более Oil products content, mg/kg, not more	0,3
Удельная электропроводность, мкСм/см Specific electrical conductivity, µSm/cm	5
Взвешенные вещества, мг/кг Suspended substances, mg/kg	отсутствие none

по ротаметрам P1, P2, P0 соответственно. Работа фильтров Ф1 и Ф2 контролируется по перепаду давления (манометры М1–М3). Работа элементов обратноосмотических аппаратов

A1–A2 контролируется по ротаметрам P1, P2, P0 и по перепаду давления на манометрах М4 и М5. Установка работает по проточной схеме, т.е. пермеат и рассол сбрасываются в канализацию.

С целью выполнения дальнейших работ была разработана конструкторская документация и изготовлена пилотная установка (рис. 3).

Общий вид пилотной установки, смонтированной на территории цеха № 8 (установка Е-909) ПНХЗ, представлен на рис. 4.

Испытания смонтированной на территории ПНХЗ пилотной опреснительной установки показали, что в течение первых шести дней произошло загрязнение картриджных фильтров ионами Fe³⁺, вследствие чего установка была остановлена для замены картриджей. Фотографии фильтров до и после проведения испытаний представлены на рис. 5–6.

В табл. 1 представлены требования к очищенному паровому конденсату от ПНХЗ. Результаты проведенных анализов исходного и очищенного паровых конденсатов представлены в табл. 2.

Видно, что в пробах очищенной воды после обратноосмотической установки общее солесодержание снизилось до 1,26 мг/кг,

Таблица 2. Результаты анализа исходного и очищенного парового конденсата
Table 2. Results of analysis of the original and purified steam condensate

Определяемый показатель Indicator to be determined	1-й день Day 1	2-й день Day 2	3-й день Day 3	4-й день Day 4	5-й день Day 5	6-й день Day 6	7-й день Day 7	8-й день Day 8	9-й день Day 9
Общий поток конденсата									
Взвешенные вещества, мг/дм ³ Suspended substances, mg/dm ³	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Железо общее, мкг/дм ³ Total iron, µg/dm ³	68	72	83	62	69	78	84	75	71
Жёсткость общая, мкг-экв/дм ³ Total hardness, µg-eq/dm ³	2,4	0,8	36	9,6	2,4	1,6	1,6	1,6	2,4
Кремниевая кислота, мкг/дм ³ Silicic acid, µg/dm ³	29	23	5	47	35	17	35	5	11
Нефтепродукт, мг/дм ³ Petroleum product, mg/dm ³	0,05	0,07	0,1	0,06	0,05	0,07	0,08	0,04	0,07
pH	6,91	7,02	7,02	6,99	7,35	7,07	6,75	6,96	7,22
Солесодержание, мг/кг Salt content, mg/kg	-	-	3,29	-	-	-	-	-	-
После установки обратного осмоса / After reverse osmosis									
Жёсткость общая, мкг-экв/дм ³ Total hardness, µg-eq/dm ³	1,6	1,6	2,4	0,8	1,6	1,6	1,6	1,6	2,4
pH	6,45	6,59	6,5	6,54	6,32	6,58	6,51	6,35	6,39
Удельная электропроводность, мкСм/см Specific electrical conductivity, µSm/cm	-	5,2	-	-	-	-	-	-	3,8
Железо общее, мкг/дм ³ Total iron, µg/dm ³	84	78	51	43	37	25	19	15	10
Солесодержание, мг/кг Salt content, mg/kg	3,29	-	-	-	1,26	-	-	-	1,26

Таблица 3. Технические характеристики работы обратноосмотической установки
Table 3. Technical characteristics of the reverse osmosis unit

Дата Date	Причина контроля Check reason	$P_{вх.}$	$P_{вых.}$	$Q_{перм.}$	$Q_{конц.}$	$Q_{рецирк.}$	$C_{исх.}$	$C_{вых.}$
1-й день / Day 1	ПНР commissioning work	6,5	5,0	600	250	108	0,22	0,010
2-й день / Day 2	снижение производительности reduced performance	8,062	7,0	640	300	360	0,22	0,02
3-й день / Day 3	ПНР	8,06	6,0	600	360	360	0,05	0,01
4-й день / Day 4	контроль / check	8,0	7,0	490	360	360	0,05	0,01
5-й день / Day 5	контроль / check	8,0	7,0	490	360	360	0,05	0,01
6-й день / Day 6	контроль / check	8,0	7,0	490	360	360	0,05	0,01
7-й день / Day 7	контроль / check	8,0	7,0	490	360	360	0,05	0,01
8-й день / Day 8	контроль / check	8,0	7,0	500	360	360	0,07	0,02

ПНР – пусконаладочные работы / commissioning work

$P_{вх.}$ – давление на входе, бар / inlet pressure, bar; $P_{вых.}$ – давление на выходе, бар / outlet pressure, bar; $Q_{перм.}$ – производительность пермеата, л/ч / Permeate capacity, l/h; $Q_{конц.}$ – производительность концентрата, л/ч / concentrate capacity, l/h; $Q_{рецирк.}$ – производительность рециркуляционной воды, л/ч / recirculation water capacity, l/h; $C_{исх.}$ – общее содержание растворенных твердых веществ на входе, PPM / Total dissolved solids content at the inlet, PPM; $C_{вых.}$ – общее содержание растворенных твердых веществ на выходе, PPM / total dissolved solids content at the outlet, PPM

а содержание общего железа с 84 до 10 мкг/дм³. При этом рН воды остается практически неизменным.

Результаты дальнейших испытаний изготовленной пилотной обратноосмотической установки и её технические характеристики представлены в табл. 3. Фото изъятых мембранных и фильтрующих элементов по завершении испытаний пилотной установки представлены на рис. 7–8.

Заключение

Проведённые на территории ПНХЗ испытания по очистке парового конденсата методом импульсной электромагнитной обработки в процессе обратного осмоса показали положительный результат. Установлено, что в пробах очищенной воды общее солесодержание снизилось до 1,26 мг/кг, а содержание общего железа с 84 до 10 мкг/дм³.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования.

Данное исследование было выполнено в Институте химических наук им. А.Б. Бектурова по программе BR21882220 целевого финансирования научных исследований на 2023–2025 г., осуществляемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ковригина Т.В. – написание статьи, сбор пилотной установки, сбор материалов; ХакиMBOLатова К.Х. – написание и редактирование статьи, сбор пилотной установки, проведение испытаний; Чалов Т.К. – анализ и проверка результатов, предоставление консультаций.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source.

This study was performed at the A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences under the BR21882220 program for targeted financing of scientific research for 2023–2025, carried out by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Tatyana V. Kovrigina – writing the article, assembling the pilot plant, collecting materials; Kamilla Kh. Khakimbatolova – writing and editing the article, assembling a pilot plant, conducting tests; Tulegen K. Chalov – analysis and verification of the results, provision of consultations.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мехтиев А.Д., Герасименко Т.С., Сарсикеев Е.Ж. Результаты изменения параметров жёсткости и рН-фактора водопроводной воды города Астана после воздействия на неё постоянными магнитами // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2022. № 4 (115). С. 116–124. doi:10.51452/kazatu.2022.4.1254.
2. Moya S.M., Botella N.B. Review of Techniques to Reduce and Prevent Carbonate Scale. Prospecting in Water Treatment by Magnetism and Electromagnetism // *Water*. 2021. Vol. 13, N 17. doi:10.3390/w13172365.
3. Jiang W., Xu X., Lin L., et al. A pilot study of an electromagnetic field for control of reverse osmosis membrane fouling and scaling during brackish groundwater desalination // *Water*. 2019. Vol. 11, N 5. doi:10.3390/w11051015.
4. Lin L., Jiang W., Xu X., Xu P. A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation // *Clean Water*. 2020. Vol. 3, N 25. P. 37–44. doi:10.1038/s41545-020-0071-9.
5. Andrianov A., Orlov E. The assessment of magnetic water treatment on formation calcium scale on reverse osmosis membranes // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 178. doi:10.1051/mateconf/201817809001.
6. Lazarev S.I., Kovalev S.V., Shestakov K.V. Electrobaromembrane apparatuses: Classification and particular application for wastewater treatment // 2019. Vol. 50. P. 236–249. doi:10.2298/APT1950236L.
7. Radelyuk I., Tussupova K., Yelubay M., et al. Pitfalls of Wastewater Treatment in Oil Refinery Enterprises in Kazakhstan – A System Approach // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. P. 1618–1637. doi:10.3390/su11061618.
8. Мартынова О.И., Копылов А.С., Теребенихин Е.Ф., Очков В.Ф. К механизму влияния магнитной обработки на процессы накипеобразования и коррозии // *Теплоэнергетика*. 1979. № 6. С. 39–47.
9. Ергожин Е.Е., Чалов Т.К., Цхай А.А., Ковригина Т.В., Хакимболатова К.Х. Электродиализная опреснительная установка с применением интерполимерных мембран // *Вода: химия и экология*. 2011. № 7. С. 25–32.
10. Воробьев И.В., Кувшинников И.М. Физико-химические и технологические основы глубокой очистки природной воды и промышленных стоков от примесей нефтепродуктов и других органических соединений // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2013. № 1. С. 2–6.
11. Латыпов Э.Д., Шавалиев М.Ф. Использование мембран и мембранных технологий для биотехнологических производств // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 8. С. 134–138.
12. Ергожин Е.Е., Чалов Т.К., Хакимболатова К.Х. Мембраны и мембранные технологии. Алматы : Институт химических наук им. А.Б. Бектурова, 2017. 260 с.
13. Патент РК № 23162/ 15.11.10. Бюл. № 11. Ергожин Е.Е., Чалов Т.К., Ковригина Т.В., Хакимболатова К.Х., Бегенова Б.Е., Изатбеков Е.У. Способ получения интерполимерных мембран.
14. Мосин О.В. Магнитные аппараты для обработки воды // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2011. Т. 6, № 114. С. 24–27.

REFERENCES

1. Mehdiyev AJ, Gerasimenko TS, Sarsikeev EZ. results of changes in the parameters of hardness and pH-factor of tap water in astana after exposure to permanent magnets. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agro Technical University*. 2022;4(115):116–124. doi:10.51452/kazatu.2022.4.1254.
2. Moya SM, Botella NB. Review of Techniques to Reduce and Prevent Carbonate Scale. Prospecting in Water Treatment by Magnetism and Electromagnetism. *Water*. 2021;13(17). doi:10.3390/w13172365.
3. Jiang W, Xu X, Lin L, et al. A pilot study of an electromagnetic field for control of reverse osmosis membrane fouling and scaling during brackish groundwater desalination. *Water*. 2019;11(5). doi:10.3390/w11051015.
4. Lin L, Jiang W, Xu X, Xu P. A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation. *Clean Water*. 2020;3(25):37–44. doi:10.1038/s41545-020-0071-9.
5. Andrianov A, Orlov E. The assessment of magnetic water treatment on formation calcium scale on reverse osmosis membranes. MATEC Web of Conferences. 2018;178. doi:10.1051/mateconf/201817809001.
6. Lazarev SI, Kovalev SV, Shestakov KV. Electrobaromembrane apparatuses: Classification and particular application for wastewater treatment. *Acta Periodica Technologica*. 2019;50:236–249. doi:10.2298/APT1950236L.
7. Radelyuk I, Tussupova K, Yelubay M, et al. Pitfalls of Wastewater Treatment in Oil Refinery Enterprises in Kazakhstan – A System Approach. *Sustainability*. 2019;11:1618–1637. doi:10.3390/su11061618.

8. Martynova OI, Kopylov AS, Terebenikhin YF, Ochkov VF. K mekhanizmu vliyaniya magnitnoy obrabotki na protsessy nakipeobrazovaniya i korrozii. *Teploenergetika*. 1979;6:39–47. (In Russ).
9. Ergozhin YY, Chalov TK, Tskhay AA, et al. Elektrodiyaliznaya opresnitel'naya ustanovka s primeneniym interpolimernykh membran. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2011;7:25–32. (In Russ).
10. Vorobyev IV, Kuvshinnikov IM. Fiziko-khimicheskiye i tekhnologicheskkiye osnovy glubokoy ochistki prirodnoy vody i promyshlennykh stokov ot primesey nefteproduktov i drugikh organicheskikh soedineniy. *Energoberezheniye i vodopodgotovka*. 2013;1:2–6. (In Russ).
11. Latypov YD, Shavaliyev MF. Ispol'zovaniye membran i membrannykh tekhnologiy dlya biotekhnologicheskikh proizvodstv. *Herald of Technological University*. 2016;19(8):134–138. (In Russ).
12. Ergozhin EE, Chalov TK, Hakimbolatova KH. *Membrany i membrannyye tekhnologii*. Almaty: A.B. Bekhturov Institute of Chemical Sciences; 2017. 260 p. (In Russ).
13. Patent RK № 23162/ 15.11.10. Byul. № 11. Ergozhin EE, Chalov TK, Kovrigina TV, Hakimbolatova KH, Begenova BE, Izatbekov EU. Sposob polucheniya interpolimernykh membran. (In Russ).
14. Mosin OV. Magnitnyye apparaty dlya obrabotki vody. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie*. 2011;6(114):24–27. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковригина Татьяна Васильевна

канд. хим. наук, ассоциированный профессор

ORCID [0000-0001-6073-1946](https://orcid.org/0000-0001-6073-1946)

Scopus Author ID 23389403900

e-mail: kovriginatat@mail.ru.

***Хакимболатова Камила Хакимболатовна**

канд. хим. наук, ассоциированный профессор

ORCID [0000-0002-4520-5830](https://orcid.org/0000-0002-4520-5830)

Scopus Author ID 23389542200

e-mail: ics_kamila@mail.ru.

Чалов Тулеген Каменович

докт. хим. наук, профессор

ORCID [0000-0002-7204-9490](https://orcid.org/0000-0002-7204-9490)

Scopus Author ID 10041096000

e-mail: chalov.45@mail.ru.

AUTHORS' INFO

Tatyana V. Kovrigina

Cand. Sc. (Chemistry), professor (associate)

ORCID [0000-0001-6073-1946](https://orcid.org/0000-0001-6073-1946)

Scopus Author ID 23389403900

e-mail: kovriginatat@mail.ru.

***Kamilla Kh. Khakimbolatova**

Cand. Sc. (Chemistry), professor (associate)

ORCID [0000-0002-4520-5830](https://orcid.org/0000-0002-4520-5830)

Scopus Author ID 23389542200

e-mail: ics_kamila@mail.ru.

Tulegen K. Chalov

D. Sc. (Chemistry), professor

ORCID [0000-0002-7204-9490](https://orcid.org/0000-0002-7204-9490)

Scopus Author ID 10041096000

e-mail: chalov.45@mail.ru.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author