

МРНТИ 61.31.51

Т.Ш. Устабаев¹ – основной автор, | ©
Г.С. Алимбетова², Б.М. Жаксыбек³, С.Ж. Ахатова⁴

¹Магистр

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-6467-3-69> ²<https://orcid.org/0009-0004-5046-0520>
³<https://orcid.org/0009-0000-0583-3368> ⁴<https://orcid.org/0000-0001-9574-1271>^{1,2,3,4}Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства,

г. Тараз, Казахстан

¹timoha_85_85@mail.ru<https://doi.org/10.55956/NNJA4753>

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПРИ ОПРЕСНЕНИИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД НА ОТГОННЫХ ПАСТБИЩАХ РК

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена применением нового подхода к технологиям опреснения минеральных вод с минимизацией воздействия на экологию, особенно в контексте отгонного животноводства. Предложенное решение способствует улучшению экологической обстановки и совершенствованию методов утилизации рассолов и регенерационных растворов, образующихся при опреснении минерализованных вод. Цель работы – проведение экспериментального исследования, направленного на улучшение существующих методов опреснения. В ходе исследования разработалась технология по снижению негативного воздействия химических растворов и рассолов, сбрасываемых в водоемы или на испарительные площадки, что значительно ухудшает экологическую ситуацию. В работе применены различные методы: аналитический, экспериментальный, функциональный, статистический, а также методы классификации и синтеза. Проведен анализ состава минерализованных вод, выявлены ошибки при очистке и их причины. Рассмотрены свойства химических растворов и рассолов, их влияние на окружающую среду и способы минимизации негативного воздействия. Особое внимание уделено выбору оптимальных технологических режимов опреснения, которые позволят выбирать наилучшие технологические режимы работы установок и оптимизировать процессы водоподготовки, успешно решающие экологические проблемы. Практическая ценность исследования заключается в том, что его результаты могут быть применены в производстве и при обводнении пастбищных территорий, так же исследования полезны ученым, разрабатывающим новые методы опреснения рассолов и утилизации химических растворов. Они позволят снизить производственные затраты и повысить экологичность процесса.

Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR 24992885 «Научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами»).

Ключевые слова: угольная промышленность, загрязняющие вещества, фильтрация, очистные сооружения, водоподготовка.



Устабаев, Т.Ш. Применение технологии утилизации химических растворов при опреснении минерализованных вод на отгонных пастбищах РК [Текст] / Т.Ш. Устабаев, Г.С. Алимбетова, Б.М. Жаксыбек, С.Ж. Ахатова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №2(88). – С.194-205. <https://doi.org/10.55956/NNJA4753>

Введение. Интенсивное развитие технологий за последние десятилетия в сельском хозяйстве, привело к значительному спросу развития водоснабжения. Возросли требования к качеству воды, что поспособствовало постройке новых сооружений для систем водоснабжения, а также расширению и инновации старых. Важными проблемами в опреснении минеральных вод являются некоторые ошибки и недоработки методик, следствием чего существенно возросли экологические проблемы, т.к. большинство таких систем оказывают негативное влияние на окружающую среду, как прямое, так и косвенное. Системы водоподготовки, которые имеют серьезные отходы, такие, как шлам от осветлителей, сбросные минерализованные регенерационные растворы, после установок ионного обмена и т.д., имеют большое негативное влияние на экологический фон. Поэтому их использование должно осуществляться строго в соответствии с положениями об охране окружающей среды, при этом учитывая тот факт, что рост производства только растет с каждым годом.

Целью данного исследования является выполнение объективного анализа по выявлению проблем и ошибок в методиках опреснения минеральных вод. Выполнение данной задачи предоставит возможность осуществлять опреснение минеральных вод по усовершенствованию методики и минимизированию проблем.

М.А. Бонк утверждает, что в результате промышленных процессов с использованием радионуклидов образуются отходы, которые выбрасываются, несмотря на наличие в них полезных веществ, что приводит к загрязнению окружающей среды и истощению природных ресурсов. Примером таких отходов является рассол – концентрированный солевой поток, образующийся в процессах водоподготовки, который в настоящее время регулярно сбрасывается в водоемы. Однако рассол является перерабатываемым материалом, и его необходимо восстанавливать. Проект «Нулевой рассол» направлен на разработку процесса для этой цели [1].

Как утверждает А.Ш. Бейшел, технический прогресс любого современного общества неразрывно связан с развитием производственных мощностей, увеличением промышленного производства и постоянным ростом и масштабным потреблением материальных ресурсов, в том числе и водных ресурсов [2].

По мнению М.А. Мансур, при опреснении минеральных вод для обеспечения населения и животных качественной водой получают рассол максимальной концентрации и сбрасывают его в ущелье, природный водоем, вредный для окружающей среды. В то же время в Казахстане отсутствует пищевая поваренная соль, отвечающая требованиям стандарта. Во многих областях и районах используется низкокачественная соль кустарного производства. Такие соли имеют высокое содержание нерастворимых примесей (гранит, мрамор и др.), в их составе присутствуют соли кальция, магния, железа, меди, свинца в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации. В связи с этим применимая модификация технической базы опреснения минеральных вод используется в

разностороннем направлении, то есть при получении питьевой воды, из остаточного рассола изготавливается поваренная соль и некоторые виды удобрений. [3].

По утверждению Е.Е. Ергожина, 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 [4].

Со слов О.Г. Бурдо, роль опреснения на современном этапе не ограничивается только проблемой ликвидации дефицита воды в ряде маловодных и безводных регионов мира. Принцип опреснения все шире сопровождается концентрированием растворов с целью получения из них товарных минеральных продуктов. В связи с этим на мировом рынке возрастает спрос на опреснительные установки, обладающие высокими экономическими показателями [5].

По мнению И. Калтрана, ионный обмен может эффективно удалять природные органические вещества из поверхностных вод при очистке питьевой воды. Основным недостатком удаления веществ методом ионного обмена является получение отработанного рециркулирующего рассола, который представляет собой загрязненные отходы, удаление которых стоит дорого [6].

Важно уточнить, что особенную ценность представляет собой вопрос о утилизации рассолов, его влияние на окружающую среду, а также регенерацию растворов при опреснении минеральных вод.

Суммарная величина прогнозных ресурсов подземных вод в целом по Казахстану составляет 64,28 км³/год. Общие эксплуатационные запасы подземных вод равны 15,56 км³/год. Основные ресурсы пресных подземных вод (54%) сосредоточены в южном регионе. Дефицит ресурсов пресных подземных вод отмечается в Атырауской, Северо-Казахстанской, Мангистауской, Костанайской и Западно-Казахстанской областях [7].

Как следствие 46% эксплуатационных запасов подземных вод требуют опреснения а это около 7,1 км³/год минерализованной воды. При опреснении обратноосмотическим методом который хорошо зарекомендовал себя на рынке и составляет более 90% опреснительного оборудования в Республике Казахстан, соотношение пресной воды и концентрата солей составляет 80/20.

Анализируя информацию можно сделать вывод что ежегодно при использовании минерализованных вод при индустриальном развитии Казахстана потребуется утилизировать порядка 1,4 км³/год рассолов ежегодно.

В связи с чем необходимо изучить способы преодоления данной проблемы и разработать определенный спектр рекомендаций.

Условия и методы исследования. Проведение научного исследования в сфере изучения проблем опреснения минеральных вод было выполнено с помощью применения методов, раскрывающих суть моделирования в лабораторных условиях процесса опреснения, а также теоретическое и практическое содержание объекта. При помощи аналитического метода удалось выделить главные проблемы при опреснении минеральных вод, а именно, утилизацию рассолов, полученных при опреснении воды, и утилизации промывного раствора при выполнении рециркуляции (промывки) обратноосмотических аппаратов. Используя статистический метод, были

рассмотрены показатели, которые помогают проанализировать количество и причины ошибок в разработке мобильной обратноосмотической установки, потенциалы использования данного механизма на открытых испарительных площадках. Применив функциональный метод, была проанализирована роль утилизации рассолов и регенерационных растворов при опреснении минерализованных вод на мобильной обратноосмотической установке, а именно роль механизма в современном мире, его эффективность, преимущества и недостатки, и влияние функционирования установки на экологию в целом. Было проведено экспериментальное тестирование данной мобильной установки, целью которого являлась оценка показателей процесса испарения. Также был проведен статистический анализ данных исследования, а именно, соотношение объемов растворов и выпариваемой жидкости при величине вакуума до $0,7 \text{ бар}^{-1}$ и нагреве раствора до 60°C . Не менее эффективными были химический и физический методы исследования, именно благодаря им был проведен сравнительный анализ показателей данного исследования. Лабораторное исследование было проведено при помощи установки, все оборудование которой смонтировано в кузове автомобиля отдельными блоками.

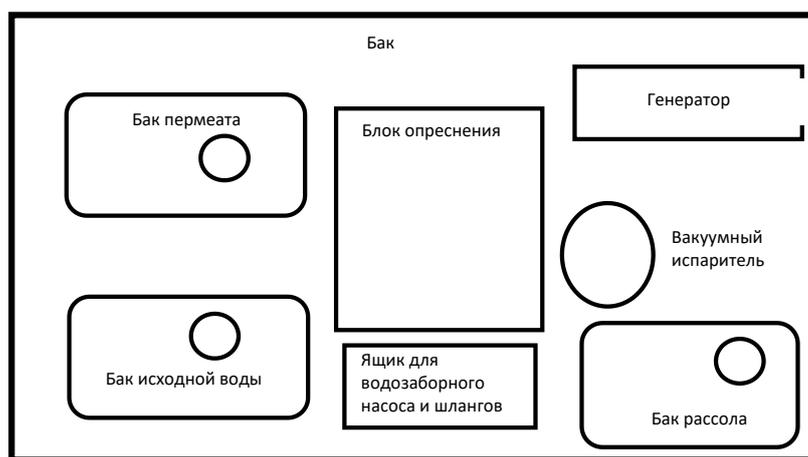


Рис. 1. Расстановка технологического оборудования на мобильной установке

Источник: составлено автором.

В задней части прицепа смонтированы емкости: исходной воды и пермеата с подающими трубами и сливными патрубками с вентилями. В центре расположена обратноосмотическая установка (заводское исполнение) с высоконапорным насосом, с фильтрами предварительной очистки и двумя аппаратами типа ESPA-4040. Здесь же расположена вакуумная испарительная установка (собственная разработка, патент), которая в настоящее время находится в стадии доводки и испытаний. На линии подачи исходной воды и в контуре рециркуляции установлены циркуляционные насосы LKS-250PW. Для утилизации промывного раствора был установлен блок вакуумного испарения, на его конструкцию получен патент РК. Промывка мембран была произведена кислым или щелочным 10% раствором технической лимонной кислоты или триполифосфата натрия. Частота промывки зависит от типа воды, величины минерализации и осуществляется через 300-500 часов

работы. Для приготовления промывного раствора используется рассольный бак. На предложенную технологическую схему получен патент РК № 6827.

Стоит отметить, что главной целью является проведение лабораторного исследования утилизации рассолов и регенерационных растворов при опреснении минерализованных вод на мобильной обратноосмотической установке.

Результаты исследований. На сегодня потребность в пресной воде является огромной проблемой как в экономическом плане, так и в хозяйственном, поэтому для обеспечения потребителей нужным количеством воды есть множество разных методов опреснения минеральных вод, которые используются на различных установках, механизмах и станциях. Нужно обратить внимание на то, что при процессе опреснения появляются различные отходы, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду. Утилизация рассолов является особым технологическим процессом требующим особого внимания для соблюдения экологических норм. Поэтому представленная технологическая схема в данной статье является одним из решений этой насущной проблемы [8].

Необходимо отметить, что важным аспектом в обеспечении чистой пресной воды является также эффективное использование ресурсов, таких как вода, энергия и другие ресурсы, используемые при процессе опреснения. Поэтому следует искать методы опреснения воды, которые максимально эффективны в использовании ресурсов и имеют наименьший отрицательный эффект на окружающую среду [9].

Данное экспериментальное исследование, которое описано в статье, может стать важным шагом на пути к решению проблем, связанных с опреснением минерализованных вод на мобильной обратноосмотической установке, также может помочь исправить проблему утилизации рассолов, уменьшить проблему дефицита пресной воды. Это станет важным вкладом в решении проблемных вопросов утилизации рассолов при опреснении минерализованных вод, что в свою очередь поможет решить актуальные проблемы окружающей среды и проблему доступности пресной воды [10].

Первой задачей в проведении данного эксперимента было определение его значимости, универсальности использования данной мобильной установки. Анализ ситуации показал, что стоимость доставки автоводозовами от 5 до 8 раз дороже, чем опреснение ее на месте, а качество доставляемой воды низкое и имеет опасность вторичного заражения бактериями при транспортировке. В то время, как эффективность использования опресненной воды при помощи мобильной установки заключается не только в более лучшем качестве воды, а и в удобстве её применения [11-21].

Второй задачей являлась подготовка узла утилизации рассолов для проведения эксперимента. Была разработана конструкция вакуумного испарителя, получен патент РК № 6827.

Описание технологической схемы позволяет более детально представить процесс проведения эксперимента. Рассольный бак представляет собой емкость для хранения и переработки рассолов и регенерационных растворов, которые образуются при опреснении вод. Затем рассолы направляются на блок вакуумного испарения, где происходит отделение воды от солей. Этот процесс основан на использовании разности парциальных давлений воды в газообразном и жидком состоянии. Испарение воды происходит при давлении ниже атмосферного, что позволяет получить чистую воду высокого качества.

Третьей, самой важной, задачей было проведение самого эксперимента на мобильной обратноосматической установке, которая была усовершенствована, а также изучение результатов и составление выводов.

В данной конструкции вакуумного испарителя не требуется установка вакуумного насоса, что экономически выгоднее, так как используется способ инжектирования, который также известен как трубка Вентури.

При эксплуатации данного механизма предполагалось использовать выхлопные газы от автономного электрогенератора для создания скоростного воздушного потока. При проведении стендового испытания были известны показатели, которые указывали на явную проблему, а именно, на невозможность получения нужного воздушного потока, которого будет достаточно для создания требуемого вакуума 0,6-0,8 бар. Таким образом, необходимо было провести дополнительные исследования, чтобы устранить данную проблему и оптимизировать работу вакуумного испарителя. Схема работы вакуумного испарителя представлена на рисунке 2.

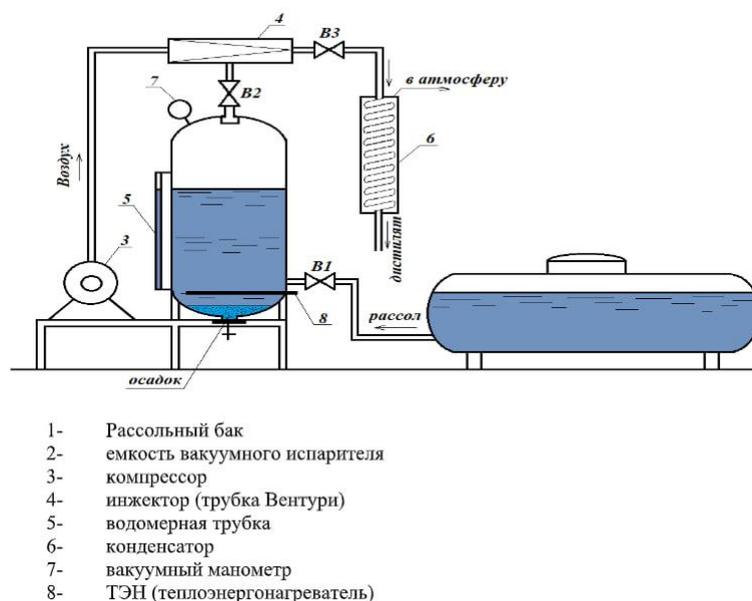


Рис. 2. Схема работы вакуумного испарителя

Источник: составлено автором.

В процессе опреснения воды или утилизации регенерационного раствора, а именно, технической лимонной кислотой или триполифосфатом натрия, происходило вливание рассола в рассольный бак (1), в результате чего включился компрессор (3). После этого открывались вентили В3 и В2, впоследствии чего в емкости вакуумного испарителя (2) образовался вакуум. Как следствие, после открытия вентиля В1, емкость, обозначенная на схеме номером 2, наполнилась до нужного уровня. Уровень заполнения контролируется при помощи водомерной трубки (5). При полном заполнении бака испарителя, вентили В1, В2 и В3 закрываются и включается ТЭН (теплоэнергонагреватель) для повышения температуры жидкости до 50-60°C. Контроль нагрева осуществлялся при помощи электронного термометра от датчика конденсатора (6). После того, как рассол нагрелся до необходимой

температуры, был запущен процесс выпаривания в порядке, указанном выше. Контроль величины вакуума происходил при помощи манометра (7), в некоторых случаях размер достигал 0,6-0,7 бар. После этого паровоздушная смесь выводилась в конденсатор, где после охлаждения стекала в виде дистиллята. Конденсатор выполнен из горизонтальной пластиковой трубы в цилиндрическом (пластмассовом) корпусе, в который подается воздух из компрессора ветренным потоком по отношению к движению паровоздушной смеси и удаляется в атмосферу.

Компрессор используется для поддержания давления в системе, в то время как конденсатор охлаждает паровую смесь и позволяет конденсировать пары в дистиллированную воду. Блок вакуумного выпаривания предназначен для очистки и концентрирования растворов различных химических соединений, в том числе солей, кислот, щелочей, органических веществ и др. При помощи вакуумного испарителя происходит испарение раствора при сниженном давлении, что позволяет получить концентрированный продукт с минимальными затратами на энергию и сырье.

Водомерное стекло и вакуумный манометр предназначены для контроля уровня воды и давления в системе. Электронный датчик для замера температуры раствора позволяет следить за изменением температуры и управляет процессом испарения. Эжектор, который работает на основе закона сохранения энергии и позволяет создать низкое давление в системе, используется для создания вакуума в системе путем выброса струи пара из конденсатора.

Впоследствии, после открытия вентиля В1, было произведено поступление жидкости в вакуумный испаритель, которое происходило по мере её испарения. В связи с завершением испарения всего объема рассола испаритель отключается, а осадок, который появляется во время процесса, описанного выше, выгружается через люк, находящийся внизу емкости (2).

Дистиллированная вода после конденсатора сливается в емкость и подается в бак опреснения воды (пермеата). Также, осадок, после испарения промывного раствора или рассола (объемы незначительные) выгружается и складывается для последующей переработки в химическом производстве или сжигается в специальных печах. Регенерацию обратноосмотических мембран желательно проводить в базовом хозяйстве с подключением к постоянным энергосетям, что позволило бы значительно снизить затраты на процесс утилизации.

Обсуждение результатов исследования. Таким образом, была принята технологическая схема, которая позволяет осуществлять утилизацию рассолов, полученных в процессе опреснения воды, а также утилизацию промывных регенерационных растворов для восстановления селективности мембран обратноосмотических аппаратов. Это значит, что рассолы и растворы, которые раньше были выброшены как отходы, теперь могут быть переработаны и использованы повторно в производственном процессе. Важно заметить, что регенерацию мембран желательно производить на базовом хозяйстве с подключением к стационарным энергосетям. Это позволяет обеспечить стабильные условия для процесса регенерации и снизить возможность непредвиденных сбояв. Так как скорость испарения рассолов зависит от многих факторов, а именно, от температур газов, глубины вакуума, величины минерализации рассола и многих других показателей, которые будут определены в процессе производственных испытаний мобильной установки. Это позволит увеличить скорость

испарения и определить наиболее эффективные условия для работы установки и достижения максимальной производительности.

В конечном итоге, предварительные стендовые испытания схемы вакуумного испарителя и его подключение к рассольному баку, показали возможность создания вакуума до 0,7 бар⁻¹. При этой величине вакуума и нагреве раствора до 60°C происходит два процесса: кипение и испарение. В таблице 1 приведены показатели процесса испарения, а именно, объемы раствора, температура, величина вакуума, объем выпариваемой жидкости, затраты электроэнергии и время испарения.

Таблица 1

Показатели процесса испарения

№ п/п	Объем раствора, л	Температура, °C	Величина вакуума, бар ⁻¹	Объем выпариваемой жидкости, л/ч	Затрат электроэнергии, кВт час/л	Время испарения, час
1	50	60-80	-0,7	5,0	2,0	10
2	40	60-80	-0,7	4,2	2,0	10
3	30	60-80	-0,7	3,4	2,0	10
4	20	60-80	-0,7	2,3	2,0	10
5	10	60-80	-0,7	1,3	2,0	10

Источник: составлено автором.

Из таблицы можно увидеть, что объем раствора варьируется в зависимости от начальной концентрации раствора и мощности используемого оборудования, а время остается неизменным, то есть фиксированным. Также можно заметить, что при увеличении объема раствора, увеличивается и объем выпариваемой жидкости, что может быть полезно для повышения производительности процесса.

Важным показателем являются затраты электроэнергии, которые также зависят от мощности используемого оборудования и времени испарения. Эти показатели могут быть оптимизированы для повышения эффективности процесса и снижения эксплуатационных затрат.

Таким образом, результаты стендовых испытаний позволяют оценить эффективность процесса испарения раствора с использованием вакуумного испарителя и определить оптимальные параметры для максимальной производительности при минимальных затратах.

Производительность данной конструкции была улучшена и срок эксплуатации вакуумного испарителя был увеличен за счет применения методов выпаривания при отрицательном атмосферном давлении что ранее не применялось в существующих технологических схемах.

При более подробном анализе технических процессов, которые происходят при использовании мобильной обратноосмотической установки, можно выявить слабые технологические узлы при функционировании каждого элемента в конструкции с целью оптимизировать работу установки.

Технико-экономические показатели вакуумного испарителя определяются многими факторами, такими как эффективность, производительность, затраты на энергию, сырье, обслуживание и ремонт оборудования. Полевые испытания мобильной установки позволят оценить реальную производительность и эффективность вакуумного испарителя в различных условиях и определить оптимальные параметры для экономически выгодной работы.

Выполненные научные исследования являются научным заделом для реализаций дальнейших исследований в области утилизации концентрированных растворов методом выпаривания и доведения до сухого остатка при опреснении минерализованных вод.

Направление дальнейших исследований будет касаться снижением затрат на получение сухого остатка и повышением производительности утилизатора растворов, которое позволит использовать оборудование при опреснении большого количества воды и снизить экологические риски.

Заключение. Обобщая результаты данного исследования, можно сделать следующие выводы. Использование данной технологии окажет очень положительное влияние на окружающую среду, так как значительно снизит затраты на транспортировку опресненной воды, а также решит проблему утилизации рассола и регенерированной жидкости. Использование этого мобильного устройства обратного осмоса также улучшит качество опресненной воды, обеспечит удобство ее применения и положительно скажется на широком распространении этого механизма среди многих потребителей. Кроме того, данный вакуумный испаритель широко используется в различных отраслях промышленности, таких как производство удобрений, нефтехимии и пищевой промышленности. Описанные в тексте процессы позволяют перерабатывать отходы, получать растворы нужной концентрации и очищать воду для повторного использования. Кроме того, вакуумные испарители являются энергосберегающими устройствами, что позволяет снизить затраты на электроэнергию и негативное воздействие на окружающую среду. Однако, прежде чем внедрять этот метод, необходимо провести полномасштабное исследование и оценить технико-экономические показатели в каждом конкретном случае. Поэтому, данный эксперимент имеет большое значение для решения проблем, связанных с опреснением воды и утилизацией отходов. Он может снизить стоимость водоснабжения, обеспечить качество воды и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, связанное с очисткой рассола.

В целом, использование технологий обратного осмоса и вакуумного испарения является перспективным направлением для улучшения экологической обстановки и снижения затрат на опреснение и утилизацию отходов в различных отраслях промышленности и домашнего хозяйства. Эти технологии могут сыграть особенно важную роль в странах с ограниченным доступом к пресной воде и в районах, где водные ресурсы ограничены или загрязнены.

Однако использование таких технологий требует учета значительных затрат на оборудование и техническое обслуживание. Кроме того, такое оборудование должно быть правильно спроектировано и настроено для обеспечения оптимальной производительности и экологической безопасности. Поэтому при внедрении данной технологии необходимо учитывать все эти факторы, а также технико-экономические характеристики конкретного применения.

Использование технологий обратного осмоса и вакуумного испарения может привести к значительному улучшению состояния окружающей среды и экономии затрат при опреснении и очистке отходов, и является важным шагом на пути к устойчивому развитию.

Список литературы

1. Boncz M.A., van Linden N., Haidari A., Wang Y., Spanjers H. Physicochemical model for simulating the chemical processes during the crystallization of minerals from spent ion exchange regenerant // *Water Resources and Industry*. – 2022. – Vol. 28. – P. 100171.
2. Basel A.Sh., Al-Amoudi A.A., Farooque M., Fellows C.M., Ihm S., Lee S., Li S., Voutchkov N. Seawater desalination concentrate – a new frontier for sustainable mining of valuable minerals // *Clean Water*. – 2022. – No. 9.
3. Mansour M.A., Garudachar B., Kumar R. Mineral extraction from seawater reverse osmosis brine of Gulf seawater // *Desalination and Water Treatment*. – 2019. – No. 144. – P. 44-45.
4. Ergozhin E.E., Chalov T.K., Kovrigina T.V., Melnikov Ye.A., Khakimbolatova K.Kh. Improving the quality of recycled water by pulsed electromagnetic treatment // *Bulletin of the Oil and Gas Industry of Kazakhstan*. – 2021. – No. 2. – P. 76-83.
5. Burdo O.G., Terziev S.G., Mordynsky V.P., Sirotiyuk I.V., Fateeva Ya.A., Molchanov M.Yu. Development of a low-temperature installation of block type for sea water demineralization // *Problems of Regional Energy*. – 2022. – P. 13-23.
6. Caltran I., Rietveld L.C., Shorney-Darby H.L., Heijman S.G.J. Separating NOM from salts in ion exchange brine with ceramic nanofiltration // *Water Research*. – 2020. – Vol. 179. – P. 10-17.
7. Karimov E. Water issue in Kazakhstan: problems and solutions / [?]. – 2023.
8. Garipov I.T., Yuldashev A.B., Gapurova O.U., Abdukhakimov M.K., Khaydarov R.R., Sadikov I.I. New import-substituting antiscalant for membrane desalination system // *Science and Innovative Development*. – 2020. – No. 3(6). – P. 103-114.
9. Backer S.N., Bouaziz I., Kallayi N., Thomas R.T., Preethikumar G., Takriff M.S., Laoui T., Atieh M.A. Review: Brine solution: current status, future management and technology development // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – P. 6752.
10. Novikova O.K., Ratnikov A.M. Water supply industrial enterprises. – Gomel: BelNUT, 2021. – 132 p.
11. Baigazy Kyzy N. Technology of collector-drainage water desalination in the conditions of the Kyrgyz Republic // *Eurasian Union of Scientists*. – 2019. – P. 11-14.
12. Levchenko K.S. Water desalination in quarries and mines of Krivbass // *Geotechnical Mechanics*. – 2017. – No. 132. – P. 220-228.
13. Dolina L.F., Reshetnyak T.P. Wastewater treatment of industrial enterprises with natural metals // *Science and Progress of Transport*. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – 2018. – No. 2. – P. 7-17.
14. Ogunbiyi O., Saththasivam J., Al-Masri D., Manawi Y., Lawler J., Zhang X., Liu Z. Sustainable brine management from the perspectives of water, energy and mineral recovery: A comprehensive review // *Desalination*. – 2021. – Vol. 513. – P. 115055.
15. Al-Amshawee S., Mohd Yunus M.Y.B., Mohd Azoddein A.A., Hassell D.G., Dakhil I.H., Abu Hasan H. Electrodialysis desalination for water and wastewater: A review // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 380. – P. 122231.
16. Djavadova Kh.A.qizi Investigation of Na-Cl-ionization processes of mineralized waters // *Science, Technology and Education*. – 2017.
17. Flodman H.R., Dvorak B.I. Brine reuse in ion-exchange softening: salt discharge, hardness leakage, and capacity tradeoffs // *Water Environment Research*. – 2012. – Vol. 84(6). – P. 535-543.
18. Liu Z., Haddad M., Sauvé S., Barbeau B. Alleviating the burden of ion exchange brine in water treatment: from operational strategies to brine management // *Water Research*. – 2021. – Vol. 205. – P. 117728.
19. Micari M., Cipollina A., Tamburini A., Moser M., Bertsch V., Micale G. Combined membrane and thermal desalination processes for the treatment of ion exchange resins spent brine // *Applied Energy*. – 2019. – Vol. 254. – P. 113699.

20. Pérez-González A., Ibáñez R., Gómez P., Urriaga A.M., Ortiz I. Recovery of desalination brines: separation of calcium, magnesium and sulfate as a pre-treatment step // Desalination and Water Treatment. – 2015. – Vol. 56(13). – P. 3617-3625.
21. Reig M., Casas S., Gibert O., Valderrama C., Cortina J.L. Integration of nanofiltration and bipolar electro dialysis for valorization of seawater desalination brines: production of drinking and wastewater treatment chemicals // Desalination. – 2016. – Vol. 382. – P. 13-20.

Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR 24992885 «Научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами»).

Материал поступил в редакцию 15.05.25, принят 27.06.25.

Т.Ш. Устабаев¹, Г.С. Алимбетова¹, Б.М. Жаксыбек¹, С.Ж. Ахатова¹

¹*Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Тараз қ., Қазақстан*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ШАЛҒАЙ ЖАЙЫЛЫМДАРЫНДАҒЫ МИНЕРАЛДАНҒАН СУЛАРДЫ ТҰЩЫЛАНДЫРУ КЕЗІНДЕ ХИМИЯЛЫҚ ЕРІТІНДІЛЕРДІ ПАЙДАЛАНУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа. Бұл зерттеудің өзектілігі әсіресе шалғай мал шаруашылығы жағдайында минералданған суларды тұщыландыру технологияларына экологияға әсерді барынша азайтуға бағытталған жаңа тәсілдерді енгізумен байланысты. Ұсынылған шешім экологиялық жағдайды жақсартуға және минералданған суларды тұщыландыру барысында түзілетін тұзды сулар мен регенерациялық ерітінділерді кәдеге жарату әдістерін жетілдіруге ықпал етеді. Зерттеудің мақсаты – қолданыстағы тұщыландыру әдістерін жетілдіруге бағытталған эксперименттік зерттеу жүргізу. Зерттеу барысында су қоймаларына немесе булану алаңдарына ағызылатын химиялық ерітінділер мен тұзды сулардың жағымсыз әсерін азайтуға бағытталған технология әзірленді, бұл экологиялық жағдайдың нашарлауын едәуір төмендетеді. Жұмыста әртүрлі әдістер қолданылды: аналитикалық, эксперименттік, функционалдық, статистикалық, сондай-ақ жіктеу және синтез әдістері. Минералданған сулардың құрамы талданды, тазарту кезіндегі қателіктер мен олардың себептері анықталды. Химиялық ерітінділер мен тұзды сулардың қасиеттері, олардың қоршаған ортаға әсері және жағымсыз әсерлерді азайту жолдары қарастырылды. Ерекше назар тұщыландырудың оңтайлы технологиялық режимдерін таңдауға аударылды, бұл жабдықтың ең тиімді жұмыс режимдерін таңдауға және су дайындау процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді, экологиялық мәселелерді табысты шешуге септігін тигізеді. Зерттеудің практикалық маңызы оның нәтижелерінің өндірісте және жайылымдық аумақтарды суландыруда қолданылуында. Сондай-ақ, бұл зерттеу тұзды суларды тұщыландырудың және химиялық ерітінділерді кәдеге жаратудың жаңа әдістерін әзірлейтін ғалымдарға пайдалы болады. Бұл өндірістік шығындарды азайтуға және процестің экологиялық қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: көмір өнеркәсібі, ластаушы заттар, сүзу, тазарту құрылыстары, су дайындау.

T.Sh. Ustabaev¹, G. Alimbetova¹, B.M. Zhaksybek¹, S.Zh. Akhatova¹

¹Kazakh Scientific Research Institute of Water Management, Taraz, Kazakhstan

**APPLICATION OF CHEMICAL SOLUTION UTILIZATION TECHNOLOGY IN THE
DESALINATION OF MINERALIZED WATERS ON RANGELANDS
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

Abstract. The relevance of this research is driven by the application of a new approach to desalination technologies for mineralized waters, minimizing environmental impact, particularly in the context of nomadic livestock farming. The proposed solution contributes to improving the environmental situation and enhancing methods for disposing of brines and regeneration solutions formed during the desalination of mineralized waters. The objective of this study is to conduct an experimental investigation aimed at improving existing desalination methods. During the research, a technology was developed to reduce the negative impact of brines discharged into water bodies or evaporation ponds, which significantly worsens the environmental situation. Various methods were applied in this study, including analytical, experimental, functional, statistical, as well as classification and synthesis methods. The composition of mineralized waters was analyzed, errors in the purification process were identified along with their causes. The properties of wastewater, its environmental impact, and ways to minimize negative effects were also examined. Special attention was given to selecting optimal desalination technological regimes, allowing for the selection of the best operating modes for the equipment and optimizing water treatment processes to effectively address environmental issues. The practical significance of this research lies in the fact that its results can be applied in industrial production and for watering pasture lands. Additionally, the findings are valuable for scientists developing new desalination methods. They can help reduce production costs and improve the environmental sustainability of the process.

Keywords: coal industry, pollutants, filtration, treatment facilities, water treatment.