

УДК 628.165

А.П. Фалалеев, профессор, д-р техн. наук¹,

И.Э. Сулейменов, профессор, д-р хим. наук²,

М.Ю. Рябцев, аспирант¹,

А.Г. Авакян, аспирант¹,

Д.Б. Шалтыкова, ст. преподаватель, канд. хим. наук²,

А.В. Львов, доцент, канд. хим. наук¹

¹Севастопольский национальный технический университет,

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053

²Алматинский университет энергетики и связи

E-mail: a_falaleev@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИАЛИЗА ДЛЯ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Разработана установка для обессоливания жидкости, позволяющая проводить процесс опреснения с применением ионообменных мембран. Экспериментально исследован эффект переноса ионов за счет использования разности температур растворов. Показано, что установка способна понижать содержание NaCl в растворах различной концентрации.

Ключевые слова: ионный обмен, мембрана, опреснение, разность температур.

Введение. На большей территории Крыма наблюдается дефицит источников пресной воды, что оказывает негативное влияние на состояние аграрной отрасли, затрудняя или делая невозможным возделывание ряда сельскохозяйственных культур. Данная проблема решалась путем использования внешнего источника – подачи воды по Северо-Крымского каналу. В настоящее время наблюдаются перебои с поставкой воды данным способом, что вызывает необходимость обеспечения Крыма пресной водой из собственных источников, таких как артезианские скважины. Подобным образом уже снабжаются северная и западная части республики. Однако артезианские воды Северного и Западного Крыма зачастую являются сильноминерализованными и не соответствующими нормам по жесткости воды и по величине сухого остатка, что означает их непригодность к употреблению даже в технических целях без дополнительного обессоливания.

Самыми распространенными методами опреснения воды являются дистилляция, фильтрование и каталитический диализ. Однако следует отметить, что в процессе эксплуатации испарителей при подаче соленой или солевой воды наблюдается быстрое образования накипи на теплопередающих поверхностях, что приводит к снижению коэффициента теплопередачи и уменьшению эффективности работы испарителей [1]. Поскольку в фильтре разделение смесей происходит вследствие задерживания частиц гетерофазы в лабиринте пустот фильтра, он со временем забивается, в результате чего снижается его производительность. Высокая концентрация солей в воде ускоряет этот процесс и вызывает необходимость частой замены фильтров [2].

В отличие от процесса фильтрации, при каталитическом диализе непосредственно через мембрану проходят ионы, мембраны при этом способны работать длительное время [3]. Эффективность данного процесса высокая и подтверждается множеством промышленных установок. К недостаткам метода следует отнести большое количество электрической энергии, требуемое для опреснения. Движущей силой мембранного процесса разделения является градиент электрохимического потенциала по обе стороны мембраны [4].

В данной работе исследуется термомембранный процесс, возникающий при разности температур по обе стороны ионообменной мембраны. Предполагается возможность использование солнечной энергии в качестве источника теплоты, а также остаточной тепловой энергии различных технологических процессов.

Цель исследования состоит в экспериментальной оценке эффективности опреснения воды путем термодиализа за счет использования солнечной энергии в условиях Крыма до уровня минерализации, соответствующего нормативному.

Методика исследования и результаты экспериментов. Принципиальная схема, используемого в данной работе оборудования, приведена на рисунке 1. Принцип работы установки основывается на явлении активного транспорта, заключающемся в переносе вещества (в данном случае – ионов) через полупроницаемую мембрану. Отличительная черта этого процесса состоит в том, что он протекает против градиента концентрации – из области низкой концентрации в область высокой. За счет разности температур растворов возникает движение катионов Na и анионов Cl через соответствующие ионообменные мембраны. В силу того, что заряд у частиц разноименный, но движутся они в одном направлении, в целом в системе сохраняется электронейтральность.

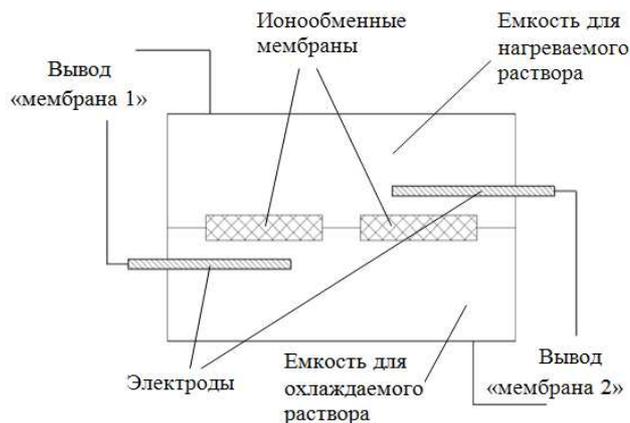


Рисунок 1 – Схема опреснительного устройства с ионообменными мембранами

Движение ионов возможно использовать в качестве средства контроля эффективности работы установки в реальном времени. Для этого по разные стороны мембраны были установлены электроды, к которым во время эксперимента подключался милливольтметр. Используя показания разности потенциалов, можно делать выводы об интенсивности движения потока заряженных частиц через мембраны.

Нагрев осуществлялся при помощи электронагревательного устройства, установленного в баке 1 (рисунок 2) с теплоносителем (водой), закреплённом на внешней стенке 6 резервуара для нагреваемого раствора так, что температура внутри резервуара поддерживалась $69-71^{\circ}\text{C}$. Задняя стенка 5 охлаждаемого резервуара омывалась водой со льдом, находящимся в баке 2, что позволило обеспечивать внутри резервуара температуру $8-10^{\circ}\text{C}$ на протяжении всего эксперимента. Контроль температур осуществлялся двухканальным цифровым электронным термометром. Для измерения плотности в процессе эксперимента в установке предусмотрены отверстия 3, через которые внутрь может быть помещён ареометр общего назначения АОН-1. Для измерения электрических потенциалов внутрь установки помещены медные электроды 4. Исследования проводились на кафедре автомобильного транспорта Севастопольского национального технического университета.

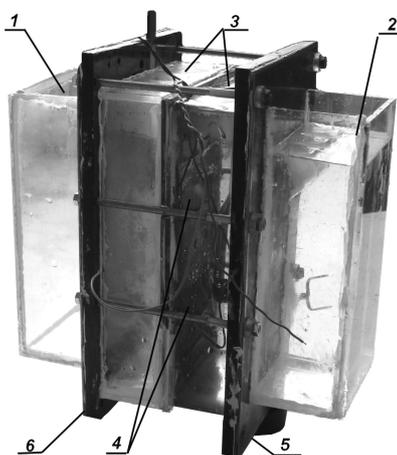


Рисунок 2 – Экспериментальная опреснительная установка с ионообменными мембранами

Влияние содержания соли NaCl на скорость ионообменных процессов оценивалось на образцах с 1 %, 2 %, 3 % и 4 % концентрацией соответственно. Время каждого опыта составило 90 минут (1,5 часа), температурный режим выдерживался постоянный.

Результаты измерения электрических потенциалов во время данного опыта приведены на графике (рисунок 3).

На приведенных графиках заметно значительное снижение скорости потока ионов в течение 20 минут для 2 % и 4 % концентраций и 30 минут для 3 % концентрации раствора. Данное явление можно объяснить частичным выравниванием температур жидкости, находящейся в непосредственной близости от мембран.

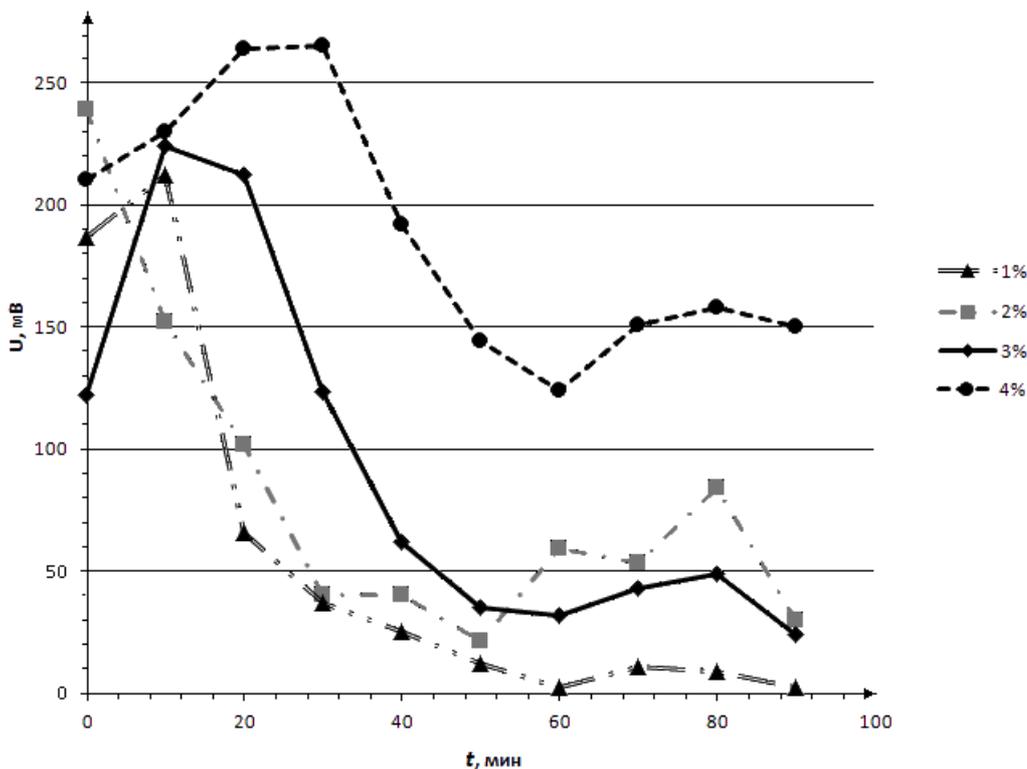


Рисунок 3 – Значения электрических потенциалов во время эксперимента

После проведения эксперимента, растворы из соответствующих камер установки отбирались для выявления остаточного уровня содержания солей. Измерения остаточной концентрации солей проводились несколькими способами. В процессе испытания использовался ареометр общего назначения АОН-1, как указано на рисунке 2. Цена деления ареометра не позволяла оценить небольшие изменения концентрации, дополнительно на точность показаний влияло залипание колбы ареометра в результате пристеночного эффекта. Для измерения характера изменения концентрации относительно начального раствора применялся рефрактометр ИРФ-22. Наиболее чувствительным показателем для точного определения остаточной концентрации оказалась электрическая проводимость растворов при пропускании сигналов переменного тока с частотой 2 кГц, напряжением 2 В и номинальным током 1 А через электроды, закрепленные на расстоянии в 21 мм друг от друга (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты измерения сопротивления растворов

Концентрация раствора	Контрольный раствор R, Ом	Нагреваемый раствор R, Ом	Охлаждаемый раствор R, Ом
1%	13.22	11.14	15.21
2%	5.12	4.69	5.62
3%	4.21	3.76	4.75
4%	3.26	2.72	4.02

Растворы всех образцов продемонстрировали рост концентрации солей в горячей камере и уменьшение концентрации в охлаждаемой камере. Значения остаточных концентраций растворов указано в таблице 2.

Таблица 2 – Процентная концентрация результирующих растворов

Концентрация контрольного раствора, %	Среднее значение концентрации нагреваемого раствора, %	Среднее значение концентрации охлаждаемого раствора, %
1.057	1.414	0.756
2.071	2.489	1.643
2.863	3.254	2.483
3.800	4.086	3.652

Результаты измерений показывают, что заряженные частицы под действием температурного градиента перемещаются из нагреваемого раствора в охлаждаемый, о чем свидетельствует изменившееся содержание соли в растворе. Такое поведение растворов электролитов явно указывает на возможность разделения ионов при наличии разницы температур и демонстрирует возможность создания опреснительной установки, которая будет функционировать только под действием солнечного или другого источника тепла. Данное явление частично объясняется изменением осмотического давления при изменении температуры солевого раствора.

Выводы

Экспериментально доказана возможность создания опреснительной установки с активным элементом в виде ионообменных мембран. Установка способна эффективно работать при достаточно большой разнице температур (60-70 °С), без кипения воды, тем самым избегая образования накипи и проблем, связанных с её удалением из установки. В качестве источника энергии может использоваться любой источник тепла, в том числе солнечные батареи, отработавшие выхлопные газы, мятый пар и пр. В соединении с солнечными батареями, может быть достигнуто увеличение их КПД за счёт жидкостного охлаждения панели.

Задачей дальнейших исследований является разработка конструкций опреснительных установок, способных длительное время работать в условиях Крыма. Дополнительный интерес представляет исследование возможности использования ионообменных процессов в электролитах для генерирования электрического тока.

Библиографический список использованной литературы

1. Романовский В.И. Очистка промывных вод станций обезжелезивания / В.И. Романовский, Н.А. Андреева // Хим. и технол. неорган. веществ. — 2012. — С. 66–69.
2. Дзюбо В.В. Фильтрация подземных вод в режиме постоянных и переменных скоростей / В.В. Дзюбо // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — С. 51–58.
3. Резник Я.Е. Оптимизация ионообменной технологии: фильтрация с противоточной регенерацией / Я.Е. Резник // Аква-терм. — 2003. — С. 42–44.
4. Шеин А.Г. Связанная модель раствор-мембрана / А.Г. Шеин, А.В. Волошин // Биомедицинская радиоэлектроника. — 2006. — С. 21–25.

Поступила в редакцию 12.01.2014 г.

Фалалеев А.П., Сулейменов И.С., Авакян А.Г., Рябцев М.Ю., Шалтыкова Д.Б., Львов А.В. Дослідження ефективності термодіаліза для демінералізації води

Розроблено установку для знесолення рідини, що дозволяє проводити процес опріснення із застосуванням іонообмінних мембран. Експериментально досліджений ефект перенесення іонів за рахунок використання різниці температур розчинів. Показано, що установка здатна знижувати вміст NaCl в розчинах різної концентрації.

Ключові слова: іонний обмін, мембрана, опріснення, різниця температур.

Falaleev A.P., Suleimenov I.E., Avakian A.G., Riabtsev M.Y., Schaltikova D.B., Lvov A.V. A study of thermo dialysis efficiency for water demineralization

An installation for fluid desalting that enables the desalination process using ion exchange membranes was created. The effect of ion transfer through the use of a temperature difference in fluids was experimentally investigated. It is shown that the plant is capable of lowering the content of NaCl solutions with different concentrations.

Keywords: an ion exchange membrane, desalination, the temperature difference.