

С. Ю. ТЕПЛЫХ
Е. Е. КОТОВСКАЯ
И. В. КОРОЛЬ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОПРЕСНЕНИЯ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАБОРАТОРНОГО МОДУЛЯ ОБРАТНОГО ОСМОСА – ROUK

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS
OF THE BLACK SEA DESALINATION PROCESS USING
THE LABORATORY REVERSE OSMOSIS MODULE – ROUK

Представлена методика адаптации лабораторного модуля ROUK для проведения экспериментальных исследований по опреснению вод Черного моря. В работе освещены вопросы постановки основных задач исследования, формирования цели и изучения технологического оснащения готового лабораторного модуля с моделированием искусственной морской воды с последующим изучением и определением необходимых параметров технологического процесса обратного осмоса по давлению и расходу опресняемой воды, а также соотношению получаемых пермеатов и концентратов при различных исходных составах опресняемой воды с достижением требуемых качественных показателей.

Ключевые слова: опреснение, обратный осмос, мембрана, пермеат, концентрат, поршневого насос, теплообменник, солесодержание

The method of adaptation of the ROUK laboratory module for conducting experimental studies on the desalination of the waters of the Black Sea is presented. The paper highlights the issues of setting the main research objectives, forming a goal and studying the technological equipment of a ready-made laboratory module with artificial seawater modeling, followed by studying and determining the necessary parameters of the reverse osmosis technological process in terms of pressure and flow of desalinated water, as well as the ratio of the obtained permeates and concentrates with different initial compositions of desalinated water to achieve the required quality indicators.

Keywords: desalination, reverse osmosis, membrane, permeate, concentrate, piston pump, heat exchanger, salt content

Введение

Для южных регионов Российской Федерации одной из важнейших составляющих инфраструктурного развития является обеспечение водными ресурсами. В связи с прекращением поступления пресной воды по руслу Северо-Крымского канала было выполнено перераспределение вод центральных районов Республики Крым в маловодные районы Керченского полуострова [1–3]. Такие города, как Феодосия и Керчь, полностью питаемые из наливных водохранилищ, заполнение которых зависит от водообеспеченности центральных районов Республики Крым, испытывают дефицит водных ресурсов, что послужило стартом к поиску и рассмотрению возможности получения альтернативных источников питания, в частности возможности строительства опреснительных станций.

Станции опреснения морской воды построены и активно эксплуатируются в водо-

дефицитных государствах, таких как Израиль, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты, Испания, Кувейт, Катар, Алжир, Китай, Ливия, США, Оман [4]. Технологии опреснения получили широкое распространение и подразделяются по способу получения пресной воды на следующие методы: обратного осмоса (RO) (61,5 % от суммарного количества всех опреснительных станций); многоступенчатое мгновенное выпаривание MSF (25,9 %), многоколонная дистилляция MED (8,4 %) и электродиализ ED (3,2 %) [4]. Подробнее рассмотрим технологию опреснения при помощи обратного осмоса (RO).

Принцип действия данного метода состоит в пропуске опресняемой воды под давлением, большим осмотического, через полупроницаемые мембраны [5]. В ходе данного процесса на выходе получается два потока жидкости: опресненная вода – пермеат и соленая вода – концентрат. Установка обратного осмоса включает в себя насос для подачи воды на мембранный

блок, сам блок с устанавливаемыми мембранами и трубопроводы подачи опресняемой воды и отвода опресненной.

С вхождением Республики Крым в состав Российской Федерации и устремлении бюджетных средств в развитие инфраструктурных проектов, охватывающих различные секторы экономики, в том числе рекреационные комплексы, возникли вопросы с освоением прибрежных территорий, находящихся на значительном расстоянии от источников пресной воды, например Ленинский район Республики Крым. Это послужило поводом для поиска альтернативных источников водоснабжения, в частности опреснение морских вод методом обратного осмоса, с определением различных технологических параметров. Работы выполнялись как на производственной установке – опреснительном блоке AJ030W45 с OR2 (Китай), так и на лабораторном модуле ROUC производства компании Edibon (Испания). Первая часть исследований была направлена на определение параметров опреснения (работа с имитационными моделями морской воды Черного и Азовского морей), а вторая часть – на определение параметров снижения соледержания в воде из подземных источников (артезианских скважин) Черноморского, Раздольненского, Красноперкопского, Джанкойского районов Республики Крым. Вода из централизованных водопроводов перечисленных районов не удовлетворяет требованиям по таким показателям, как: общее соледержание, жесткость общая, содержание хлоридов и сульфатов [6, 7]. Настоящая работа посвящена вопросам опреснения морских вод.

Цель и задачи исследования – получение параметров процесса опреснения морской воды методом обратного осмоса для последующего проектирования сооружений опреснения вод Черного моря.

Основные задачи исследования. Для эффективного выполнения основных задач исследования был определен план реализации, направленный на получение экспериментальных данных, состоящий из следующих пунктов:

- моделирование состава искусственной морской воды;
- подготовка к пуску лабораторного модуля ROUC;
- выполнение предварительных исследований с целью определения окрестностей наилучших экспериментальных параметров;
- составление плана серии двухфакторных экспериментов и их проведение с последующей обработкой.

Экспериментальная часть работы реализовывалась на установке обратного осмоса и ультрафильтрации ROUC производства компании Edibon, специализирующейся на разработке учебного оборудования [8] (рис. 1).

Установка предназначена для демонстрации процесса обратного осмоса и ультрафильтрации и состоит из трехпоршневого насоса, двух трубчатых мембран, соединенных последовательно и помещенных в мембранный модуль, резервуара для сбора пермеата, резервуара исходной воды с поступлением концентрата, теплообменника. Габаритные размеры установки: 1000×800×800 мм.

Технологическая схема процесса обратного осмоса, воспроизводимая на лабораторном модуле ROUC, представлена на рис. 2.

Электродвигатель подающего поршневого насоса оборудован частотным преобразователем, позволяющим регулировать расход потока в зависимости от требуемого эффекта очистки. Насос подает поток к двум трубчатым мембранам. Раствор продолжает двигаться во внутренней части трубки, пермеат поступает от внутренней части трубки в направлении внешней, в результате на выходе получаем концентрат.



Рис. 1. Общий вид установки обратного осмоса ROUC
Fig. 1. General view of the ROUC reverse osmosis plant

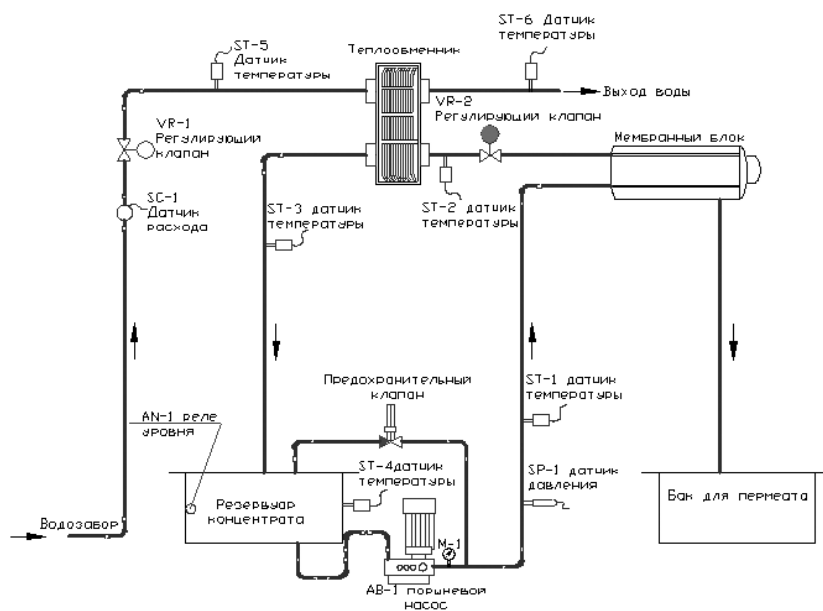


Рис. 2. Технологическая схема процесса работы обратноосмотической установки

Fig. 2. Technological scheme of the reverse osmosis plant operation process

Установка ROUC осуществляет процесс фильтрации путем перекрестного потока, при этом исключая появление примесей, что снижает пропускную способность системы. Пермеат хранится в резервуаре как окончательный продукт. Концентрат возвращается в первоначальный резервуар, для того чтобы быть использованным снова, но в связи с повышением температуры он проходит через теплообменник и поступает в емкость исходной воды.

Регулирование давления мембранного блока осуществляется с помощью красного регулирующего клапана.

Для проведения практики разделения с помощью обратного осмоса и ультрафильтрации необходимо знать две переменные потока:

- химический состав обрабатываемой жидкости;

- характеристики мембраны, чтобы понимать какую из них следует использовать в процессе: точка отсечки, определяемая как допустимая концентрация солевого состава обрабатываемой воды, и тип потока, в данном случае – перекрестный поток, что также зависит от размеров отверстий мембраны и требований, предъявляемых к пермеату. Процесс заключается в увеличении давления в зависимости от потока пермеата.

Установка ROUC включает в себя:

- мембранный модуль: две трубчатые мембраны, соединенные последовательно диаметром 12,5 мм. Площадь мембраны – 0,000122 м², внутренний объем – 75 мл; максимальное давление – 55 бар.

- трехпоршневой насос, максимальный расход $Q_{\max} = 38$ л/мин; максимальное давление $P_{\max} = 150$ бар, максимальное рабочее давление $P_{\max} = 55$ бар. Насос оборудован предохранительным клапаном для защиты всего устройства;

- два регулирующих клапана для управления потоком воды и стоком;

- пластинчатый теплообменник для концентрата;

- 6 датчиков температуры, типа «J»;

- датчик давления (0-100 бар);

- датчик потока (температура воды на входе), диапазон: 0,25-6,5 л/мин;

- датчик уровня в расходном резервуаре;

- расходный резервуар из нержавеющей стали (емкость 15 л);

- сборный резервуар из нержавеющей стали для пермеата (15 л).

Пример вывода данных, снятых датчиками, на контрольный блок устройства, представлен на рис. 3.

Таким образом, установка позволяет ознакомиться не только с технологическим процессом опреснения, но и с основными принципами действия датчиков.

Для выполнения основных задач исследования в первую очередь необходимо было определить качественные показатели морской воды в местах возможного применения реальных установок опреснения.

Средняя соленость воды Мирового океана составляет примерно 35 г/кг, в Черном море она варьируется: на поверхности 17-18 г/кг; в северо-западной части 8-13 г/кг; а у дна 22-25 г/кг, и зависит от сезона года, глубины и географи-

ческих координат. Так, в устьях рек соленость понижена за счет поступления значительных пресных вод от рек Дунай, Днестр, Буг, Днепр – северо-западная часть Черного моря, рек Кавказского побережья, вод Азовского моря, поступающие через Керченский пролив [9].

В контрольных створах по побережью Крыма от Севастополя до Керчи осущест-

вляется забор проб воды для последующего анализа, результаты определения содержания в пробах взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов и сухого остатка представлены в табл. 2. Качественный состав морских вод позволит подобрать предварительную схему очистки перед подачей опресняемой воды на мембрану [10].

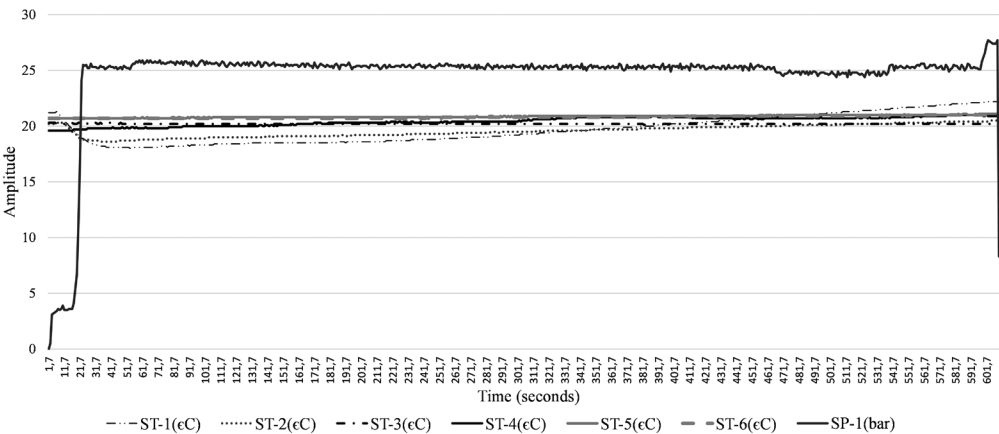


Рис. 3. Вывод показателей датчиков установки обратного осмоса ROUC
Fig. 3. Output of indicators of the sensors of the ROUC reverse osmosis plant

Таблица 1. Технологические параметры поставляемой мембраны
Table 1. Technological parameters of the supplied membrane

Тип мембраны	Ограничение по концентрации	Процесс	Максимальное давление, бар
RO1	99 % раствор NaCl	OI/RO 45	45

Таблица 2. Результаты исследования проб морской воды Черноморского побережья Республики Крым
Table 2. The results of the study of seawater samples of the Black Sea coast of the Republic of Crimea

Точка отбора проб	Взвешенные вещества, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Сухой остаток, мг/л
Г. Феодосия, пгт Курортное, на глубине 10 м	6,7	10862,8	721,5	11600,4
Г. Севастополь, пгт Балаклава	18,6	10223,8	1407,3	-
Г. Феодосия, пгт Коктебель	2,8	10543,2	1415,6	-
Г. Севастополь, Голубая бухта	15,3	10588,2	1415,5	-
Г. Феодосия, поселок Курортное	2,2	10588,92	1200,7	-
Г. Керчь, Камыш-Бурунская ТЭЦ	7,8	10513,1	1435,8	17535
Пгт Партенит, санаторий «Крым»	2,2	10680,2	1235,4	20936
Г. Керчь, Керченский рыбный порт	9,00	8497	1090	16536
Пгт Кореиз, Санаторий Мисхор	1,8	6138,5	834,6	-

В табл. 3 представлены подробные данные по качественному составу воды Черного моря.

Для моделирования состава морской воды воспользовались солями в пропорциях, указанных в табл. 3, а для подготовки навесок солей для приготовления различных концентраций подготовили расчет, размещенный в табл. 4. Для моделирования в лабораторных условиях состава морской воды в Черном море были использованы следующие соли:

▪ NaCl (хлористый натрий, поваренная соль). Cl⁻ – составляет 60,6 % или 606 мг на 1 г соли, соответственно Na⁺ – составляет 39,4 % или 394 мг на 1 г соли.

▪ CaCl₂ (хлористый кальций). Cl⁻ – составляет 64 % или 640 мг на 1 г соли, соответственно Ca²⁺ – составляет 36 % или 360 мг на 1 г соли.

▪ MgSO₄·7H₂O (сернокислый магний семиводный) Mg²⁺ – составляет 9,75 % или 97,5 мг на 1 г соли, SO₄²⁻ – составляет 39 % или 390 мг на 1 г соли.

▪ MgCl·6H₂O (хлористый магний шестиводный), Cl⁻ – составляет 35 % или 350 мг на 1 г соли, Mg²⁺ – составляет 11,8 % или 118 мг на 1 г соли.

Подготовка модельного раствора морской воды осуществлялась в следующей последовательности:

▪ в 1 л воды растворить 3,08-3,7 г MgSO₄·7H₂O, что вносит в состав искусственной морской

воды 1201-1443 мг/л сульфатов и 300-360 мг/л ионов магния;

▪ для доведения величины концентрации магния до требуемой (740-900 мг/л) необходимо растворить 3,93-4,45 г MgCl₂·6H₂O, что в итоге соответствует 763-885 мг/л ионов магния, также получаем еще 1375-1557 мг/л хлорид-ионов;

▪ для содержания ионов кальция добавим 0,6-0,7 г CaCl₂, что позволит получить 216-252 мг/л ионов кальция и добавить к уже имеющимся хлоридам 384-448 мг/л хлорид-ионов, итого получаем 1759-2005 мг/л хлоридов-ионов, и для создания полноценного варианта морской воды не хватает 8741-8995 мг/л хлорид-ионов, что достигается введением в модельный раствор 14,4-14,8 г NaCl, и получаем общее количество хлорид-ионов 10485-10972 мг/л и ионов натрия 5674-5831 мг/л;

▪ общая минерализация в искусственной воде составит 18339-19384 мг/л, что примерно соответствует морской воде Черного моря.

Для приготовления 1 л морской воды в лабораторных условиях необходимо растворить в 1 л воды: 3,08-3,70 г MgSO₄·7H₂O (эквивалент 1,50-1,80 г MgSO₄); 3,93-4,45 г MgCl₂·6H₂O (эквивалент 1,83-2,08 г MgCl₂); 0,60-0,70 г CaCl₂; 15,00-15,50 г NaCl. Результаты моделирования различных концентраций морской воды исходя из имеющихся солей представлены в табл. 4.

Таблица 3. Данные качественного состава воды Черного моря
Table 3. Data on the qualitative composition of the Black Sea water

Соли	Содержание солей в воде Черного моря	
	мг/л	% от общей массы
Хлориды Cl ⁻	10500-11000	66-65
Сульфаты SO ₄ ²⁻	1200-1400	8-8,3
Ионы кальция Ca ²⁺	220-250	1,4-1,5
Ионы магния Mg ²⁺	740-900	5-5,3
Гидрокарбонаты HCO ₃ ⁻	213-214	1,3-1,2
Ионы натрия Na ⁺	2500-2850	16,4-16,6
Ионы калия K ⁺	300-350	1,9-2,1
Итого:	15673-16964	66-65

Таблица 4. Навески солей для моделирования различных концентраций солености морской воды
Table 4. Salt samples for modeling different concentrations of salinity of seawater

Соли	Расчетный состав солей в растворе, г/л					
	8	10	12	14	16	20
Сернокислый магний семиводный MgSO ₄ ·7H ₂ O	1,52	1,9	2,29	2,66	3,03	3,81
Хлористый магний шестиводный MgCl ₂ ·6H ₂ O	1,82	2,29	2,76	3,2	3,65	4,58
Хлористый кальций CaCl ₂	0,29	0,36	0,43	0,5	0,58	0,72
Хлористый натрий NaCl	6,47	8,0	9,61	11,16	12,71	15,97

Для определения эффективности опреснения воды, после проведения эксперимента по опреснению искусственной морской воды пропуском ее через мембранный блок установки обратного осмоса, из емкости сбора пермеата отбирали 50 мл полученного фильтрата (пермеата) с помощью пипеток в предварительно взвешенную емкость. После этого проводилось выпаривание исследуемого раствора на водяной бане [11], определялась масса полученной емкости с оставшимися твердыми веществами. Взвешивание пустой емкости, а также емкости после процесса выпаривания производилось на электронных весах. Зная значения массы емкости в чистом виде и получив значения с содержанием твердых частиц, путем простого вычитания одного значения из другого определили содержание примесей в 50 мл отобранной пробы пермеата; путем умножения полученного значения на 20 определяли концентрацию примесей на один литр пермеата, что позволило определить эффективность процесса опреснения. В табл. 5 представлены результаты первичной серии экспериментов по опреснению искусственной морской воды.

Графики эффективности процесса опреснения в зависимости от расхода при различных исходных концентрациях соледождения представлены на рис. 4, а эффективности процесса опреснения в зависимости от давления при различных исходных концентрациях соледождения – на рис. 4, б.

Анализ полученных графиков показал, что с увеличением рабочего давления снижается эффективность опреснения, а с повышением исходного соледождения уменьшается объем пермеата и соответственно растет объем концентрата и его соледождение.

После определения предварительных параметров осуществили переход к двухфакторному планированию эксперимента [12]. Условия проведения эксперимента приведены в табл. 6.

Матрица планирования полного двухфакторного эксперимента, полученные опытные и расчетные данные приведены в табл. 7

По полученным аналитическим выражениям были построены номограммы определения эффекта очистки в зависимости от варьируемого соледождения и изменяемого объема подаваемой воды на опреснение (рис. 5, а), а также график зависимости эффективности очистки от варьируемого соледождения и изменяемого рабочего давления (рис. 5, б).

Полученные технологические параметры процесса опреснения имитационных моделей вод Черного моря позволяют перейти к разработке технологической схемы опреснения реальных вод Черного моря с выявленными параметрами рабочего давления и выявленными соотношениями объемов пермеата и концентрата. Объемы пермеата и необходимое рабочее давление накладывают определенное ограничение на применение опреснительных установок, которые не позволяют получить расходы, необходимые для водоснабжения значительных рекреационных комплексов. Тем не менее небольшие кемпинги, с незначительным потреблением воды, возможно обеспечить опресняемой водой. Еще одним фактором, сдерживающим применение установок опреснения, являются не только значительные величины потребляемой электроэнергии, но и значительные объемы сбрасываемых концентратов [13, 14].

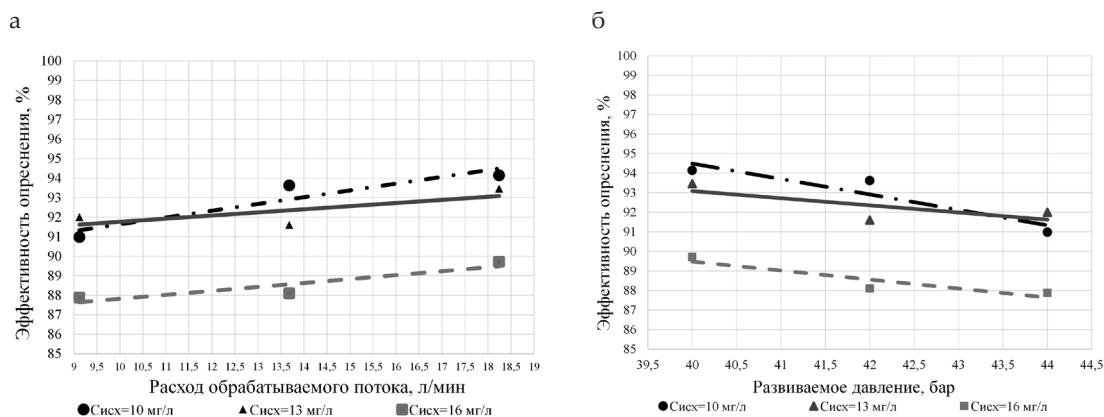


Рис. 4. Графики зависимости эффективности опреснения:

а – от расхода подаваемого потока для трех значений концентраций исходного соледождения;

б – от подаваемого давления для трех значений концентраций исходного соледождения

Fig. 4. Graphs of the dependence of the desalination efficiency:

а – on the flow rate of the supplied stream for three values of the initial salinity concentrations;

б – on the supplied pressure for three values of the initial salinity concentrations

Таблица 5. Результаты первичной серии экспериментов
Table 5. Results of the initial series of experiments

№ опыта	Объем модельного раствора V, л	Исходное солесодержание в модельном растворе $C_{исх}$, г/л	Q, %	Давление подаваемого потока на мембрану P, МПа	Временной период действия установки t , мин	Объем полученного пермеата $V_{перм}$, мл	Солесодержание в полученном пермеате C, г на 50 мл отобранной пробы	Солесодержание в полученном пермеате C, г на 1000 мл	Эффективность опреснения Э, %
1	10	10	24	44	10	170	0,0451	0,902	90,98
2	10	10	36	42	10	195	0,0319	0,638	93,62
3	10	10	48	40	10	210	0,0293	0,586	94,14
4	10	13	24	44	10	150	0,0520	1,04	92,00
5	10	13	36	42	10	180	0,0546	1,092	91,60
6	10	13	48	40	10	190	0,0425	0,85	93,46
7	10	16	24	44	10	120	0,0970	1,94	87,88
8	10	16	36	42	10	135	0,0952	1,904	88,10
9	10	16	48	40	10	140	0,0823	1,646	89,71

Таблица 6. Основные характеристики плана эксперимента
Table 6. Results of the initial series of experiments

Показатель	Первая серия экспериментов		Вторая серия экспериментов	
Характеристика	X_1	X_2	X_1	X_2
Основной уровень	13	13,68	13	42
Интервал варьирования	3	4,56	3	2
Верхний уровень	16	18,24	16	44
Нижний уровень	10	9,12	10	40

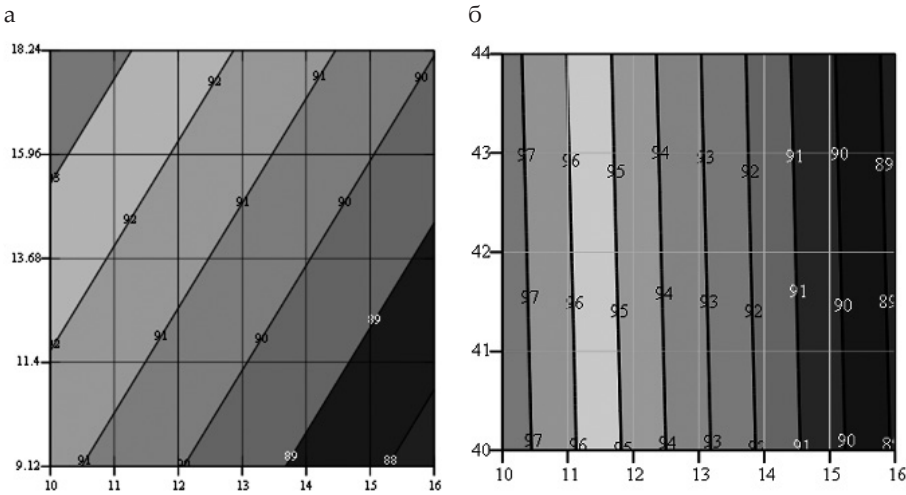


Рис. 5. Контурные графики зависимости эффективности опреснения:
а – при переменных концентрациях солесодержания и переменных значениях расхода подаваемой воды;
б – при переменных концентрациях солесодержания и переменных значениях давления
Fig. 5. Contour graphs of the dependence of desalination efficiency:
а – at variable concentrations of salinity and variable values of the flow rate of supplied water;
б – at variable concentrations of salinity and variable pressure values

Таблица 7. Матрица планирования, опытные и расчетные данные
Table 7. Planning matrix, experimental and calculated data

№ опыта	X_0	План		Солесодержание C, г/л	Подаваемый расход Q, %	Опытные значения эффекта очистки, %			Расчетные значения	
		X_1	X_2			Y_1	Y_2	Y	S_i^2	Y^p
Первая серия экспериментов										
1	1	-1	-1	10	9,12	90,38	91,58	90,98	0,72	91,3125
2	1	1	-1	16	9,12	87,18	88,58	87,88	0,98	87,5475
3	1	-1	1	10	18,24	93,44	94,84	94,14	0,98	93,8075
4	1	1	1	16	18,24	89,21	90,21	89,71	0,5	90,0425
Вторая серия экспериментов										
	X_0	X_1	X_2	Солесодержание C, г/л	Расчетное давление, МПа	Y_1	Y_2	Y	S_i^2	Y^p
1	1	-1	-1	10	40	96,19	97,53	96,86	0,905858	97,56
2	1	1	-1	16	40	90,49	88,93	89,71	1,2168	88,795
3	1	-1	1	10	44	98,93	97,59	98,26	0,8978	97,56
4	1	1	1	16	44	87,19	88,57	87,88	0,9522	88,795

Таблица 8. Сводные результаты серии экспериментов
Table 8. Summary results of a series of experiments

Показатель	Значение показателей для серии опытов	
	№1	№2
Расчетное значение критерия Кохрена G_p	0,308	0,306
Табличное значение критерия Кохрена $G_{табл}$	0,9065	0,9065
Ошибка опыта S_0^2	0,8	0,99
Расчетные значения коэффициентов регрессии b_i :		
b_0	90,6775	93,1775
b_1	-1,8825	-4,3825
b_2	1,2475	-0,1075
Дисперсия коэффициентов S_{bi}^2	0,2	0,248
Доверительный интервал $S_{bi} \cdot t$	1,24	1385
Функция отклика (математическая модель)	$Y = 90,68 - 1,88X_1 + 1,25X_2$	$Y = 93,1775 - 4,3825X_1 - 0,1075X_2$
Расчетные значения функции отклика Y_i :		
Y_1^p	91,3125	97,6675
Y_2^p	87,5475	88,9025
Y_3^p	93,8075	97,4525
Y_4^p	90,0425	88,6875
Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	0,8844	2,60823
Расчетное значение критерия Фишера F_p	1,1	2,62
Табличное значение критерия Фишера F_t	7,71	6,94
Уравнение регрессии	$y = 90,6775 - 1,8825 \times ((x_1 - 13) / 3) + 1,2475 \times ((x_2 - 13,68) / 4,56) = 95,0925 - 0,6275x_1 + 0,2736x_2$	

Выводы. 1. Рассмотрены технологические возможности лабораторного модуля ROUK от компании Edibon.

2. Представлена методика приготовления искусственной морской воды, имитирующей состав воды Черного моря.

3. Показаны результаты предварительных экспериментов по определению технологических параметров: рабочего давления, соле-содержания, подаваемой воды на опреснительную установку, объемов и концентраций пермеата и концентрата.

4. Выполнен переход к двухфакторному планированию с проведением экспериментов и обработкой экспериментальных данных с получением аналитических выражений и построением поверхностей отклика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стрелков А.К., Котовская Е.Е., Теплых С.Ю. Определение эффективности очистки воды поверхностных источников централизованного водоснабжения от органических загрязнений на примере г. Симферополя // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 35–45. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.7.

2. Теплых С.Ю., Котовская Е.Е., Горшкалев П.А., Гайдайчук М.Г. Разработка модульных комплексов очистки воды Северо-Крымского канала для полива сельскохозяйственных культур // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, №1. С. 34–45. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.01.05.

3. Теплых С.Ю., Котовская Е.Е., Горшкалев П.А. Совершенствование технологии очистки питьевой воды на водопроводных очистных сооружениях Чернореченского водохранилища в паводковый период // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, №3. С. 49–54. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.06.

4. Николенко И. В., Котовская Е.Е., Король И.В. Пути повышения энергетической эффективности при опреснении морской воды по технологии обратного осмоса // Экономика строительства и природопользования. 2017. № 3(64). С. 80–87.

5. Боронина Л.В. Теоретические вопросы обратного осмоса и адсорбции при очистке многокомпонентных растворов // Градостроительство и архитектура. 2013. №2 (10). С. 54–60.

6. Николенко И. В., Котовская Е.Е., Луд Н.В. Анализ влияния качественного состава питьевых вод в Республике Крым на здоровье населения // Строительство и техногенная безопасность. 2022. Вып. 27(79). С. 125–143.

7. Захаров Р. Ю., Волкова Н.Е., Подовалова С.В. Оценка качества подземных вод Черноморского района // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 1–2(82–83). С. 158–167.

8. Устройство обратного осмоса / ультрафильтрация [Электронный ресурс]. URL: <https://advtechno.ru/food-water/food-basic/rouc/> (дата обращения: 31.08.2024).

9. Справочное издание. Проект «Моря СССР» Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Техническая книга, 1991. 426 с.

10. Получение воды питьевого качества для населенных пунктов Черноморского побережья / В. В. Бирюк, М. Ю. Анисимов, П. А. Горшкалев, Теплых С.Ю., Шершакова А.А. // Вестник Международной академии холода. 2019. №4. С. 26–31. DOI 10.17586/1606-4313-2019-18-4-26-31.

11. Кульский Л.А., Горановский И.Т., Когановский Л.М., Шевченко М.А. Справочник по методам анализа и очистки воды. Киев: Наукова думка, 1980. 1205 с.

12. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. М.: Изд-во АСВ, 2003. 230 с.

13. Николенко И. В., Котовская Е.Е., Фурасов А.В. Экологические проблемы опреснения обратным осмосом // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды: сб. ст. Уфа, 2018. С. 143–156.

14. Первов А. Г., Андрианов А.П., Головесов В.А. Со-временные решения по опреснению морской и под-земной воды: сокращение энергозатрат и утилиза-ция концентратов // Строительство и техногенная безопасность. 2019. Вып. 15(67). С. 169–187.

REFERENCES

1. Strelkov A. K., Kotovskaya E.E., Teplykh S.Yu. Determination of the effectiveness of water purification from surface sources of centralized water supply from organic pollutants on the example of Simferopol. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2017, vol. 7, no. 3(28). pp. 35–45. (in Russian) DOI 10.17673/Vestnik.2017.03.7

2. Teplykh S.Yu., Kotovskaya E.E., Gorshkalev P.A., Gaydaychuk M.G. Development of Modular Cleaning Complexes Water of the North Crimea Canal for Watering Agricultural Crops. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 34–45. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.01.05

3. Teplykh S.Yu., Kotovskaya E.E., Gorshkalev P.A. Improving the technology of drinking water purification at the water treatment facilities of the Chernorechensk reservoir during the flood period. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2024. vol.14, no. 3, pp.49–54. (in Russian) DOI: DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.06

4. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Korol I.V. Ways to increase energy efficiency in the desalination of seawater using reverse osmosis technology. *Economica stroitel'stvo i prirodoopol'zovanie: sb. nauch. trudov. Simferopol': ASiA*» [Economics of construction and environmental management: Sat. scientific works. Simferopol: ASiA], 2017, iss. 3(64), pp. 80–87. (In Russian).

5. Boronina L.V. Surface sources of centralized Drinking water supply: their purification from biocontamination and purification efficiency determination (with the city of Simferopol taken as an example). *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2013, vol. 3, no. 2, pp. 54–60. (in Russian)

6. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Lud N.V. Analysis of the influence of the qualitative composition of drinking water in the Republic of Crimea on public health. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'* [Construction and technogenic safety], 2022, no. 27(79), pp. 125–143. (in Russian)

7. Zakharov R.Yu., Volkova N.Ye., Podovalova S.V. Assessment of the quality of groundwater in the Chernomorsky region. *Economica stroitel'stvo i prirodozovnanie: sb. nauch. trudov. Simferopol': ASiA* [Economics of construction and environmental management: Scientific works. Simferopol: ASiA], 2022, iss. 1–2, pp. 82–83. (In Russian).

8. Reverse Osmosis/ Ultrafiltration device. Available at: <https://adv-techno.ru/food-water/food-basic/rouc/> (accessed 24 July 2024).

9. *Spravochnoe izdanie. Proekt «Morja SSSR» Gidrometeorologija i gidrokhimija morej SSSR. Tom IV. Chernoe more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie uslovija* [Reference edition. Project “Seas of the USSR” Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Volume IV. Black Sea. No. 1. Hydrometeorological conditions]. Leningrad, Technical Book, 1991. 426 p.

10. Biryuk V.V., Anisimov M.Yu., Gorshkalev P.A., Teplykh S.Yu., Shershakova A.A. Obtaining drinking water for settlements of the Black Sea coast. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda* [Bulletin of the International Academy of Cold], 2019, no. 4, pp. 26–31. (in Russian) DOI 10.17586/1606-4313-2019-18-4-26-31

11. Kul'sky L.A., Goranovsky I.T., Koganovsky L.M., Shevchenko M.A. *Spravochnik po svoystvam metodam analiza i ochistki vody v 2-h chastjah* [Handbook of properties of methods of analysis and purification of water in 2 parts]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1980. 1205 p.

12. Kichigin V.I. *Modelirovanie processov ochistki vody* [Modeling of water treatment processes]. Moscow, ASV, 2003. 230 p.

13. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Furasov A.V. Environmental problems of reverse osmosis desalination. *Vodosnabzhenie, vodoootvedenie i sistemy zashchity okruzhajushhej sredy: sbornik statei* [Water supply, water disposal and environmental protection systems: collection of articles]. Ufa, 2018, pp. 143–156. (In Russian).

14. Pervov A.G., Andrianov A.P., Golovesov V.A. Modern solutions for desalination of seawater and groundwater: reduction of energy consumption and utilization of concentrates. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'* [Construction and technogenic safety], 2019, no. 15(67), pp.169–187. (in Russian)

Об авторах:

ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: lana2802@mail.ru

TEPLYKH Svetlana Yu.

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Professor of the Water Supply
and Sanitation Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: lana2802@mail.ru

КОТОВСКАЯ Елена Евгеньевна

старший преподаватель кафедры инженерных систем в строительстве
Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского
295050, Россия, г. Симферополь, ул. Киевская, 181
E-mail: elevkot@gmail.com

KOTOVSKAYA Elena Ev.

Senior Lecturer of the Engineering Systems
in Construction Chair
Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky
295050, Russia, Simferopol, Kievskaya st., 181
E-mail: elevkot@gmail.com

КОРОЛЬ Илья Владимирович

инженер по водоснабжению отдела обследований и изысканий ООО «РТГК-ЦЕНТР»
295050, Россия, г. Симферополь, ул. Никонорова, 11
E-mail: elijah.etc@mail.ru

KOROL Ilya V.

Engineer of the Water Supply, Survey and Survey Division
LLC RTGK-CENTER
295050, Russia, Simferopol, Nikonorova st., 11
E-mail: elijah.etc@mail.ru

Для цитирования: Теплых С.Ю., Котовская Е.Е., Король И.В. Определение технологических параметров процесса опреснения вод Черного моря с использованием лабораторного модуля обратного осмоса – ROUK // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 4. С. 82–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.12.

For citation: Teplykh S.Yu., Kotovskaya E.E., Korol I.V. Determination of technological parameters of the Black sea desalination process using the laboratory reverse osmosis module – ROUK *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 4, pp. 82–91. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.12.