

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ДИСТИЛЛЯТА ФИЛЬТРОВАНИЕМ ЧЕРЕЗ ГРАНУЛИРОВАННЫЕ ПРИРОДНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Рукобратский Н. И., Малыгин К. А.

MINERALIZATION OF DISTILLATE BY FILTRATION THROUGH GRANULATED NATURAL MINERALS

Rukobratsky N. I., Malygin K. A.

Аннотация

Приведены данные по минерализации дистиллята фильтрованием через гранулированные природные минералы: мрамор, доломит, гипс, смесь доломита и гипса. Рассмотрено влияние скорости фильтрования, температуры и содержания углекислого газа на обогащение дистиллята ионами Ca^{2+} , Mg^{2+} . Фильтрование дистиллята без предварительного введения CO_2 через мраморную, доломитовую загрузку обеспечивает его насыщение солями жесткости до 0,2–0,3 мг-экв./л. Наилучшие результаты по минерализации дистиллята до требований, предъявляемых к питьевой, получены при фильтровании через загрузку — смесь доломита и гипса, фракционном составе зерна доломита 1–3 мм, гипса 60–70 мм. На основании проведенных исследований разработан и испытан опытный образец фильтра-минерализатора производительностью 1 м³/час, обеспечивающий насыщение дистиллята ионами Ca^{2+} , Mg^{2+} до требований ГОСТ 2.1.4.1074–01 «Вода питьевая...». Фильтр-минерализатор предназначен для использования на нефте-газодобывающих буровых платформах, а также других автономных объектах.

Ключевые слова: минерализация, дистиллят, доломит, гипс, автономный объект, питьевая вода.

Введение

В настоящее время наблюдается интенсивное освоение месторождений нефти и газа на арктическом шельфе морей и океанов. Добыча углеводородов производится вахтовым методом на морских плавучих самоподъёмных полупогружных и стационарных буровых установках. Обеспечение работников буровых платформ доброкачественной питьевой водой является одним из важнейших условий их жизнедеятельности. Решение этой задачи возможно путем доставки питьевой воды, но это не всегда целесообразно по двум причинам: необходимости постоянно пополнять запасы питьевой воды во время экс-

Abstract

The article presents data on the mineralization of distillate filtration through granular natural minerals: marble, dolomite, gypsum, dolomite mixture and gypsum, the effect of filtration rate, temperature and carbon dioxide content on the enrichment of distillate ions Ca^{2+} , Mg^{2+} . Filtration of distillate without preliminary introduction of CO_2 through marble, dolomite loading provides its saturation with hardness salts up to 0,2–0,3 mg-eq./l. The best results in mineralization of the distillate to the requirements for drinking, obtained by filtration through loading of a mixture of dolomite and gypsum, the fractional composition of the grains of dolomite 1–3 mm, plaster 60–70 mm. On the basis of the research developed and tested a prototype of the filter-mineralizer with the capacity of 1 m³/h, ensuring the saturation of the distillate with ions Ca^{2+} , Mg^{2+} to the requirements of GOST 2.1.4.1074–01 “Drinking Water...”. Filter mineralizer is designed for use on oil and gas drilling platforms, as well as other autonomous objects.

Keywords: mineralization, distillate, dolomite, gypsum, autonomous object, drinking water.

плуатации платформы и обеспечивать гарантированное качество воды в период ее хранения.

Более предпочтительным представляется получение питьевой воды на платформе путем обогащения опреснённой воды солями и последующей ее дезодорацией и обеззараживанием. В настоящее время процессы дезодорации питьевой воды с помощью сорбентов и обеззараживания обработкой УФО являются достаточно изученными и широко применяются при кондиционировании питьевой воды. В свою очередь, процесс минерализации дистиллята представляет собой весьма сложную как в технологическом, так и технико-экономическом плане задачу и нужда-

ется в дальнейших исследованиях особенно применительно к автономным объектам.

Предмет, задачи и методы исследований

Для решения различных технологических задач буровые платформы оснащаются опреснительными установками морской воды.

При опреснении морской воды практически любыми методами ее физико-химическая структура существенно деформируется как по макро-, так и по микрокомпонентному составу [1, 8, 11, 18]. Получаемый дистиллят является физиологически неполноценной и даже вредной водой (особенно при длительном ее употреблении). Опресненная дистилляцией вода имеет неприятный привкус и запах. В дистилляте почти полностью отсутствуют важные в гигиеническом отношении ингредиенты — кальций, фтор, бикарбонаты и др. Употребление такой воды приводит к нарушению водно-солевого обмена (в основном за счет вымывания из организма отдельных солей), а также к биохимическим и морфологическим изменениям слизистых оболочек желудочно-кишечного тракта и ведет к нарушению пищеварения и деятельности желез внутренней секреции [9, 17, 18]. Задача формирования требуемого качественного состава воды часто решается путем поиска наиболее дешевых и доступных методов корректировки ее солевого состава с последующей проверкой выбранного метода санитарно-гигиеническим требованиям [11–15, 17, 18]. Эльпинер Л. И. при формировании солевого состава питьевой воды предложил взять за основу воду Москвы-реки [18].

В результате исследований Жолуса Б. И. установлен минимальный уровень соледержания для питьевой воды автономных объектов — 100 мг/л [1, 14]. Норматив физиологической полноценности питьевой воды по показателю общей минерализации определен в пределах 100–1000 мг/л [4, 5]. Оптимальным уровнем минерализации многие исследователи считают 200–400 мг/л [15, 17, 18].

В настоящее время известны следующие методы минерализации [2, 6, 16–18]:

- введение морской воды
- введение доз солей в виде таблеток или растворов;
- фильтрование через природные гранулированные материалы.

Метод введения солей достаточно [6, 16, 18] трудоемкий и не гарантирует стабильности заданных уровней минерализации. Эксплуатация минерализаторов выявила следующие недостатки:

- большую трудоемкость и сложность обслуживания;
- высокую стоимость оборудования.

Минерализация морской водой в практике водоснабжения автономных объектов распространение не получила по причине возможного отравления организма человека токсичными микроэлементами: бором и бромом [18].

Фильтрование через природные гранулированные материалы отличается простотой в реализации, а используемые фильтрующие материалы сравнительно недорогие и недефицитные.

Для обоснования технологических параметров процесса минерализаций этим методом были выполнены исследования на лабораторной установке (рис. 1).

В емкость 1 заливался дистиллят, физико-химические показатели которого соответствовали ГОСТ 6709–72 «Вода дистиллированная». Дистиллят из емкости 1 насосом 3 направлялся в фильтр-минерализатор 5 с загрузкой из гранулированных природных минералов. В качестве корпуса для загрузки использовался цилиндрический сосуд диаметром 80 мм, снабженный снизу и сверху дренажными пластинами для фиксирования загрузки и равномерного распределения обрабатываемой воды по сечению фильтра, крышкой и дном для загрузки изучаемых материалов, а также патрубками для подвода и отвода воды. Расход воды регулировался с помощью насоса 3 и контролировался по ротаметру 4, а также замерами объемным методом с помощью мерной посуды и секундомера.

Для определения в воде содержания ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , CO_2 , pH и температура воды отбирались пробы во время каждого опыта обработки воды. Физико-химические анализы проб воды проводились по стандартным методикам [3].

Из наиболее доступных природных минералов исследовались: доломит, мрамор, гипс.

Доломит является весьма распространенным минералом. В данной работе использовался доломит следующего химического состава

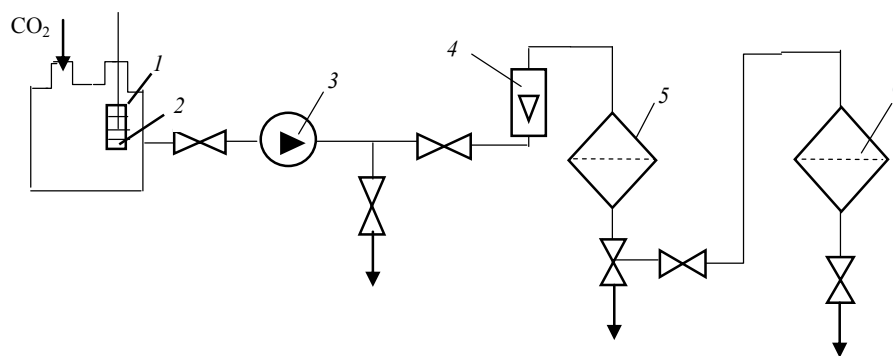


Рис 1. Схема лабораторной установки:
1 — емкость, объемом 20 л; 2 — нагреватель с автоматическим отключением по датчику температуры; 3 — перистальтический насос; 4 — ротаметр; 5 — фильтр-минерализатор;
6 — фильтр с сорбционной загрузкой

(%): CaCO_3 — 50,3; MgCO_3 — 38,6; SiO_2 — 8,3; Al_2O_3 — 1,37; Fe_2O_3 — 0,62. Его удельный вес в кристаллической форме — 2,8...2,9 г/см³, насыпной вес — 1,3 г/см³.

Мрамор состоит полностью из CaCO_3 с небольшими примесями соединений магния, железа, марганца и др. (удельный вес — 2,8 г/см³, насыпной вес — 1,3 г/см³). В нем практически отсутствуют MgCO_3 , который обладает большей растворимостью, чем CaCO_3 .

Гипс состоит преимущественно из CaSO_4 с примесями (до 10 %) соединений кремния и алюминия. В данной работе использовался гипс Новомосковского месторождения, хрупкий минерал, большей частью блестящий и полупрозрачный с жилками посторонних включений. Растворимость его при 20 °С составляет 2,2 г/л и достигает максимума при температуре 50 °С.

Смесь доломита с гипсом представляет интерес тем, что позволяет регулировать количество растворенных веществ, изменяя контакт соотношение этих минералов в смеси и их размеры (площадь контакта с водой).

Материалы, выбранные для исследований, предварительно измельчались до размеров не более 3 мм (гипс до 10...20 мм). Загруженный материал предварительно промывали и взрыхляли снизу вверх водой до полного выноса из него мелких частиц.

Результаты исследований и обсуждения

Для выявления факторов, влияющих на минерализацию дистиллята, были проведены предварительные эксперименты. Результаты лабора-

торных исследований фильтра-минерализатора представлены в табл. 1.

Из данных (табл. 1) видно, что использование мрамора для обогащения дистиллята солями жесткости малоэффективно. Даже при самой маленькой скорости фильтрования (1 м/ч) концентрация солей жесткости достигает лишь 0,2...0,3 мг-экв./л. Увеличение температуры дистиллята до 50 °С увеличивает растворимость мрамора лишь на ~30 %. Растворимость в дистилляте доломита выше, чем мрамора, но также недостаточна, даже при температуре дистиллята + 50 °С.

Дистиллят обычно содержит растворимый CO_2 и имеет слабокислую реакцию pH 5,0. При содержании в дистилляте около 30 мг/л CO_2 количество солей жесткости в профильтрованной воде достигает необходимого уровня (2...4,5 мг-экв./л). Во всех случаях отмечалась корректировка водородного показателя pH до величин, рекомендуемых СанПин 2.1.4.1074-01 «Вода питьевая...» (pH 6,0...9,0).

При наличии в дистилляте углекислоты у мрамора и доломита существенно повышалась растворимость. Способность повышать pH у доломита несколько выше, чем у мрамора.

Экспериментальные исследования минерализации дистиллята минералами (мрамор, доломит, гипс, смесь гипса и доломита) и обработка их результатов проводилась с использованием методов многофакторного планирования экспериментов.

В качестве факторов, значимо влияющих на процесс насыщения дистиллята солями жесткости, были приняты:

V — скорость фильтрования, м/ч (X_1);
 T — температура дистиллята, °С (X_2);
 C — содержание CO_2 в дистилляте мг/л (X_3)
 Содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (Y).

Эксперименты проводились по плану 2^3 и предполагалось, что исходная модель исследуемого процесса является линейной и может быть представлена полиномом первого порядка. Проверка матрицы планирования эксперимента на ортогональность показала, что с ее помощью можно производить независимую оценку коэффициентов полинома. Для уменьшения влияния на результат неконтролируемых параметров при одних и тех же условиях проводились 2 параллельных опыта. Последовательность опытов выбиралась с помощью таблицы случайных чисел. В табл. 2 представлены уровни и интервал варьирования факторов, влияющих на минерализацию дистиллята.

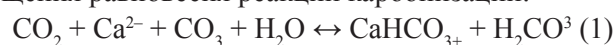
В результате расчетов и после перевода значений факторов из кодированных в натуральные получены математические модели:

Для экспериментов по плану 1:
 $Y_n = 20,5 - 8V + 0,5T + 0,9C.$

Для экспериментов по плану 2:
 $Y_n = 4,3 - 0,27V + 0,07T + 0,3C.$

Для экспериментов по плану 3:
 $Y_n = 19,53 - 6V + 0,45T + 0,9C.$

Из этих уравнений следует, что увеличение расхода воды отрицательно влияет на процесс минерализации (так как уменьшается время контакта дистиллята с минералами) и усиливается с повышением температуры и концентрации CO_2 . Увеличение растворения происходит за счет смещения равновесия реакции карбонизации:



Расчетным путем подтверждены однородность дисперсии, значимость факторов и адекватность математических моделей, описываемых процессов в диапазоне параметров, приведенных в табл. 2.

Среди природных материалов, способных обогащать солями контактирующую с ним воду, гипс является наиболее растворимым. Поэтому

Таблица 1

Минерализация дистиллята мрамором и доломитом

Дистиллят				Минерализованный дистиллят	
Скорость фильтрования, м/ч	Температура, °С	Содержание CO_2 , мг/л	pH	Жестокость в перерасчете на Ca^{2+} , мг/л	pH
Загрузка фильтра — мрамор					
1,0	20	2,0	6,5	5,0	8,0
2,0	20	2,0	6,5	5,0	8,0
2,5	20	2,0	6,5	5,0	7,8
5,0	20	2,0	6,5	5,0	7,5
1,0	50	1,0	6,5	6,5	8,5
2,0	50	1,0	6,5	6,5	8,3
1,0	20	30	4,9	90	7,0
1,0	20	30	5,2	66	7,1
1,0	20	30	5,5	55	7,5
2,5	20	30	4,9	80	6,9
2,5	20	30	5,5	40	7,3
2,5	20	30	5,2	50	7,0
Загрузка фильтра — доломит					
1,0	20	2,0	6,5	6,0	8,0
2,0	20	2,0	6,5	5,2	7,6
5,0	20	2,0	6,5	4,8	7,2
1,0	50	1,0	6,6	8,0	8,3
2,0	50	1,0	6,0	7,5	8,2
1,0	20	25	6,6	45	7,7
2,0	20	25	6,6	40	7,6
1,0	20	50	5,3	70	7,3
2,0	20	50	5,3	58	7,2

Таблица 2

Уровни и интервал варьирования факторов

Наименование факторов	Кодированное значение фактора	Интервал варьирования	Верхний уровень (+1)	Нулевой уровень	Нижний уровень
1	2	3	4	5	6
1. Загрузка фильтра — мрамор, содержание в дистилляте CO ₂ 30 ÷ 80 мг/л					
1.1 Скорость фильтрации <i>V</i> , м/ч	X_1	0,75	2,5	1,75	1,0
1.2 Температура воды <i>T</i> , °С	X_2	15	50	35	20
1.3 Содержание CO ₂ в воде <i>C</i> , мг/л	X_3	25	30	55	80
2. Загрузка фильтра — доломит, содержание в дистилляте CO ₂ 1 ÷ 2 мг/л					
2.1 Скорость фильтрации <i>V</i> , м/ч	X_1	2,0	5,0	3,0	2,0
2.2 Температура воды <i>T</i> , °С	X_2	15	50	35	20
2.3 Содержание CO ₂ в воде <i>C</i> , мг/л	X_3	0,5	2,0	1,5	1,0
3. Загрузка фильтра — доломит, содержание в дистиллятах CO ₂ 25 ÷ 50 мг/л					
3.1 Скорость фильтрования <i>V</i> , м/ч	X_1	0,5	2,0	1,5	1,0
3.2 Температура воды <i>T</i> , °С	X_2	15	50	35	20
3.3. Содержание CO ₂ в воде <i>C</i> , мг/л	X_3	12,5	50	37,5	25

при использовании для минерализации дистиллята гипса следует либо увеличивать скорость фильтрования для того, чтобы минерализовать большое количество воды в единицу времени, либо уменьшать поверхность контакта дистиллята с гипсом при смешении, например, с мрамором или доломитом.

Наиболее характерные данные по способности гипса насыщать воду ионами Ca²⁺ и SO₄²⁻ приведены в табл. 3. Исследования проводились на дистилляте с содержанием иона Ca²⁺ — 6 мг/л, рН 6,7, *T* = 20 °С и скорости фильтрования 5 м/ч. В эксперименте высота слоя загрузки составляла 250 мм, масса 180 г.

При анализе полученных данных видно, что при *V* = 5 м/ч, крупных размерах загрузки и небольшой высоте слоя гипса в фильтре концентрация Ca²⁺ намного превышала требуемую, при этом гипс практически не влиял на величину водородного показателя рН фильтрата. Содержание Ca²⁺ с течением времени снижалось из-за уменьшения загрузки в фильтре (площади контакта).

Как показали исследования, повышение уровня минерализации дистиллята до требований, предъявляемых к питьевой воде, возможно двумя способами: насыщением дистиллята CO₂ перед фильтрованием и использованием фильтра-минерализатора со смешанной загрузкой. Насыщение дистиллята CO₂ требует дополни-

тельного оборудования и приводит к усложнению системы кондиционирования воды. Поэтому для повышения жесткости воды до рекомендуемых величин в загрузку фильтра-минерализатора был добавлен 2-й компонент — природный гипс (CaSO₄ × 2H₂O).

При использовании смеси гипса и доломита гипс загружался в фильтр не в виде мелких зерен размером 1–3 мм, как мрамор или доломит, а крупными кусками. Из нескольких размеров был выбран оптимальный размер кусков в 60–70 мм. Пространство между кусками гипса заполнялось доломитом с размерами зерен 1–3 мм. В этом случае уменьшение удельной поверхности контакта с водой загруженного гипса при фильтровании, согласно экспериментам, ведет к уменьшению скорости его растворения. Такая смесь была испытана в условиях, аналогичных испытаниям чистого гипса и скорости фильтрования 2,5 м/ч (табл. 3). Отличие состояло в том, что загрузка составляла из доломита (70 %) и гипса (30 %). Результаты испытаний приведены в табл. 4.

При работе фильтра-минерализатора со смешанной загрузкой и скорости фильтрования 2,5 м/ч, обработанная вода приобретала жесткость до 3 мг-экв./л и рН, обработанной воды повышался до 7,1–7,7.

На основании полученных результатов экспериментов был разработан опытный образец

Таблица 3
Минерализация дистиллята фильтрованием через гранулированный гипс

Время фильтрования, ч	Вода после минерализации		
	Концентрация Ca ²⁺ , мг/л	Концентрация SO ₄ ²⁻ , мг/л	Водородный показатель, pH
4	390	950	7,0
8	350	850	7,0
12	335	800	7,0
16	250	580	6,9
20	200	500	6,9
24	180	440	6,9
28	175	400	6,9
32	175	400	6,9
36	150	360	6,8
40	145	340	6,8
44	110	260	6,7
48	90	210	6,7
52	80	190	6,7
56	80	185	6,7
60	70	170	6,7
64	65	150	6,7

фильтра-минерализатора производительностью до 1 м³/ч [10].

При испытаниях опытного образца фильтра в качестве исходной использовалась обессоленная вода с общим содержанием не более 10 мг/л, получаемая с помощью обратноосмотической установки, и производился контроль производительности фильтра-минерализатора, температуры воды, электропроводности и содержания

Таблица 4
Минерализация дистиллята фильтрованием через загрузку: доломит и гипс

Время фильтрования, ч	Вода после минерализации		
	Концентрация Ca ²⁺ , мг/л	Концентрация SO ₄ ²⁻ , мг/л	Водородный показатель, pH
8	64	140	7,6
16	57	135	7,6
24	53	125	7,6
32	52	120	7,6
40	51	120	7,5
48	50	115	7,5
56	50	115	7,5
64	48	110	7,5
72	47	110	7,5
80	45	105	7,3
88	45	105	7,3
96	43	95	7,3
104	42	90	7,2
112	42	95	7,2
120	41	90	7,1
128	41	90	7,1

основных ионов Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, pH. Результаты экспериментов представлены на рис. 2, 3 и в табл. 5.

На рис 2 приведены зависимости общего содержания минерализованного дистиллята при расходе от 240 л/ч до 1000 л/ч и температуре воды 11 – 55 °С от времени обработки.

Графические зависимости имеют два участка: криволинейный и линейный. На криволинейном участке происходит совместный процесс вымывания остаточных солей минерализации из загрузки и растворения минералов, а на линейном участке собственно растворимых минералов. Точки (1, 2, 3, 4, 5) на рис. 2 соответствуют времени наступления стационарного состояния процесса растворения. Указанные точки получены на пересечении касательных к криволинейным и линейным участкам зависимостей. Так, графическим путем определено время достижения равновесного стационарного состояния фильтра-минерализатора не более 30 мин.

Измерение удельной электропроводности позволяет в непрерывном режиме косвенно контролировать уровень минерализации дистиллята (табл. 5, рис. 3.).

В пробах обработанной воды определялось содержание основных ионов, входящих в состав фильтрующих материалов. Так, при расходе воды через фильтр-минерализатор 420 л/ч и температуре 11 °С среднее содержание ионов составляло Ca²⁺ — 59 мг/л, Mg²⁺ — 5 мг/л, SO₄²⁻ — 140 мг/л.

Для определения оптимального режима работы опытного образца фильтра-минерализатора с загрузкой: смесь доломита и гипса были проведены исследования с применением методов планирования экспериментов. В табл. 6 представлены уровни и интервал варьирования факторов, влияющих на минерализацию *V* и *T*.

После расчетов и перевода значений факторов из кодированных в натуральные уравнение регрессии имеет вид:

$$Y_{\text{н}} = 467 - 0,43V - 2,27T + 0,0043VT. \quad (2)$$

Полученные результаты были использованы для определения с технико-экономической точки зрения рациональных режимов минерализации дистиллята.

Заключение

1. Исследования минерализации дистиллята природными материалами: мрамор, доломит, гипс,

Таблица 5

Удельная электропроводность минерализованного дистиллята в зависимости от производительности фильтра

Производительность фильтра, л/ч	Температура воды	Удельная электропроводность воды, $G \times 10^4$ См/м	
		Исходной	Минерализованной (среднее значение)
350	11	12	340
840	11	12	274
1020	11	12	195
1060	40	11	370
240	50	11	700

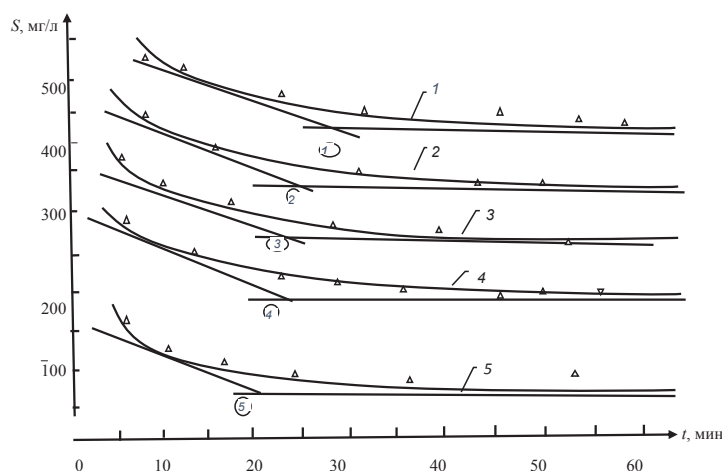


Рис. 2. Зависимость изменения общего солевого содержания минерализованного дистиллята от расхода, температуры и времени: S — общее содержание (по сухому остатку); t — время; 1 — Q = 240 л/ч, T = 55 °С; 2 — Q = 420 л/ч, T = 55 °С; 3 — Q = 420 л/ч, T = 55 °С; 4 — Q = 1000 л/ч, T = 50 °С; 5 — Q = 1000 л/ч, T = 18 °С

смесь доломита и гипса, позволило определить зависимости процесса от скорости фильтрации, расхода, температуры, содержание CO_2 .

2. Минерализация дистиллята до требований СанПин 2.1.4.1074–01 «Питьевая вода...» может быть достигнута путем фильтрования через зернистую загрузку, состоящую из смеси доломита и гипса и фракционном составе зерна доломита 1–3 мм, гипса 60–70 мм.

3. Полученные результаты были использованы при разработке головных образцов фильтров минерализаторов для автономных объектов, в том числе для МЛСП «Приразломная».

Литература

1. Азаров, И. И., Батуков, С. С., Жолус, Б. И. (2016). Питьевая вода моряков. История и современность. *Морская медицина*, т. 2, № 3, сс. 25–29.

2. Веселов, Ю. С., Лавров, И. С., Рукобратский, Н. И. (1985). *Водоочистные оборудования: конструирование и использование*. Л.: Машиностроение, 232 с.

3. Государственный стандарт Российской Федерации (1998) «Вода питьевая» ГОСТ PSI 232–98.

4. Главный государственный санитарный врач РФ (2001). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПин 2.1.4.1074–01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

5. Главный государственный санитарный врач РФ (2002). Постановление от 19 марта № 12. О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды расфасованной в емкость. Контроль качества», СанПин 2.1.4.1116–02.

6. Ерохин, М. А., Какуркин, Н. П., Десятов, А. В. (2008). Минерализация опресненной воды с применением материалов, содержащих $CaCO_3$. *Химическая промышленность сегодня*, № 4, сс. 17–22.

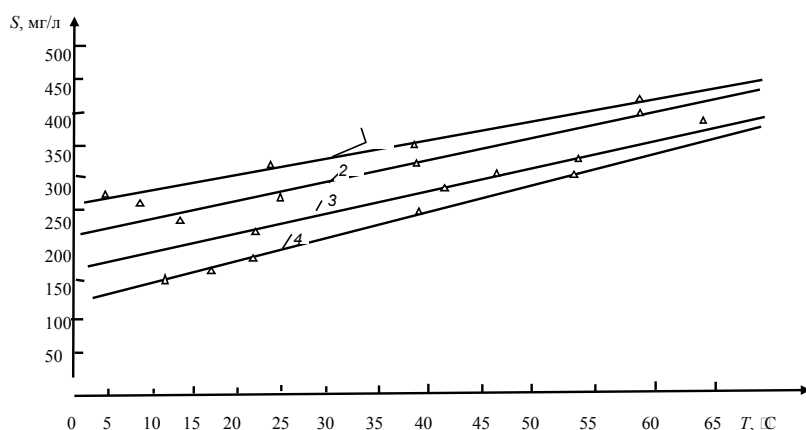


Рис. 3. Зависимость изменения общего содержания минерализованного дистиллята от температуры воды: S — общее содержание воды (по сухому остатку); 1 — Q = 240 л/ч; 2 — Q = 420 л/ч; 3 — Q = 840 л/ч; 4 — Q = 1060 л/ч

Таблица 6

Уровни и интервалы варьирования факторов

№	Наименование фактора	Кодирование значений	Интервал варьирования	Верхний уровень	Нулевой уровень	Нижний уровень
1	V, м/с	X ₁	380	1000	620	240
2	T, °C	X ₂	20	50	300	10

7. Жолус, Б. И. (1979). Физиолого-гигиенические обоснования рекомендаций по кондиционированию питьевой воды на кораблях ВМФ. Канд. техн. наук. СПб.: ВМедА, 184 с.

8. Кульский, Л. А. (1980). Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Киев; Наукова думка, с. 564.

9. Ломов, О. П. (1993). Судовая гигиена. Л.: Медицина, с. 175.

10. Малыгин, К. А., Рукобратский Н. И. (2003). Разработка малогабаритного оборудования для минерализации, дезодорации и обеззараживания питьевой воды. В: Гигиенические проблемы водообеспечения населения и войск. СПб.: ВМедА, сс. 89–90.

11. Рахманин, Ю. А., Мельникова, А. И. (1980). Санитарно-микробиологическая оценка дистилляционного метода опреснения воды. М.: Гигиена и санитария, № 1, с. 12.

12. Рахманин, Ю. А., Вахнин, Г. Н., Масин, В. И. (1989). Санитарно-технологические основы коррекции состава опресненной воды гашеной известью. М.: Гигиена и санитария, № 6, сс. 66–69.

13. Рахманин, Ю. А., Филиппова, А. В., Михайлова, Р. Н. (1990). Гигиеническая оценка минерализующих материалов известняков для коррекции солевого состава мало-минерализованной воды. Гигиена и санитария, № 8, сс. 4–8.

14. Рахманин, Ю. А., Михайлова, Р. Н. (1991). Гигиеническая оценка способов кондиционирования воды на морских судах. Гигиена и санитария, № 1, сс. 17–19.

15. Рахманин, Ю. А., Красовский, Т. Н., Егорова, Н. А. (2016). Гигиенические нормативы качества и безопасности воды. В: Здоровье здорового человека. Научные основы ор-

ганизации здравоохранения, восстановительной и экологической медицины. М.: Издательство АНО «Международный Университет Восстановительной медицины», сс. 302–309.

16. Сергеев, Е. П. (ред.) (1974). Руководство по гигиене водного транспорта. М.: Медицина, 296 с.

17. Чижов, С. В., Синяк, Ю. Е. (1973). Водоснабжение экипажей космических кораблей. М.: Наука, сс. 150–158.

18. Эльпинер, Л. И. (1975). Водоснабжение морских судов. М.: Транспорт, 200 с.

References

1. Azarov, I. I., Batukov, S. S., Zhulus, B. I. (2016). Pit'evaya voda mor'yakov. Istoriya i sovremennost. [Drinking water for seafarers. History and modernity]. Morskaya medicina, vol. 2, № 3, pp. 25–29. (in Russian).

2. Veselov, S. Yu., Lavrov, I. S., Rukopashki, N. I. (1985). Vodoochistnye oborudovaniya: konstruirovaniye i ispol'zovaniye. [Water treatment equipment: design and use]. Leningrad: Mashinostroeniye, 232 p. (in Russian).

3. Gosudarstvennyj standart Rossijskoj federacii (1998) «Voda pit'evaya» GOST PSI 232–98 [«Drinking water» GOST PSI 232-98]. (in Russian).

4. Glavnyj gosudarstvennyj sanitarnyj vrach RF (2001). Sanitarно-ehpidemologicheskie pravila i normativy. SanPin 2.1.4.1074–01 «Pit'evaya voda. Gigenicheskie trebovaniya k kachestvu centralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva» [Sanitary and epidemiological rules and regulations. SanPin 2.1.4.1074-01 «Drinking water. Hygienic requirements to the quality of centralized drinking water supply systems. Quality control»]. (in Russian).

5. Glavnyj gosudarstvennyj sanitarnyj vrach RF (2002). Postanovlenie ot 19 marta № 12. O vvedenii v dejstvie sanitarno-ehpidemiologicheskikh pravil i normativov «Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody rasfasovannoj v emkost'. Kontrol' kachestva», SanPin 2.1.4.1116–02 [Decision of March 19 No. 12. On the implementation of the sanitary and epidemiological rules and standards «Drinking water. Hygienic requirements for the quality of water put in a container. Quality control», SanPin 2.1.4.1116-02]. (in Russian).
6. Erokhin, M. A., Kakurin, N. P. Desyatov, A. V. (2008). Mineralizaciya opresnennoj vody s primeneniem materialov, soderzhashchih NaSO_3 , [Mineralization of desalinated water with the use of materials containing] CaCO_3 . *Himicheskaya promyshlennost' segodnya*, № 4, pp. 17–22. (in Russian).
7. Zholus, B. I. (1979). Fiziologo-gigienicheskie obosnovaniya rekomendacij po kondicionirovaniyu pit'evoj vody na korablyah VMF [Physiological and hygienic justification of recommendations for drinking water conditioning on ships of the Navy]. St. Petersburg: S. M. Kirov Military Medical Academy, 184 p. (in Russian).
8. Kul'sky, L. A. (1980). Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya kondicionirovaniya vody [Theoretical basis and technology of water conditioning]. Kiev: Naukova Dumka, p. 564. (in Russian).
9. Lomov, O. P. (1993). Sudovaya gigiena [Ship hygiene]. Leningrad: Medicina, 175 p. (in Russian).
10. Malygin, K. A., Rukopashki N. I. (2003). Razrabotka malogabaritnogo oborudovaniya dlya mineralizacii, dezodoracii i obezzarazhivaniya pit'evoj vody. In: *Gigienicheskie problemy vodoobespecheniya naseleniya i vojsk* [Development of small equipment for mineralization, deodorization and disinfection of drinking water. In: *Hygienic problems of water supply of the population and troops*], St. Petersburg: Voenno-medicinskaya akademiya imeni S. M. Kirova, pp. 89–90. (in Russian).
11. Rakhmanin, Yu. A., Melnikov, A. I. (1980). Sanitarno-mikrobiologicheskaya ocenka distillyacionnogo metoda opresneniya vody [Sanitary and microbiological evaluation of the distillation method of water desalination]. *Gigiena i sanitariya*, № 1, p. 12. (in Russian).
12. Rakhmanin, Yu. A. Vakhnin, G. N, Masin, V. I. (1989). Sanitarno-tekhnologicheskie osnovy korrekcii sostava opresnennoj vody gashennoj izvest'yu [Sanitary and technological bases of correction of the composition of desalinated water with slaked lime]. M.: *Gigiena i sanitariya*, № 6, pp. 66–69. (in Russian).
13. Rakhmanin, Yu. A., Filippova, A.V., Mikhailova, R. N. (1990). Gigienicheskaya ocenka mineralizuyushchih materialov izvestnyakov dlya korrekcii solevogo sostava malomineralizovannoj vody [Hygienic assessment of mineralizing materials of limestone for the correction of the salt composition of low-mineralized water]. *Gigiena i sanitariya*, № 8, pp. 4–8. (in Russian).
14. Rakhmanin, Yu. A., Mikhailova R. N. (1991). Gigienicheskaya ocenka sposobov kondicionirovaniya vody na morskikh sudah [Hygienic assessment of methods of water conditioning on ships]. *Gigiena i sanitariya*, № 1, pp. 17–19. (in Russian).
15. Rakhmanin, Yu. A., Krasovsky, T. N., Egorova N. A. (2016) Gigienicheskie normativy kachestva i bezopasnosti vody. V Zdorov'e zdorovogo cheloveka. Nauchnye osnovy organizacii zdavoohraneniya, vosstanovitel'noj i ehkologicheskoy mediciny. Rukovodstvo [Hygienic standards of water quality and safety. The Health of a healthy person. Scientific bases of the organization of health care, restorative and ecological medicine. Guide]. M.: Izdatel'stvo ANO «Mezhdunarodnyj Universitet Vosstanovitel'noj mediciny», pp. 302–309. (in Russian).
16. Sergeev, E. P. (ed.) (1974). Rukovodstvo po gigiene vodnogo transporta [The management of hygiene of water transport]. M.: Medicina, pp. 163–165. (in Russian).
17. Chizhov, S. V., Sinyak, Y. E. (1973) Vodosnabzhenie ehkipazhej kosmicheskikh korablej [The water supply of the spacecraft]. M.: Nauka, pp. 150–158. (in Russian).
18. Elpiner, L. I. (1975). Vodosnabzhenie morskikh sudov [Water supply of sea vessels]. M.: Transport, 200 p. (in Russian).

Авторы

Рукобратский Николай Иванович, канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университета

E-mail: rukobrasky@mail.ru

Малыгин Кирилл Александрович, канд. техн. наук
АО «Центральное Конструкторское Бюро Морской Техники “Рубин”»

E-mail: malygin.20000@mail.ru

Authors

Rukobrasky Nikolay Ivanovich, PhD in Engineering, Associate Professor

Saint-Petersburg State University of Architecture And Civil Engineering

E-mail: rukobrasky@mail.ru

Malygin Kirill Aleksandrovich, PhD in Engineering
Joint-Stock Company «Central Design Bureau for Marine Engineering “Rubin”»

E-mail: malygin.20000@mail.ru