

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

© 2018 г. Сальников Н.А.¹, Бобе Л.С.¹, Кочетков А.А.¹, Железняков А.Г.²,
Андрейчук П.О.², Шамшина Н.А.²

¹АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт
химического машиностроения» (АО «НИИХиммаш»)
Ул. Большая Новодмитровская, 14, г. Москва, Российская Федерация, 127015,
e-mail: info@niichimmash.ru

²Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва (РКК «Энергия»)
Ул. Ленина, 4А, г. Королёв, Московская обл., Российская Федерация, 141070,
e-mail: post@rsce.ru

В состав комплекса систем жизнеобеспечения космической станции предполагается введение средств санитарно-гигиенического обеспечения (ССГО) водными процедурами и системы регенерации санитарно-гигиенической воды (СРВ-СГ). Российская концепция подразумевает организацию отдельного контура санитарно-гигиенического водообеспечения. С целью повышения комфорта пребывания экипажа на космической станции предполагается введение на борт следующих ССГО: устройства для мытья рук и лица (умывальника), оборудования для мытья тела, сауны, стиральной машины. Предполагается, что данное оборудование будет работать совместно с системой регенерации воды СРВ-СГ. При проведении водных процедур экипаж будет использовать аналогичные общепринятым жидкие моющие средства, минимально загрязняющие атмосферу. В материалах статьи экспериментально подтверждена эффективность метода обратного осмоса применительно к очистке санитарно-гигиенической воды. Прототип системы СРВ-СГ обеспечил требуемое качество очищенной воды, позволил оценить показатели очистки и ресурсные характеристики разрабатываемой системы. Исходя из характеристик макетных образцов и штатного оборудования, проведена оценка затрат массы при введении на борт МКС различного набора ССГО совместно с системой СРВ-СГ.

Ключевые слова: система жизнеобеспечения, санитарно-гигиеническая вода, регенерация воды, обратный осмос, космическая станция.

USE OF MEMBRANE EQUIPMENT FOR HYGIENE WATER PROCESSING ABOARD THE SPACE STATION

Salnikov N.A.¹, Bobe L.S.¹, Kochetkov A.A.¹, Zheleznyakov A.G.²,
Andreychuk P.O.², Shamshina N.A.²

¹Scientific research and design institute of chemical engineering
(NIICHIMMASH)
14 Bolshaya Novodmitrovskaya str., Moscow, 127015, Russian Federation,
e-mail: info@niichimmash.ru

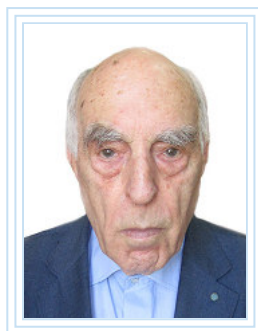
²S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia (RSC Energia)
4A Lenin str., Korolev, Moscow region, 141070, Russian Federation,
e-mail: post@rsce.ru

The sanitary and hygienic facilities and hygiene water processing system are supposed to be integrated into the complex of space station life support systems. The Russian concept is to establish a closed hygiene water supply loop. For increasing the crew comfort while staying onboard the space station the following sanitary and hygienic facilities are supposed to be added: hand and face wash hardware (washstand); body wash equipment; sauna; washing machine. This hardware and equipment is supposed to be used with the hygiene water processing system. When taking water procedures, the crew will use the common liquid detergents that minimize air pollution. The paper experimentally confirms the efficiency of the reverse osmosis method as applied to the hygiene water purification. The prototype of the hygiene water processing system ensured a required quality of the product water, made it possible to assess the purification performance and life characteristics of the system being developed. Based on the mockup models and flight equipment characteristics the mass expenditures were estimated when putting various sanitary and hygienic facilities on board the ISS together with the hygiene water processing system.

Key words: life support system, hygiene water, water processing, reverse osmosis, space station.



САЛЬНИКОВ Н.А.



БОБЕ Л.С.



КОЧЕТКОВ А.А.



ЖЕЛЕЗНЯКОВ А.Г.



АНДРЕЙЧУК П.О.



ШАМШИНА Н.А.

САЛЬНИКОВ Николай Александрович — младший научный сотрудник АО «НИИхиммаш»,
e-mail: salnikov@niichimmash.ru
SALNIKOV Nikolay Aleksandrovich — Junior research scientist at NIIchimmash,
e-mail: salnikov@niichimmash.ru

БОБЕ Леонид Сергеевич — доктор технических наук, профессор, начальник отдела
АО «НИИхиммаш», e-mail: l_bobe@niichimmash.ru
BOBE Leonid Sergeevich — Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of Department
at NIIchimmash, e-mail: l_bobe@niichimmash.ru

КОЧЕТКОВ Алексей Анатольевич — главный конструктор АО «НИИхиммаш»,
e-mail: a_kochetkov@niichimmash.ru
KOCHETKOV Aleksey Anatolyevich — Chief Designer at NIIchimmash,
e-mail: a_kochetkov@niichimmash.ru

ЖЕЛЕЗНЯКОВ Александр Григорьевич — руководитель НТЦ РКК «Энергия»,
e-mail: alexander.g.jeleznyakov@rsce.ru
ZHELEZNYAKOV Alexander Grigoryevich — Head of STC at RSC Energia,
e-mail: alexander.g.jeleznyakov@rsce.ru

АНДРЕЙЧУК Петр Олегович — начальник сектора РКК «Энергия»,
e-mail: petr.andreychuk@rsce.ru
ANDREYCHUK Petr Olegovich — Head of Subdepartment at RSC Energia,
e-mail: petr.andreychuk@rsce.ru

ШАМШИНА Наталья Андреевна — инженер-математик 1 категории РКК «Энергия»,
e-mail: post@rsce.ru
SHAMSHINA Natalia Andreevna — Engineer-mathematician 1 category at RSC Energia,
e-mail: post@rsce.ru

Введение

В настоящее время сформирована структура комплекса систем регенерации воды и атмосферы для перспективных космических станций [1]. В состав комплекса систем жизнеобеспечения предполагается введение средств санитарно-гигиенического обеспечения (ССГО) водными процедурами и системы регенерации санитарно-гигиенической воды (СРВ-СГ). Система будет иметь свой замкнутый контур водообеспечения, а очистка воды будет проводиться до уровня требований к санитарно-гигиенической воде (СГВ) [2]. Данный способ организации санитарно-гигиенического водообеспечения позволит существенно снизить затраты на очистку большого потока воды, не используемого для питьевых нужд.

На Международной космической станции (МКС) санитарно-гигиенические процедуры осуществляются с помощью увлажненных салфеток и полотенец [3]. Предполагается, что при введении на борту ССГО и регенерации СГВ будет повышен комфорт пребывания экипажа на МКС. Введение санитарно-гигиенического оборудования и системы СРВ-СГ на борту МКС позволит осуществить отработку ССГО и системы регенерации СГВ для последующей реализации регенерационного санитарно-гигиенического обеспечения во время длительных экспедиций при отсутствии доставок с Земли.

Водный баланс космической станции и показатели качества воды

В соответствии с требованиями нормативов [2] на водные процедуры одного космонавта в сутки требуется 2,2...7,0 л СГВ.

С учетом стирки одежды ежесуточный расход воды может достигать 9,2 л на человека. Баланс по воде для одного космонавта в сутки приведен в табл. 1. При наличии системы регенерации увеличение расхода запасов воды будет незначительным.

Усредненный состав смывной воды после санитарно-гигиенических процедур по данным работ [4–8], состав регенерированной воды, полученной в наших экспериментах в результате очистки натурной СГВ после мытья рук на экспериментальной установке с обратнo-осмотическим модулем, и требования к очищенной воде представлены в табл. 2.

Методы регенерации санитарно-гигиенической воды

Для станции «Мир» разрабатывалась и проходила испытания система регенерации СГВ, работа которой основана на фильтровании с последующей сорбционной очисткой [9, 10]. Система совместима только с моющими средствами, диссоциирующими на ионы, что существенно ограничивает круг применяемых моющих средств. При использовании катамина с окисью амина при испытаниях системы, предназначавшейся для станции «Мир», обеспечивалась регенерация воды, но наблюдалось местно-раздражающее действие моющего средства на кожу и слизистые оболочки глаз.

Существует весьма ограниченный набор методов очистки СГВ для космической станции, среди которых фильтрование с сорбционной очисткой, мембранные процессы с последующей сорбционной доочисткой, вакуумная дистилляция

с последующим каталитическим окислением и многоступенчатой очисткой сорбентами. Выбор метода регенерации СГВ в значительной степени обусловлен выбором моющего средства. Это связано с тем, что компоненты моющего средства, растворенные в СГВ, определяют нагрузку на оборудование для очистки. Одним из требований к перспективной системе СРВ-СГ является возможность очистки воды при использовании общепринятых моющих средств. В состав современных жидких средств для мытья тела и головы входят минеральные вещества и органические составляющие (в т.ч., низкомолекулярные органические вещества). Растворы таких моющих средств в воде являются смесями сложного состава, очистка воды от которых требует большого количества стадий. Весьма перспективными считаются баромембранные процессы очистки, из которых наиболее эффективным для регенерации

СГВ является обратный осмос [4]. При обратноосмотической очистке в одну стадию могут быть отделены как минеральные, так и органические вещества (в т.ч., низкомолекулярные). На сегодняшний день отечественная промышленность освоила производство высокопроизводительных, высокоселективных, химически стойких низконапорных обратноосмотических мембран из полиамида, которые работают при перепадах давления 0,7–1,3 МПа. Наибольшее распространение получила компоновка обратноосмотических мембран в виде компактных рулонных модулей [11–13]. Данная компоновка считается наиболее рациональной с точки зрения плотности упаковки мембран и производительности. В связи с этим были проведены эксперименты по регенерации СГВ при помощи рулонных обратноосмотических модулей отечественного производства на основе композитной мембраны РМЗЗК [14].

Таблица 1

Баланс по воде для одного космонавта в сутки

Цели потребления воды, л/чел. в сутки	Варианты потребления воды				Источники поступления воды, л/чел. в сутки	Варианты поступления воды			
	1	2.1	2.2	2.3		1	2.1	2.2	2.3
Питье и приготовление пищи	2,2	2,2	2,2	2,2	Конденсат атмосферной влаги 1,5 + 0,2·0,5	1,6	1,6	1,6	1,6
Вода в рационе питания	0,5	0,5	0,5	0,5	Вода с рационом питания	0,5	0,5	0,5	0,5
Личная гигиена	0,2	0,2	0,2	0,2	Вода из смеси урины со смывной водой (1,3 + 0,3)·0,9	1,44	1,44	1,44	1,44
Смыв в туалете	0,3	0,3	0,3	0,3	Вода из системы утилизации углекислого газа по методу Сабатье	0,45	0,45	0,45	0,45
Витаминная оранжерея	—	4,0	4,0	4,0	Конденсат транспирационной влаги из оранжереи	—	3,8	3,8	3,8
Мытье рук и лица (СГВ)	—	2,2	2,2	2,2	Регенерированная СГВ	—	2,15	5,88	9,02
Мытье тела и головы (СГВ)	—	—	3,8	3,8					
Стирка одежды (СГВ)	—	—	—	3,2					
Электролизное получение O ₂	1,0	1,0	1,0	1,0	Доставляемая вода	0,21	0,46	0,53	0,59
Итого	4,2	10,4	14,2	17,4	Итого	4,2	10,4	14,2	17,4
Степень возврата воды, %	—	—	—	—	Степень возврата воды, %	83,1	90,8	92,8	93,7

Примечание. *Вариант 1:* на борту космической станции отсутствуют витаминная оранжерея и оборудование для осуществления водных процедур. *Вариант 2:* на борт космической станции введена витаминная оранжерея, осуществляются водные процедуры с использованием устройства для мытья рук и лица (2.1), устройства для мытья тела и головы (2.2), осуществляется стирка текстильных материалов (2.3).

СГВ — санитарно-гигиеническая вода.

Таблица 2

Состав смывной воды после санитарно-гигиенических процедур, показатели качества очищенной воды и предъявляемые к ней требования

Показатель	Величина показателя		
	СГВ, подлежащая очистке	Регенерированная СГВ	Нормативы ГОСТ Р50804-95
Цвет	Мутный, серый	Без цвета	–
Запах при температуре 20 °С, баллы	1–3	0	3
Водородный показатель <i>pH</i> , ед. <i>pH</i>	6–10	8–9	5–9
Прозрачность, см	1–8	Более 30	30
Взвешенные вещества, мг/л	150–300	–	–
Органические вещества в сумме по бихроматной окисляемости, мгО ₂ /л	900–5 000	46	150
Азот аммиака, мг/л	6–60	Менее 8	10
Хлориды, мг/л	5–300	7	350
Сульфаты, мг/л	3–40	18	–
Общая жесткость, мг-экв/л	0,6–1,0	0,3	7,0
Бактерии, количество микробных тел в мл	10 ⁴ –10 ⁹	20	100 (1 000)

При выборе общепринятого моющего средства для использования на борту необходимо отдавать предпочтение средствам, содержащим в своем составе антибактериальные компоненты и способным подавлять бактериальную микрофлору. В составе моющего средства должно быть как можно меньше компонентов, загрязняющих атмосферу, а также компонентов, обладающих высоким осмотическим давлением. В экспериментах по очистке СГВ авторы использовали жидкое моющее средство «Адажио», содержащее в качестве антибактериальной составляющей триклозан.

Результаты экспериментальных исследований очистки СГВ

Для очистки СГВ с наибольшим коэффициентом извлечения воды и возврата ее в цикл водообеспечения разработан процесс очистки в циркуляционном контуре с концентрированием загрязнений в емкости постоянного объема [15, 16]. Для проверки эффективности разработанного процесса создана экспериментальная установка для очистки воды, ее принципиальная схема представлена на рис. 1.

Экспериментальная установка включает в себя элементы разрабатываемой системы СРВ-СГ, а также умывальник, душевую кабину и стиральную машину в наземном исполнении, предназначенные для получения натурной СГВ. В установке организован циркуляционный контур концентрирования загрязнений, и реализована схема тангенциальной фильтрации, при которой концентрируемый раствор проходит через мембранный модуль, омывая мембрану при заданном давлении. При этом вода проходит через мембрану и накапливается в емкости 13, а концентрат уносится из обратноосмотического модуля циркуляционным потоком. По мере необходимости производится подпитка циркуляционного контура исходной водой из емкости 1. Очищенная вода проходит дезодорирование в сорбционном фильтре 15, обеззараживается ультрафиолетом в стерилизаторе 16, нагревается до необходимой температуры и направляется на водные процедуры или стирку. В циркуляционный контур введена емкость постоянного объема 4, в которой осуществляется концентрирование загрязнений и моющего средства до предельно допустимой концентрации, после чего емкость заменяется на новую, заполненную чистой водой.

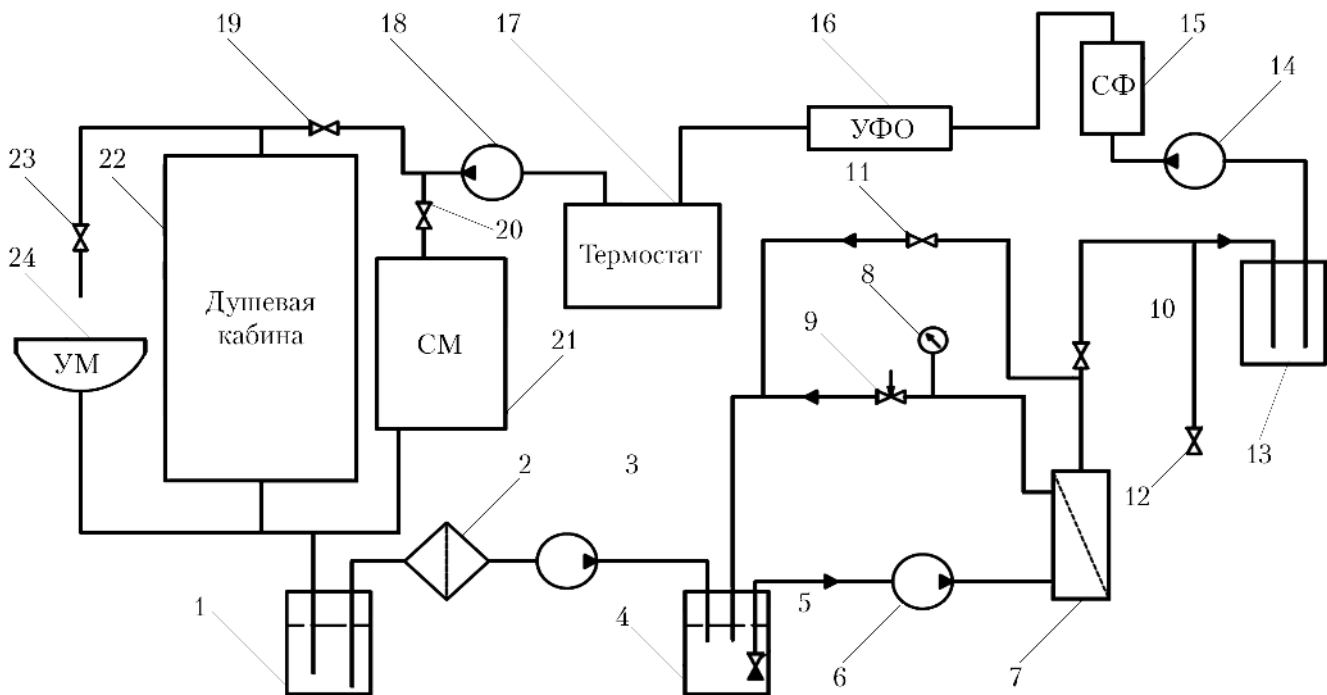


Рис. 1. Экспериментальная установка для очистки санитарно-гигиенической воды: 1 – емкость загрязненной воды; 2 – фильтр предварительной очистки; 3, 14, 18 – мембранные насосы; 4 – емкость постоянного объема; 5 – обратный клапан; 6 – насос высокого давления; 7 – обратноосмотический аппарат; 8 – манометр; 9 – вентиль регулировочный; 10, 11, 12, 19, 20, 23 – запорные вентили; 13 – емкость очищенной воды; 15 – сорбционный фильтр дезодорирования воды; 16 – ультрафиолетовый стерилизатор (обеззараживатель); 17 – термостат; 21 – стиральная машина; 22 – душевая кабина; 24 – умывальник

На экспериментальной установке проводились эксперименты по очистке имитатора СГВ с постоянной концентрацией моющего средства и постепенным наращиванием его концентрации; эксперименты по очистке натурной СГВ, полученной после мытья рук, из душевой кабины и после стирки одежды с постепенным наращиванием концентрации моющего средства и загрязнений. Для подтверждения адекватности полученных данных проведены эксперименты по очистке модельного водного раствора NaCl с постоянной концентрацией соли.

С увеличением рабочего давления обратноосмотической очистки повышается движущая сила процесса, что влечет за собой как увеличение производительности мембранного аппарата, так и повышение энергозатрат. С повышением производительности вклад диффузии загрязнений через мембрану по сравнению с потоком чистой воды снижается, вследствие чего повышается качество очищенной воды. Данную картину иллюстрирует рис. 2, а, на котором показана интенсивность роста загрязнений в фильтрате по мере концентрирования моющего средства и загрязнений в циркуляционном контуре при различных значениях рабочего давления процесса

очистки. Для достижения наибольшего коэффициента извлечения чистой воды необходимо в большей степени сконцентрировать моющее средство и загрязнения в циркуляционном контуре. В то же время раствор большей концентрации обладает большим осмотическим давлением, которое необходимо преодолевать, повышая рабочее давление процесса. По мере концентрирования моющего средства и загрязнений будет наблюдаться рост осмотического давления концентрата в контуре в соответствии с зависимостью, представленной на рис. 2, б. С учетом вышеизложенного принято решение осуществлять концентрирование моющего средства от 2–8 до 250 г/л при рабочем давлении 0,8 МПа. Экспериментально показано, что при выбранном давлении реализуется коэффициент извлечения чистой воды 0,97–0,98. Коэффициент извлечения воды вычисляется по формуле

$$K_{\text{извл}} = G_{\text{ов}} / G_{\text{зв}} = 1 - C_{\text{нач}} / C_{\text{кон}},$$

где $G_{\text{ов}}$ и $G_{\text{зв}}$ – количество очищенной воды, полученной из мембранного аппарата, и количество загрязненной воды, поступившей в циркуляционный контур, соответственно; $C_{\text{нач}}$ и $C_{\text{кон}}$ – начальная и конечная концентрации моющего средства в циркуляционном контуре.

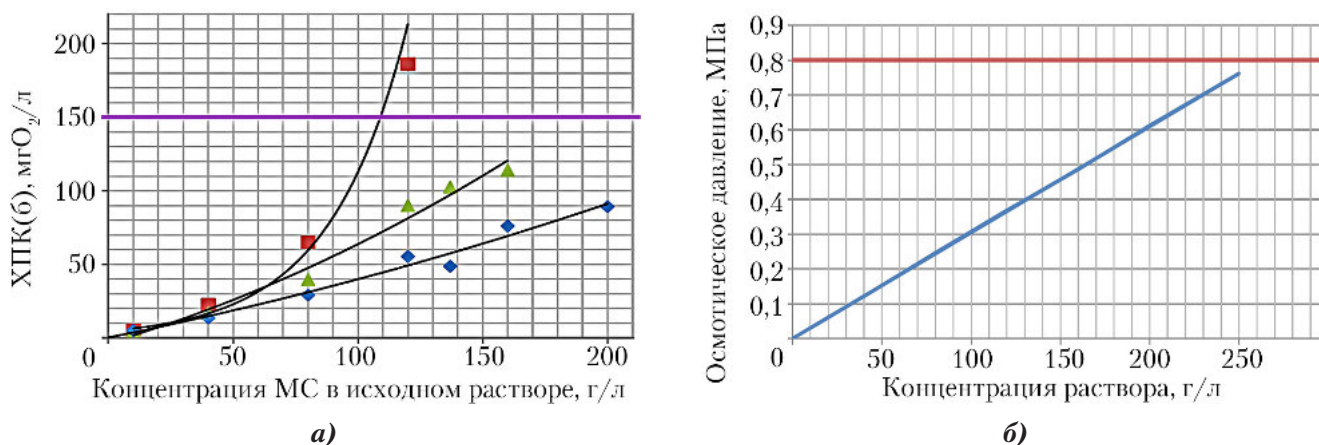


Рис. 2. Основание для выбора рабочего давления процесса обратноосмотической очистки и степени концентрирования загрязнений: а – зависимость ХПК фильтрата от концентрации МС в циркуляционном контуре при различных значениях рабочего давления: ■ – 4 кгс/см²; ▲ – 6 кгс/см²; ◆ – 8 кгс/см²; — — ГОСТ; б – зависимость осмотического давления исходного раствора (—) от концентрации МС; — — рабочее давление

Примечание. ХПК(б) – химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость); МС – моющее средство.

Испытаниям подвергались обратноосмотические рулонные модули марки NanoRO типоразмера 21-2521. Отмечена высокая селективность по моющему средству при очистке имитатора СГВ и натурной СГВ, которая составила 98–99%. Селективность определялась по зависимости

$$\phi = (1 - C_{\phi} / C_{исх}) \cdot 100\%$$

где C_{ϕ} – концентрация моющего средства в фильтрате; $C_{исх}$ – концентрация моющего средства в исходной (загрязненной) воде.

При проведении испытаний российских мембранных модулей с мембраной РМ33К без предварительной фильтрации исходной СГВ, т. е. в экстремальных

условиях эксплуатации, производительность модуля после первого цикла концентрирования и замены емкости постоянного объема восстановилась (рис. 3). После второго цикла концентрирования и замены емкости постоянного объема производительность модуля снизилась более чем в два раза, и при последующих циклах концентрирования продолжала снижаться. Это свидетельствует о забивке пор мембраны или блокировке части ее поверхности. По этой причине рекомендуется осуществлять замену обратноосмотического модуля после двух циклов концентрирования моющего средства от 5–8 до 250 г/л.

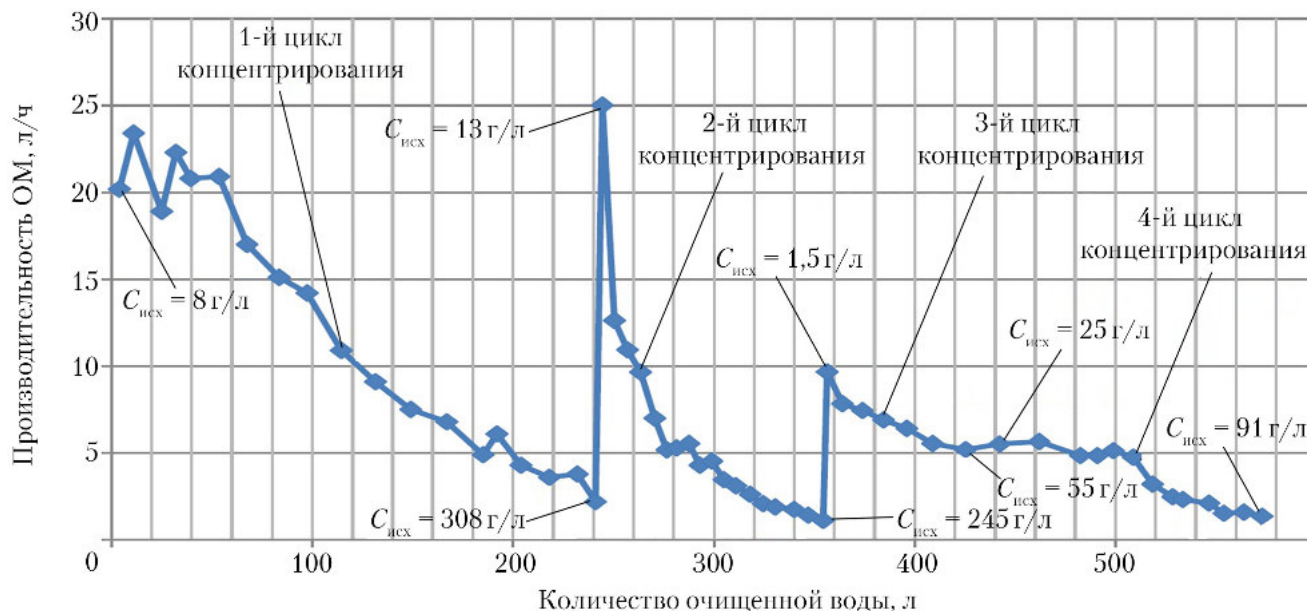


Рис. 3. Изменение производительности обратноосмотического модуля (ОМ) при очистке имитатора санитарно-гигиенической воды (СГВ) и натурной СГВ без предварительной фильтрации при рабочем давлении 0,8 МПа на модельной экспериментальной установке

Примечание. $C_{исх}$ – концентрация моющего средства в исходной (загрязненной) воде.

На экспериментальной обратноосмотической установке, имитирующей работу перспективной системы СРВ-СГ, регенерировано более 1 000 л воды. Качество очищенной воды удовлетворяет требованиям нормативов; значения показателей качества воды, регенерированной после мытья рук, представлены в табл. 2. Исходя из вышеизложенного, можно прогнозировать некоторые характеристики перспективной системы СРВ-СГ. При объеме емкостей для загрязненной воды и фильтрата, равном 22 л, и концентрировании моющего средства от 5–8 до 250 г/л при коэффициенте извлечения воды 97–98%, за один цикл концентрирования может быть очищено, в зависимости от начальной концентрации моющего средства, от 760 до 1 200 л воды. При потреблении СГВ в объеме 6 л на космонавта в сутки и экипаже из трех человек замена емкости постоянного объема будет необходима после 42–66 сут. По имеющимся расчетно-экспериментальным данным ресурс обратноосмотического модуля по очистке воды для двух циклов концентрирования составит ~2 400 л.

При осуществлении мембранной очистки растворов наблюдается негативное явление, получившее название «концентрационная поляризация», которое представляет собой повышение концентрации растворенных веществ у границы мембраны при отборе через нее чистой воды. Концентрационная поляризация выражается отношением концентрации растворенных веществ у поверхности мембраны к концентрации растворенных веществ в ядре потока исходного раствора. При этом значительно снижается движущая сила баромембранного процесса, что негативно сказывается на производительности обратноосмотического аппарата, его ресурсе и качестве очищенной воды. При расчетах мембранной аппаратуры необходимо выбрать правильный гидродинамический режим работы аппарата, который обеспечит наименьшее влияние концентрационной поляризации на процесс очистки. Предложена методика расчета концентрации растворенных веществ у границы мембраны, основанная на теории расширенной аналогии между теплообменом и массообменом. Результаты расчетов по данной методике представлены в работе [4].

Целесообразность разработки системы СРВ-СГ

Разработка системы регенерации СГВ имеет смысл только при одновременной разработке новых, работоспособных в условиях микрогравитации ССГО, в которые могут быть включены устройство для мытья рук и лица, оборудование для мытья тела и головы, сауна, стиральная машина и др. При введении ССГО и системы СРВ-СГ на МКС снижается масса доставок текстильных материалов (табл. 3). При этом, несмотря на доставку на борт дополнительного количества воды, ССГО, системы СРВ-СГ, сменного оборудования и запасных частей, затраты массы на санитарно-гигиеническое обеспечение сохраняются примерно на том же уровне, что и в настоящее время. В то же время с введением оборудования обеспечения водными процедурами существенно повышается комфорт пребывания экипажа на борту космической станции. Результаты расчетов массо-затрат на введение оборудования ССГО и системы СРВ-СГ представлены в табл. 3 и на рис. 4. За основу расчетов принимались массовые и объемные характеристики как проектируемого оборудования, так и оборудования, функционирующего на МКС.

Введение на борту МКС стиральной машины и системы СРВ-СГ окупается через полтора года, а введение полного набора ССГО, в который входят устройство для мытья рук и лица, оборудование для мытья тела и головы, стиральная машина и системы СРВ-СГ — менее чем через два года эксплуатации.

Предполагается, что эксплуатация на борту стиральной машины и системы СРВ-СГ позволит снизить объем, занимаемый запасами текстильных материалов, по сравнению с нормативными запасами для МКС. Данное обстоятельство является критичным при осуществлении длительных экспедиций при отсутствии доставок с Земли. По этой причине стиральную машину целесообразно включить в состав ССГО МКС для осуществления отработки технологии и оборудования для стирки и регенерации воды.

Оценка затрат массы для длительных экспедиций (три года) при отсутствии доставок с Земли для трех членов экипажа показала, что масса запасов для

осуществления санитарно-гигиенических процедур как при проведении водных процедур с регенерацией воды, так и при их отсутствии на борту, находится

на одном уровне, поэтому приоритетной задачей следует считать поиск путей снижения объема, занимаемого запасами на космическом корабле.

Таблица 3

Необходимая масса доставок на МКС для экипажа из трех человек за три года эксплуатации ССГО совместно с СРВ-СГ

Набор оборудования ССГО, эксплуатирующегося совместно с СРВ-СГ	Масса доставляемых на МКС грузов, кг					
	Салфетки, полотенца и одежда	Восполнение потерь воды	Масса ССГО и системы СРВ-СГ	ЗИП и сменное оборудование ССГО и СРВ-СГ	Моющее средство и дополнительные принадлежности	Суммарная доставляемая масса
Норматив доставки СЛГ на МКС (ССГО и СРВ-СГ отсутствуют) (СЛГ МКС)	2 530	90	—	—	20	2 640
Устройство для мытья рук и лица (умывальник) (ССГО-1)	1 983	271	260	192	69	2 775
Умывальник совместно с оборудованием для мытья тела (ССГО-2)	1 242	740	283	430	190	2 885
Стиральная машина* (ССГО-3)	1 546	400	237	220	37	2 440
Умывальник совместно с оборудованием для мытья тела и стиральной машиной (ССГО-4)	289	1 140	366	630	175	2 600

Примечание. * Предполагается проведение 14 стирок каждого комплекта текстильных материалов, подлежащих стирке. ССГО — средства санитарно-гигиенического обеспечения; СРВ-СГ — система регенерации санитарно-гигиенической воды; СЛГ — средства личной гигиены.

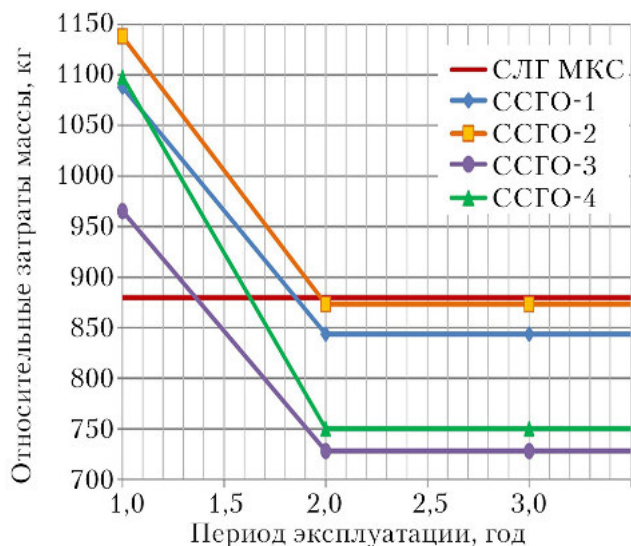


Рис. 4. Распределение массозатрат с течением времени при введении на борт МКС различного набора ССГО и системы СРВ-СГ

Примечание. Состав ССГО и др. обозначения см. в табл. 3.

Выводы

1. Проведены исследования по очистке санитарно-гигиенической воды, которые подтвердили перспективность регенерации воды методом обратного осмоса.

2. При селективности обратноосмотической мембраны по моющему средству 98–99% и при рабочем перепаде давления 0,8 МПа разработанный процесс позволяет достигнуть степени извлечения воды 97–98%.

3. Введение на борт средств санитарно-гигиенического обеспечения является целесообразным только совместно с системой регенерации санитарно-гигиенической воды.

4. Проектные расчеты показали, что для полета трех человек в течение трех лет ресурс сменного фильтрующего оборудования СРВ-СГ составит около 2 200 л. Кратковременное регламентное обслуживание системы необходимо будет проводить раз в 1,5–2 мес., работы по замене сменного фильтрующего оборудования — раз в 3–4 мес.

5. Главной задачей введения водных процедур на борту является повышение комфортности пребывания экипажа. Проведенные расчеты показали, что при введении полного набора средств санитарно-гигиенического обеспечения водными процедурами и СРВ-СГ на МКС

затраты массы увеличиваются на 200–100 кг в первые два года эксплуатации и несколько снижаются в последующие годы по сравнению с массой доставляемых в настоящее время одежды и полотенец по нормам МКС.

6. Введение стиральной машины на МКС окупается за полтора года, при этом ежегодная масса доставляемых текстильных материалов (или их запасов) снижается в 1,5–2 раза.

Список литературы

1. Бобе Л.С., Кочетков А.А., Романов С.Ю., Андрейчук П.О., Железняков А.Г., Синяк Ю.Е. Перспективы развития регенерационного водообеспечения пилотируемых космических станций // Пилотируемые полеты в космос. 2014. № 2(11). С. 51–60.

2. ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом корабле. Общие медико-технические требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 1995.

3. Писаренко Д. Невесомый быт: как космонавты спят, едят и справляют нужду на станции // Еженедельник «Аргументы и Факты». 2011. № 10. С. 7.

4. Сальников Н.А., Бобе Л.С., Кочетков А.А., Синяк Ю.Е. Регенерация санитарно-гигиенической воды на перспективных космических станциях // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 5. С. 47–54.

5. Бобе Л.С. Технологические процессы систем регенерации воды. М.: Изд-во МАИ, 1991. 68 с.

6. Бобе Л.С., Синяк Ю.Е., Берлин А.А., Солоухин В.А. Эколого-технические системы. М.: Изд-во МАИ, 1992. 72 с.

7. Чижов С.В., Синяк Ю.Е. Водообеспечение экипажей космических кораблей. М.: Наука, 1973. 267 с.

8. Миташова Н.И. Экологические аспекты технологии «влажной» чистки // Современная химчистка и прачечная. 2002. № 3. С. 34–37.

9. Samsonov N.M., Farafonov N.S., Abramov L.Kh., Vocharov S.S., Protasov N.N.,

Komolov V.V., Filonenko V.B., Berlin A.A. Hygiene water recovery aboard the space station // Proc. 4th European symp. on space environmental control systems. Florence, Italy. October, 1991. ESA SP-324. V. 2. P. 649–651.

10. Бобе Л.С., Самсонов Н.М., Новиков В.М., Кочетков А.А., Солоухин В.А., Телегин А.А., Андрейчук П.О., Протасов Н.Н., Синяк Ю.Е. Перспективы развития систем регенерации воды обитаемых космических станций // Известия РАН. Энергетика. 2009. № 1. С. 69–78.

11. Kucera J. Reverse osmosis. Design, processes and applications for engineers. Salem: Scrivener Publishing, 2010. 394 p.

12. Advanced membrane technology and applications / Ed. by N.N. Li, A.G. Fane, W.S. Ho, T. Matsuura. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 994 p.

13. Baker R.W. Membrane technology and applications. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 538 p.

14. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Элементы мембранные обратноосмотические серии NanoRO: нормативно-технический материал. Владимир, 2014. 13 с.

15. Патент 2625247. Российская Федерация. Способ обратноосмотической очистки санитарно-гигиенической воды в замкнутом контуре в условиях невесомости. Бобе Л.С., Кочетков А.А., Рылов Н.В., Сальников Н.А., Коробков А.Е., Цыганков А.С., Халилуллина Х.Ш., Рукавицин С.Н.; заявитель и патентообладатель — АО «НИИхиммаш»; заявка 2015137625; приоритет от 04.09.2015 г.; опубликовано 12.07.2017 г.

16. Патент 174887. Российская Федерация. Устройство обратноосмотической очистки санитарно-гигиенической воды в замкнутом контуре в условиях невесомости. Бобе Л.С., Кочетков А.А., Рылов Н.В., Сальников Н.А., Коробков А.Е., Цыганков А.С., Халилуллина Х.Ш., Рукавицин С.Н.; заявитель и патентообладатель — АО «НИИхиммаш»; заявка 2016134638; приоритет от 25.08.2016 г.; опубликовано 09.11.2017 г.

Статья поступила в редакцию 25.05.2018 г.

Reference

1. Bobe L.S., Kochetkov A.A., Romanov S.Yu., Andreychuk P.O., Zheleznyakov A.G., Sinyak Yu.E. Perspektivy razvitiya regeneratsionnogo vodoobespecheniya pilotiruemykh

kosmicheskikh stantsiy [Development prospects of recovery water supply of manned space stations]. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2014, no. 2(11), pp. 51–60.

2. GOST R 50804-95. *Sreda obitaniya kosmonavta v pilotiruемом kosmicheskом korable. Obshchie mediko-tekhnicheskie trebovaniya* [Cosmonaut's habitable environments on board of manned spacecraft. General medicotechnical requirements]. Moscow, Izdatel'stvo standartov publ., 1995.

3. Pisarenko D. *Nevesomyy byt: kak kosmonavty spyat, edyat i spravlyayut nuzhdu na stantsii* [Weightless way of life: how cosmonauts sleep, eat and relieve themselves at the station]. *Argumenty i Fakty Weekly Journal*, 2011, no. 10, p. 7.

4. Sal'nikov N.A., Bobe L.S., Kochetkov A.A., Sinyak Yu.E. *Regeneratsiya sanitarno-gigienicheskoy vody na perspektivnykh kosmicheskikh stantsiyakh* [Recovery of sanitary-hygienic water at the advanced space stations]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 2017, vol. 51, no. 5, pp. 47–54.

5. Bobe L.S. *Tekhnologicheskie protsessy sistem regeneratsii vody* [Technological processes of water recovery systems]. Moscow, MAI publ., 1991. 68 p.

6. Bobe L.S., Sinyak Yu.E., Berlin A.A., Soloukhin V.A. *Ekologo-tekhnicheskie sistemy* [Ecological and technical systems]. Moscow, MAI publ., 1992. 72 p.

7. Chizhov S.V., Sinyak Yu.E. *Vodoobespechenie ekipazhey kosmicheskikh korabley* [Water supply for spacecraft crews]. Moscow, Nauka publ., 1973. 267 p.

8. Mitashova N.I. *Ekologicheskie aspekty tekhnologii «vlazhnoy» chistki* [Ecological aspects of «wet» cleaning technology]. *Sovremennaya khimchistka i prachechnaya*, 2002, no. 3, pp. 34–37.

9. Samsonov N.M., Farafonov N.S., Abramov L.Kh., Bocharov S.S., Protasov N.N., Komolov V.V., Filonenko V.B., Berlin A.A. *Hygiene water recovery aboard the space station. Proc. 4th European symp. on space environmental control systems. Florence, Italy. October 1991. ESA SP-324, vol. 2, pp. 649–651.*

10. Bobe L.S., Samsonov N.M., Novikov V.M., Kochetkov A.A., Soloukhin V.A., Telegin A.A., Andreychuk P.O., Protasov N.N., Sinyak Yu.E. *Perspektivy razvitiya sistem regeneratsii vody obitaemykh kosmicheskikh stantsiy* [Development prospects of water recovery systems of inhabited space stations]. *Izvestiya RAN. Energetika*, 2009, no. 1, pp. 69–78.

11. Kucera J. *Reverse osmosis. Design, processes and applications for engineers*. Salem, Scrivener Publishing, 2010. 394 p.

12. *Advanced membrane technology and applications*. Ed. by N.N. Li, A.G. Fane, W.S. Ho, T. Matsuura. New Jersey, John Wiley & Sons Ltd, 2008. 994 p.

13. Baker R.W. *Membrane technology and applications*. 2nd ed. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2004. 538 p.

14. *Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii. Elementy membrannye obratnoosmoticheskie serii NanoRO: normativno-tekhnicheskiiy material* [Technical description and operation manual. Reverse-osmosis membrane elements of NanoRO series: normative-technical material]. Vladimir, 2014. 13 p.

15. Patent 2625247. Rossiyskaya Federatsiya. *Sposob obratnoosmoticheskoy ochistki sanitarno-gigienicheskoy vody v zamknutom konture v usloviyakh nevesomosti* [The method for reverse-osmosis cleaning of sanitary-hygienic water in the closed loop in zero gravity]. Bobe L.S., Kochetkov A.A., Rykhlov N.V., Sal'nikov N.A., Korobkov A.E., Tsygankov A.S., Khalilullina Kh.Sh., Rukavitsin S.N.; the applicant and the patent owner – AO «NIIkhimmash»; application 2015137625; priority of 04.09.2015; published 12.07.2017.

16. Patent 174887. Rossiyskaya Federatsiya. *Ustroystvo obratnoosmoticheskoy ochistki sanitarno-gigienicheskoy vody v zamknutom konture v usloviyakh nevesomosti* [The device for reverse-osmosis cleaning of sanitary-hygienic water in the closed loop in zero gravity]. Bobe L.S., Kochetkov A.A., Rykhlov N.V., Sal'nikov N.A., Korobkov A.E., Tsygankov A.S., Khalilullina Kh.Sh., Rukavitsin S.N.; the applicant and the patent owner – AO «NIIkhimmash»; application 2016134638; priority of 25.08.2016; published 09.11.2017.