

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ И МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ И ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д.К. Дедков, А.П. Коровкин, Т.Ю. Маликова, А.А. Тощева

Канд. техн. наук, с.н.с. Д.К. Дедков; А.П. Коровкин; Т.Ю. Маликова;
А.А. Тощева (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлены некоторые подходы к созданию и модернизации систем жизнеобеспечения отечественных и зарубежных разработок. Рассмотрены способы формирования атмосферы, средства водообеспечения, средства санитарно-гигиенического обеспечения, средства обеспечения питанием на отечественных орбитальных станциях. Важное место уделено подготовке космонавтов по эксплуатации этих систем в космическом полете.

Ключевые слова: система жизнеобеспечения, создание, модернизация, орбитальная станция, твердотопливный генератор кислорода, средства защиты экипажа, подготовка космонавтов, специализированный стенд-тренажер.

Some Approaches to the Development and Modernization of Life Support Systems of Domestic Orbital Stations and the Features of Training Cosmonauts to Make Use of These Systems. D.K. Dedkov, A.P. Korovkin, T.Yu. Malikova, A.A. Toshcheva

The paper presents some approaches to the development and modernization of domestic and foreign life support systems. Water supply system, sanitary and hygiene supplies and health aids, food supply system and methods for simulating the atmospheric conditions on board the domestic space stations are considered. Particular attention is paid to the training of cosmonauts to make use of these systems during space flights.

Keywords: life support system, development, modernization, orbital station, solid fuel oxygen generator, crew protective equipment, cosmonaut training, dedicated simulator.

Классическое положение естествознания о единстве организма и среды лежит в основе всех творческих поисков создания систем жизнеобеспечения (СЖО) человека и животных как для длительных полетов на космических кораблях, так и для обитания на других планетах.

При конструировании СЖО учитывают четыре группы факторов:

– космическое пространство как своеобразная среда обитания (невесомость);

- динамика полета (ускорения, вибрации);
- комфортность условий жизнедеятельности на борту ПКА;
- длительное пребывание в искусственной газовой среде герметичных кабин (изоляция, эмоциональное напряжение).

Поддержание и сохранение работоспособности организма – первое и непереносимое требование, которое стремятся выполнить специалисты при создании комплекса систем обеспечения жизнедеятельности (КСОЖ) различного назначения.

Среди многочисленных проблем, связанных с практической разработкой СЖО, ведущей является формирование газовой среды и регулирование ее параметров.

Советские и российские космические корабли и станции обеспечиваются двухкомпонентной газовой средой, состоящей из кислорода и азота, с максимальным приближением ее параметров к наземным. Этот принцип в условиях орбитальных полетов полностью себя оправдал.

В американских космических кораблях «Меркурий», «Джемини» и «Аполлон» использовалась однокомпонентная газовая среда из кислорода, что позволяло держать давление газовой среды в кабине ПКА ниже атмосферного и, как следствие, обеспечить упрощение конструкции и снижение веса космического аппарата. В дальнейшем NASA отказалось от кислородной среды из-за опасности возникновения пожара.

С помощью средств обеспечения газового состава в отсеках объектов поддерживаются следующие значения параметров атмосферы МКС:

- общее (абсолютное) давление $P_{\text{общ}}$ – 734–770 мм рт. ст.
- парциальное давление кислорода P_{O_2} составляет 140–160 мм рт. ст.
- парциальное давление углекислого газа P_{CO_2} составляет 0,5–3 мм рт. ст.
- парциальное давление паров воды (влажность) поддерживается в диапазоне от 6 до 8 мм рт. ст.

В качестве примера на рис. 1, 2 и 3 показано изменение парциального давления углекислого газа P_{CO_2} , кислорода P_{O_2} и паров воды на РС МКС за 6 месяцев 2021 года по данным газоанализатора ИК0501 и газоанализатора американского сегмента МКС.

Первое десятилетие пилотируемой космонавтики все СЖО базировались на запасах расходных веществ на борту.

На первых орбитальных космических станциях «Салют» в качестве источника кислорода использовались патроны на основе надперекиси калия (рис. 4). Эти патроны поглощали выделяемый при дыхании космонавтами углекислый газ.

На американских многоразовых кораблях «Шаттл» кислород доставлялся в криогенном состоянии в сосудах Дьюара.

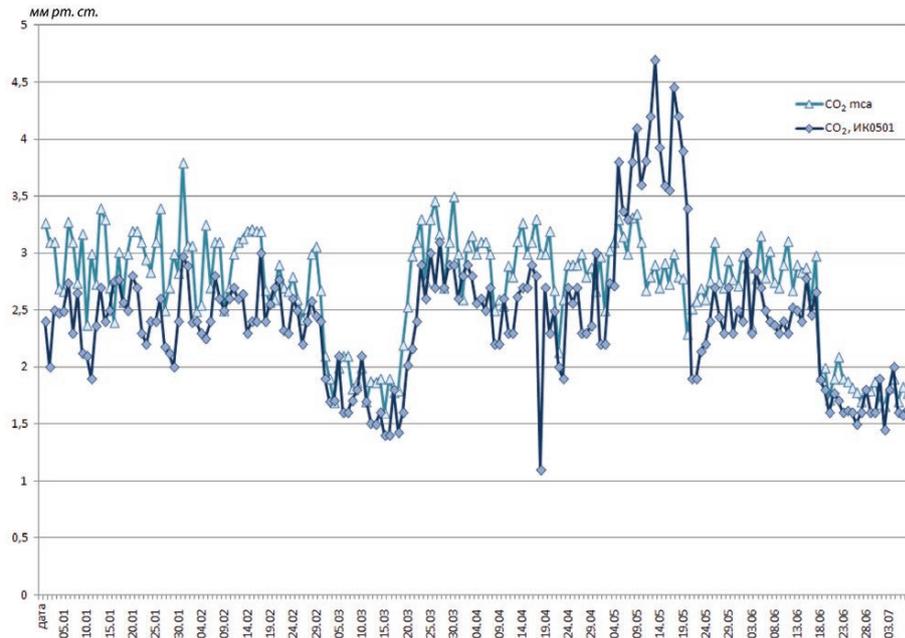


Рис. 1. Изменение парциального давления углекислого газа P_{CO_2}

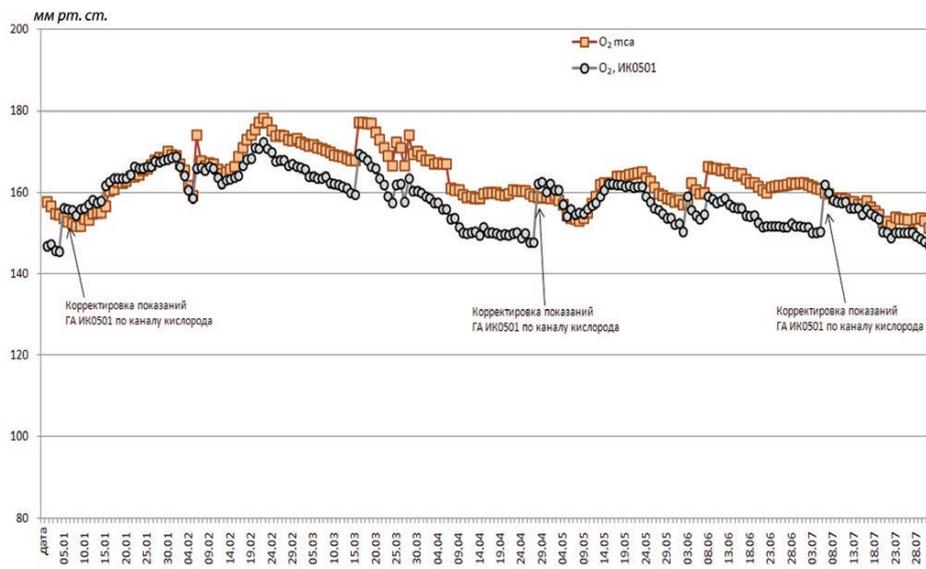


Рис. 2. Изменение парциального давления кислорода P_{O_2}

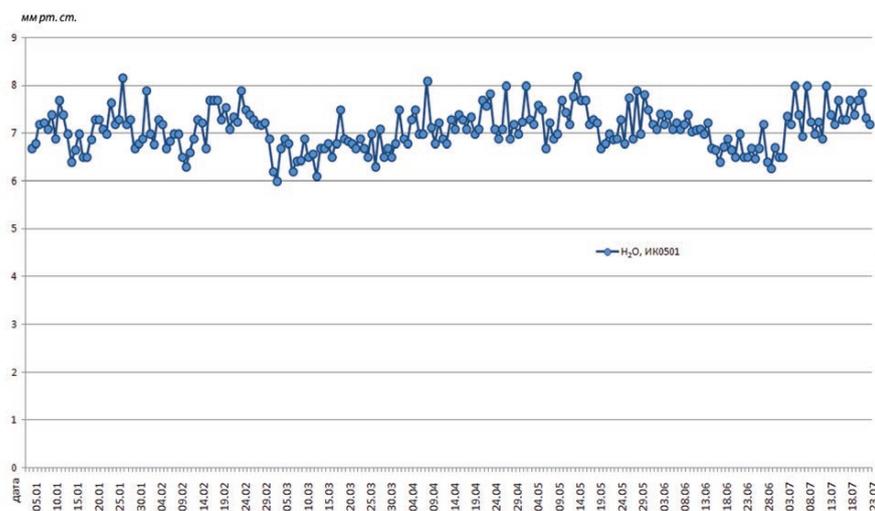
Рис. 3. Изменение парциального давления паров воды P_{H_2O} 

Рис. 4. Регенерационный патрон

Для длительных полетов потребовалась разработка регенеративных систем. В 1986 году на орбитальной станции «Мир» впервые была установлена система получения кислорода «Электрон-В», работавшая на принципе электрохимического разложения воды на кислород и водород, обеспечивавшая жизнедеятельность трех членов экипажа. Параллельно была установлена экспериментальная электролизная система «Вика», которая в итоге из-за ряда технологических недостатков была демонтирована и удалена с орбитальной станции. Для Международной космической станции (МКС) система «Электрон-В» (рис. 5) была модернизирована и получила название «Электрон-ВМ».



Рис. 5. Система кислородообеспечения «Электрон-ВМ» МКС

В результате модернизации ее производительность возросла вдвое, а управление и контроль частично возложены на бортовую вычислительную систему.

Разработана новая система получения кислорода «Янтарь» также на принципе электролиза воды, но уже с использованием твердого электролита, в отличие от щелочного жидкого электролита в системе «Электрон-ВМ». Использование твердого электролита позволяет обеспечить более высокую производительность системы при меньшем весе оборудования. Но отработанность и надежность системы «Электрон-ВМ» определили выбор в ее пользу.

Модернизация системы «Электрон-ВМ» за 21-летний период работы экипажей на борту МКС шла по двум направлениям: с одной стороны – совершенствование алгоритма работы, предварительная подготовка воды для получения кислорода, ввод дополнительных датчиков для контроля работоспособности системы и обеспечения безопасности ее функционирования, а с другой стороны – упрощение, повышающая надежность ее безотказной работы. Так упростили схему подпитки системы водой, отказались от использования автоматического режима работы системы и автоматической продувки при ее консервировании, ввели обязательную предварительную сепарацию воды от воздуха и т.д. Эти изменения привели к увеличению количества операций, выполняемых космонавтами, что непосредственно сказалось и на подготовке космонавтов. Добавились ручные операции, отработка процедуры сепарации воды от воздуха, визуальный контроль аэрозольных

фильтров. На борту служебного модуля РС МКС на сегодняшний день находятся три сепаратора, один из которых – газожидкостный, функционирует только в условиях невесомости, поэтому подготовка космонавта к работе с ним на Земле ведется только путем изучения его устройства, принципа действия, показа видеозаписей с борта МКС, обобщения и анализа опыта работы с сепаратором летавших космонавтов. Второй сепаратор: мембранный фильтр-разделитель требует специальной настройки, методика которой находится в стадии отработки, что также вносит свои нюансы в процесс подготовки космонавтов. Третий сепаратор работает на центробежном принципе разделения воды и воздуха.

Газожидкостный сепаратор устанавливается на обратной стороне панели, закрывающей систему «Электрон-ВМ» (рис. 6), при работе требует постоянного присутствия одного из членов экипажа для периодического открывания ручного клапана, обеспечивающего удаление воздушных пузырей.

Сепаратор на основе мембранного фильтра-разделителя (рис. 7) не требует постоянного контроля, но нуждается в регулировке давления воды, подаваемой на вход фильтра и клапана выпуска отсепарированного воздуха, в начале каждого использования.

Сепаратор центробежного типа представлен на рис. 8. Основу сепаратора составляет центробежный насос-сепаратор.

На сегодняшний день на борту РС МКС установлены две системы «Электрон-ВМ»: в служебном модуле и МЛМ. Следует отметить, что при назначенном ресурсе системы в один год, система «Электрон-ВМ» в служебном модуле с 2011 года отработала более 2100 часов (около 6 лет) [1].



Рис. 6. Газожидкостный сепаратор ГЖС



Рис. 7. Сепаратор на основе мембранного фильтра-разделителя

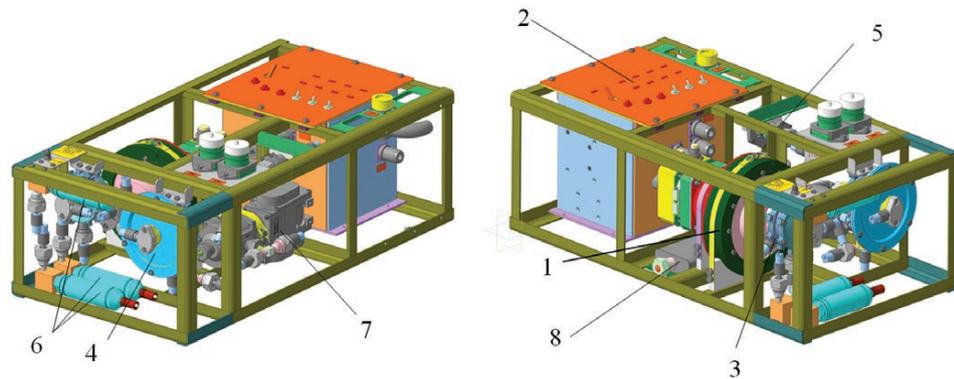


Рис. 8. Сепаратор центробежного типа:

1 – центробежный насос-сепаратор (ЦНС); 2 – пульт управления (ПУ);
 3 – гидроавтомат отвода жидкости из ЦНС (ГА-НЗ); 4 – гидроавтомат подвода жидкости
 в ЦНС (ГА-НО); 5 – клапан предохранительный (КП); 6 – датчики давления (Д1, Д2, Д3);
 7 – насос (МН-15.1М2); 8 – влагоуловитель

Непростая судьба сложилась и у дублирующей системы получения кислорода: твердотопливного генератора кислорода (ТГК). Первый вариант ТГК (рис. 9), явившийся причиной пожара на станции «Мир» в 1997 году, просуществовал на МКС около трех лет, после чего был заменен на модель второго поколения ТГК (рис. 10) с поджигом кассеты с кислородосодержащим веществом путем подачи питания на нагревательную спираль, расположенную внутри кассеты.



Рис. 9. ТГК первого поколения



Рис. 10. ТГК второго поколения

В 2007 году на МКС были доставлены два комплекта генераторов кислорода (ГКС). В них использовались кассеты, стоимость которых была втрое меньше стоимости кассет предыдущих моделей ТГК. Генераторы кислорода последней модификации планировалось ввести в строй после полного использования кассет предыдущим ТГК. Но практически безупречная работа основной системы получения кислорода «Электрон-ВМ» за последние годы не потребовала использования ТГК.

С доставкой ГКС на борт МКС началась подготовка космонавтов по его эксплуатации на стенде штатного изделия. Претензии и замечания к новой модели генератора кислорода накапливались как снежный ком. Упаковка кассет при вскрытии консервным ножом приобретала острые и рваные края, что не раз приводило к порезам рук операторов. Установка кассет в специальный контейнер (реактор) требовала приложения значительных усилий, что обеспечить при отсутствии гравитации было бы крайне затруднительно. Поджиг кассеты осуществлялся за счет тепла галогеновой лампы. Из-за неудачного исполнения конструкции нагревательного элемента в генераторе вероятность его безотказной работы составляла 0,5. С той же вероятностью обеспечивался запуск кассеты при работающем нагревателе. При извлечении отработанной кассеты требовалась крайняя осторожность, чтобы кассета не рассыпалась в порошок (последствия в невесомости очевидны). Отработанная кассета подлежала тщательной упаковке с последующей герметизацией, т.к. через несколько часов при контакте с атмосферной влагой кассета выделяла щелочь в виде желе, которая при случайном попадании на предметы приводила к разрушению материала. Негативные отзывы космонавтов при подготовке и регулярные обращения к разработчику ГКС привели к кардинальному решению по удалению с МКС обоих комплектов генераторов в начале 2014 года.

Третьим источником кислорода на борту РС МКС служит система запасов кислорода или воздуха, доставляемая грузовым кораблем «Прогресс».

Другой задачей при формировании атмосферы МКС является удаление углекислого газа, выделяемого при дыхании членами экипажа. На орбитальной станции «Мир» впервые была установлена регенерационная система очистки атмосферы от углекислого газа «Воздух», работа которой основана на использовании сорбентов из молекулярных сит и предусматривающая одновременно адсорбцию из отсека и десорбцию в космический вакуум углекислого газа.

В настоящее время побочный продукт электролиза воды – водород на российском сегменте МКС также, как и углекислый газ, выбрасывается за борт. Но уже более 35 лет назад в НИИхиммаш разработана система переработки углекислого газа и водорода на основе реактора Сабатье, на выходе которого получают воду и метан. Вода идет на получение кислорода, а метан может использоваться в качестве топлива для двигателей коррекции. Ни на орбитальной станции «Мир», ни на РС МКС реактор Сабатье не был уста-

новлен. На американском сегменте МКС нашими партнерами проводились испытания реактора Сабатье около трех лет, выявившие ряд его недоработок.

Подготовка космонавтов к работе с системой очистки атмосферы от углекислого газа «Воздух» проводится на специализированном стенде-тренажере «Воздух» (рис. 11) и полунатурном макете системы комплексного тренажера РС МКС.

Помимо получения кислорода и удаления углекислого газа разработаны системы очистки атмосферы от микропримесей: блок очистки атмосферы от микропримесей – БМП (рис. 12), фильтр вредных примесей – ФВП (рис. 13), фильтр А-2 для очистки атмосферы от продуктов горения после пожара, устройство обеззараживания воздуха от бактерий «Поток» (рис. 14).



Рис. 11. Специализированный стенд-тренажер системы «Воздух»



Рис. 12. Стенд-тренажер очистки атмосферы от микропримесей – БМП



Рис. 13. Фильтр вредных примесей



Рис. 14. Устройство обеззараживания воздуха «Поток»

В перспективе для обеззараживания атмосферы станции планируется использовать установку на основе фотокатализа.

Используемые при подготовке космонавтов стенды-тренажеры: «Электрон-ВМ», «Воздух», БМП, ТГК, ФВП, поглотительный патрон для удаления углекислого газа, «Поток» – являются полунатурными моделями систем формирования атмосферы на борту МКС. Наличие штатных бортовых систем и их пневмогидравлических схем обеспечивает высокий уровень подготовки космонавтов по формированию атмосферы МКС за счет наглядности и хорошего усвоения материала в предельно сжатые сроки. Закрепление материала проводится на комплексном тренажере с использованием полунатурного моделирования и штатной компоновки бортовых систем.

Формирование атмосферы орбитальной станции включает также регулирование общего давления, контроль герметичности отсеков и стыков, газовый анализ.

Регулирование давления в станции обеспечивается клапанами выравнивания давления, клапанами сбрасывания давления и др. Верхняя граница общего давления (786 мм рт. ст.) обусловлена прочностными характеристиками модулей американского сегмента станции. Нижняя граница обусловлена содержанием кислорода в атмосфере, а также требованиями технических характеристик работы систем жизнеобеспечения американского сегмента МКС.

Нет необходимости говорить о значимости контроля герметичности отсеков станции. Для этих целей на орбитальной станции имеются мановакуумметры, датчики давления, задействованные в работе алгоритма поиска негерметичного отсека и определении резервного времени (оставшееся время до падения давления в отсеках, при котором необходимо покинуть станцию). Один из наиболее эффективных методов, используемых при подготовке космонавтов к выполнению данных операций, предусматривает действия космонавтов в условиях реального падения давления. Этот метод сравнительно недавно еще использовался на тренировках в барокамерном комплексе, в котором были размещены аналоги служебного модуля российского сегмента МКС и ТПК «Союз». В настоящее время тренировки по разгерметизации станции проводятся с помощью условного падения давления по радиоуправляемому мановакуумметру.

Трудно переоценить роль подготовки космонавтов к контролю газового состава атмосферы станции. В бортовых системах МКС присутствуют аммиак, водород, триол, ртуть, щелочной электролит, серная кислота. Попадание этих веществ в атмосферу делает ее токсичной со всеми вытекающими последствиями. Подготовка космонавтов проводится по имеющимся на борту как по непрерывно действующим газоанализаторам, так и по переносным, используемым периодически и в экстренных случаях.

После формирования атмосферы орбитальной станции, следующей задачей систем жизнеобеспечения является обеспечение экипажа водой. По результатам эксплуатации ОПС «Мир» и МКС общие потребности экипажа

в воде с учетом средств санитарно-гигиенического обеспечения, получения кислорода путем электролиза воды и смыва при приеме урины в физико-химическом регенерационном комплексе жизнеобеспечения составляют 4,2 л/чел./сут.

Вода необходима для подготовки рациона питания и потребления ее в чистом виде, для санитарно-гигиенических процедур, в качестве смывной воды при пользовании ассенизационно-санитарным устройством (АСУ), для получения кислорода. На орбитальной станции имеются три источника воды: на запасах (доставляемая с Земли), вода, регенерируемая из конденсата атмосферной влаги и из урины.

Получение воды из конденсата атмосферной влаги в условиях орбитальной космической станции обеспечивает потребности в воде на 35 % (1,5 л/чел./сут.). Выделяемая человеком урина является вторым по содержанию воды видом регенерируемых отходов жизнедеятельности, регенерация которого обеспечит 30 % потребностей в воде (1,3 л/чел./сут.). В данное время на РС МКС установлены система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги (СРВ-К) и две системы регенерации воды из урины (СРВ-У-РС в модуле МИМ1 и СРВ-УМ в МЛМ).

Приведем небольшой экскурс в историю создания этих систем. В 60-х годах предыдущего столетия с целью проверки принципиальной возможности регенерационного жизнеобеспечения водой НИИхиммаш разработал и изготовил системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги обитаемого отсека, урины, санитарно-гигиенической воды. В 1967–1968 гг. регенерационные системы работали при проведении уникального эксперимента, обеспечивая в течение года экипаж из трех человек, находившийся в гермомакете межпланетного корабля. Впервые была экспериментально подтверждена принципиальная возможность длительного регенерационного жизнеобеспечения человека, пребывающего в замкнутом ограниченном пространстве [2].

В 1968–1973 гг. были разработаны и испытаны системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги и из топливных элементов (ТЭ) для лунного корабля, а также системы для долговременных орбитальных станций – «Прибой» («Салют-3» и -5) и СРВ-К («Салют-4», -6 и -7). В январе 1975 года впервые в мировой практике пилотируемых полетов экипаж «Салюта-4» использовал для питья и приготовления пищи регенерированную из конденсата воду. Система работала в течение всего пилотируемого полета станции. Аналогичные системы работали на станциях «Салют-6» (1977–1981 гг., 570 суток) и «Салют-7» (1982–1986 гг., 743 суток). Система СРВ-К обеспечивала 50 % потребляемой экипажами воды, очищала воду с просроченными сроками хранения, подогревала воду для санитарно-гигиенических процедур.

На орбитальной станции «Мир» впервые в мировой практике был реализован целый комплекс систем жизнеобеспечения: системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги (СРВ-К) и урины (СРВ-У), система

регенерации санитарно-гигиенической воды (СРВ-СГ), система электролизного получения кислорода «Электрон-В» и система очистки атмосферы от вредных примесей БМП. Эти системы изготовлены НИИХиммашем и его Щелковским опытным заводом. В результате за весь период эксплуатации станции «Мир» получена экономия массы доставляемых грузов – 34 000 кг и исключена необходимость четырех пусков ТКК типа «Прогресс» в год [2].

Впервые в мировой практике система регенерации воды из урины СРВ-У работала на модуле «Квант» ОПС «Мир» [3]. За 9,5 лет эксплуатации из системы было получено 6000 литров регенерированной воды, использованной для электролизного получения кислорода. Система была основана на наиболее простом и надежном методе атмосферной мембранной дистилляции. Недостатками этого метода являются относительно высокие затраты энергии и ограниченный ресурс мембранного испарителя, определяемый забивкой мембран. В связи с этим для МКС была предложена система, основанная на методе вакуумной дистилляции в центробежном многоступенчатом вакуумном дистилляторе. В такой системе удельные затраты энергии в 10 раз меньше, а производительность в 2 раза выше, чем в системе, работавшей на станции «Мир». По этому принципу была разработана и изготовлена система регенерации воды из урины СРВ-УМ для модуля МЛМ. В связи с задержкой введения МЛМ в состав МКС система была существенно переработана (с уменьшением габаритов и массы более чем в два раза) в научную аппаратуру СРВ-У-РС и установлена в модуле МИМ1 в рамках космического эксперимента «Сепарация». Работа с системой была начата в апреле 2018 года.

С конца августа 2020 года начата подготовка космонавтов по системе регенерации воды из урины для МЛМ (СРВ-УМ). Следует отметить, что конструкции СРВ-У-РС и СРВ-УМ отличаются кардинально, за исключением центробежного многоступенчатого вакуумного дистиллятора (ЦМВД). При этом конструкторские решения СРВ-У-РС более прогрессивны и оптимальны, чем в СРВ-УМ. Система регенерации воды из урины на модуле МИМ1 обладает лучшими характеристиками по сравнению с СРВ-УМ в плане веса, объема и производительности. Теоретическая подготовка по СРВ-УМ также проходит в ЦПК имени Ю.А. Гагарина, а практическая подготовка – на комплексном стенде в РКК «Энергия». Назвать эту подготовку практической можно с большими оговорками, т.к. она включает ознакомление с компоновкой блоков системы и не допускает работу с двумя пультами управления.

Обратимся к особенностям подготовки космонавтов по эксплуатации этих систем.

Первое с чем пришлось столкнуться – это определенные проблемы с написанием курсов лекций по системам. Если техническое описание СРВ-У-РС относительно свежее, то описание СРВ-УМ 7-летней давности. При этом системы постоянно дорабатывались, и технические описания соответствовали истинному состоянию систем на 70–80 %, что выяснялось при деталь-

ном изучении их функционирования. Это же можно сказать и про бортовые инструкции.

К сожалению, в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» на комплексном тренажере РС МКС отсутствуют полунатурные модели СРВ-У-РС и СРВ-УМ (также как системы «Электрон-ВМ» и АСУ-СПК-У), где можно было бы отрабатывать все операции. Выходом из ситуации по подготовке к работе с пультами может быть создание виртуальной модели пультов управления СРВ-У-РС и СРВ-УМ. Отработку операций по замене емкостей, коммутации разъемов, подготовке систем к работе возможно реализовать оснащением МИМ1 и МЛМ габаритно-весовыми макетами СРВ-У-РС, СРВ-УМ, АСУ-СПК-У и «Электрон-ВМ».

При эксплуатации систем жизнеобеспечения космонавт должен выполнить значительное число операций по выдаче команд, переводу тумблеров и переключателей в требуемое положение, открытию клапанов, контролю индикации транспарантов (например, при запуске системы «Воздух» необходимо выполнить до 30 операций). При работе с АСУ космонавт должен четко контролировать последовательность загорания транспарантов на пульте данной системы и время выдачи информационного сообщения. При выполнении операций велика вероятность ошибочных действий. Чтобы исключить такого рода ошибки, специалист по подготовке космонавтов добивается полного представления космонавтом физических процессов, происходящих в системе при выдаче управляющих воздействий.

Подготовка космонавтов включает также формирование знаний, навыков и умений по техническому обслуживанию систем жизнеобеспечения. На борту на эти процедуры каждые сутки экипажу планируется до 40 минут рабочего времени. К ним относятся перекачка воды из запасов в расходные емкости, замена емкостей с уриной, смывной водой, консервантом, контейнеров с твердыми отходами и т.п. Подготовка космонавтов включает теоретические занятия с обязательным продолжением практических занятий с использованием реального оборудования и бортового инструмента и завершается серией тренировок на комплексном тренажере РС МКС в составе экипажа. При этом, как правило, четырехчасовые тренировки на комплексном тренажере станции включают перечень операций по эксплуатации, техническому обслуживанию и отработке нештатных ситуаций практически всего комплекса систем жизнеобеспечения.

В длительных полетах не менее сложную проблему представляет вопрос питания. Основную часть рационов питания составляют сублимированные продукты. Свежеприготовленные продукты расфасовываются в полиэтиленовые пакеты на порции, замораживаются при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и помещаются в вакуум. Происходит их сублимация, то есть замороженная жидкость из продуктов переходит в газообразное состояние, минуя жидкую фазу. При этом сублимированная пища приобретает малый вес и способность храниться при комнатной температуре не менее года. В последние годы

значительно расширился ассортимент продуктов питания, но по-прежнему не редки случаи подтекания пакетов при восстановлении продуктов водой.

Крайне важным разделом подготовки по системам жизнеобеспечения является подготовка космонавтов и астронавтов по средствам пожарообнаружения и пожаротушения. На российском сегменте МКС используются два типа систем пожарообнаружения, различающихся принципом работы датчиков. Первый тип датчиков, расположенных в служебном модуле, реагирует на прозрачность атмосферы. При возникновении пожара образующийся дым вызывает срабатывание датчика и выдачу аварийной сигнализации. Второй тип датчиков, установленных во всех остальных модулях российского сегмента, реагирует на появление аэрозолей, образующихся при нагреве изоляции электрических проводов в случаях короткого замыкания, что является предвестником возникновения пожара.

В качестве средств пожаротушения на борту российского сегмента применяются два типа жидкостных огнетушителей, отличающихся временем работы и возможностью использования при тушении жидкости или пены (рис. 15 (а, б)).

Средствами защиты органов дыхания и зрения от токсичных газо- и парообразных продуктов, образующихся при пожарах и авариях, являются изолирующие противогазы. На рис. 16 (а, б, в) представлены модификации противогазов. На сегодняшний день используется третья модификация противогазов. Первая модель изготавливалась в виде маски, патрона, регенерирующего выдыхаемые пары воды и углекислый газ в кислород, и дыхательного мешка. Вторая и третья модификации противогаза вместо лицевой маски имеют капюшон для защиты головы. Подготовка экипажей по использованию средств защиты от пожара проводится в рамках тренировок на комплексном тренажере РС МКС с использованием установки генерации дыма.



а) Огнетушитель космический ручной ОКР-1



б) Огнетушитель струйно-пенный ОСП-4

Рис. 15. Средства пожаротушения

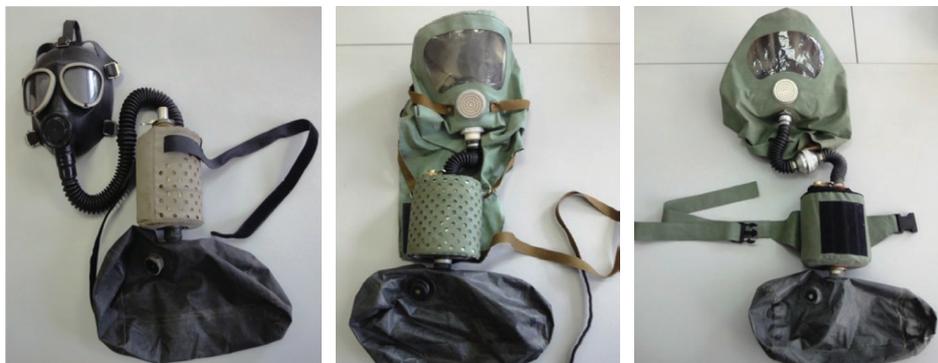
а) первая модель
противогазаб) вторая модель
противогазав) третья модель
противогаза

Рис. 16. Модификации противогазов

На российском сегменте МКС в отличие от станции «Мир» не нашла своего места душевая кабина с системой регенерации санитарно-гигиенической воды, потому что экспериментальная отработка показала ее неустойчивость из-за конструктивных особенностей. Исчезли морозильник и холодильник для хранения продуктов. Компоновка систем не получила вид универсальных стоек с модульным размещением блоков, регенерационные системы не претерпели кардинальных изменений, не установлен реактор Сабатье, а объем ручных операций при обслуживании систем не сократился. При этом трудозатраты экипажа на эксплуатацию СЖО остаются по-прежнему самыми высокими по сравнению с другими служебными бортовыми системами.

В то же время следует отметить, что опыт эксплуатации систем жизнеобеспечения с постоянной их модернизацией на ОПС «Мир» и РС МКС позволил накопить бесценный научно-технический задел, который может быть использован для создания различных вариантов построения КСОЖ по максимально замкнутому циклу (по кислороду, углекислому газу и воде) для будущих межпланетных полетов к Луне и Марсу.

Выводы

1. 54 года назад Советский Союз стал основоположником создания космических регенерационных систем. За этот период были разработаны системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги, система электролизного получения кислорода «Электрон-ВМ», система очистки атмосферы от углекислого газа «Воздух», система очистки атмосферы от микропримесей, система регенерации санитарно-гигиенической воды и система регенерации воды из урины. В процессе летной эксплуатации системы жизнеобеспечения постоянно совершенствовались, что повышало их производительность, надежность и ресурс.

2. Опыт подготовки космонавтов с использованием штатных бортовых систем, полунатурного моделирования, в условиях реального изменения давления в барокамерном комплексе и тренировок на комплексном тренажере РС МКС показал высокий уровень подготовленности космонавтов к эксплуатации систем жизнеобеспечения в космическом полете.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прошкин В.Ю. Анализ отключений системы генерации кислорода «Электрон-ВМ» на Международной космической станции // Пилотируемые полеты в космос. Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 72.
- [2] Регенерационные системы жизнеобеспечения экипажей космических станций / Самсонов Н.М., Бобе Л.С., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Курмазенко Э.А., Романов С.Ю., Железняков А.Г., Баранов В.М., Синяк Ю.Е. // Известия РАН. Энергетика. – 2009. – № 1. – С. 61–68.
- [3] Перспективы развития систем регенерации воды обитаемых космических станций / 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. // Известия РАН. Энергетика. – 2009. – № 1. – С. 69–78.

REFERENCES

- [1] Proshkin V.Yu. Analyzing the Failures of the “Elektron-VM” Oxygen Generation System on Board the International Space Station // Manned Space Flights. Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference. – 2021. – p. 72.
- [2] Regenerating Life-support Systems of Space Stations / Samsonov N.M., Bobe L.S., Gavrillov L.I., Kochetkov A.A., Kurmazenko E.A., Romanov S.Yu., Zheleznyakov A.G., Baranov V.M., Sinyak Yu.E. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energetics. – 2009. – No 1. – pp. 61–68.
- [3] Prospects of Development of Manned Space Water Regeneration Systems / 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. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energetics. – 2009. – No 1. – pp. 69–78.