

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА БОРТИНЖЕНЕРА-12
68-й ЭКСПЕДИЦИИ МКС, СПЕЦИАЛИСТА КОРАБЛЯ
SPACEX DRAGON CREW-5 (ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ)**

О.В. Котов, А.В. Поляков, А.П. Гришин, В.И. Почуев,
О.А. Савенко, Е.Г. Хорошева, А.В. Сальников, Т.Г. Шушунова

Канд. мед. наук О.В. Котов; канд. мед. наук А.В. Поляков;
канд. мед. наук В.И. Почуев; О.А. Савенко; Е.Г. Хорошева;
канд. мед. наук А.В. Сальников; Т.Г. Шушунова (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)
А.П. Гришин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлены результаты медицинского обеспечения безопасности полета бортинженера-12 68-й экспедиции МКС, специалиста корабля SpaceX Dragon Crew-5. Дается краткая характеристика системы медицинского обеспечения, приводятся основные итоги выполнения программы контроля состояния здоровья космонавта и среды обитания РС МКС во время полета, режима труда и отдыха, а также использования бортовых средств профилактики для поддержания работоспособности и здоровья космонавта в полете.

Ключевые слова: медицинское обеспечение, медицинский контроль, система профилактики, среда обитания, режим труда и отдыха

**Medical Aspects of Ensuring the Flight Safety of Flight Engineer-12
for Expedition ISS-68, Mission Specialist for SpaceX Dragon
Crew-5 (Express Analysis). O.V. Kotov, A.V. Polyakov, A.P. Grishin,
V.I. Pochuev, O.A. Savenko, E.G. Khorosheva, A.V. Salnikov,
T.G. Shushunova**

The paper gives the results of medical support for flight safety of flight engineer-12 for Expedition ISS-68, mission specialist for SpaceX Dragon Crew-5 and a brief description of the medical support system such as the main results of carrying out the program of monitoring of cosmonauts' health state and the environment on the ISS RS in the course of the mission, work-rest schedule as well as the use of onboard preventive means to maintain the performance and health of a cosmonaut in the flight.

Keywords: medical support, medical monitoring, preventive system, human environment, work-rest schedule

Выполнение программы полета

Полет в составе экспедиций:

– МКС-68 с 06–14.10.2022 г. в составе 11 человек (из них 3 космонавта Роскосмоса);

– МКС-68 с 14.10.2022 г. – 03.03.2023 г. в составе 7 человек (из них 3 космонавта Роскосмоса);

– МКС-68 с 03–11.03.2023 г. в составе 11 человек (из них 4 космонавта Роскосмоса).

Длительность полета российского члена экипажа БИ-12, совершившего полет на корабле SpaceX Dragon Crew-5 на станцию в составе экспедиции МКС-68, составила 157 суток.

Этапы полета экспедиции

05.10.2022 г. – выведение SpaceX Dragon Crew-5 – 16:00 GMT.

06.10.2022 г. – стыковка к АС МКС – 21:01 GMT.

24.02.2023 г. – выведение «Союза МС-23» – 00:24 GMT.

26.02.2023 г. – стыковка к МИМ2 МКС – 00:58 GMT.

02.03.2023 г. – выведение SpaceX Dragon Crew-6 – 05:34 GMT.

03.03.2023 г. – стыковка к Node2 – 06:39 GMT.

12.03.2023 г. – расстыковка SpaceX Dragon Crew-5 – 07:19 GMT.

Время приводнения – 02:02 GMT.

Организация режима труда и отдыха (РТО) экипажа

РТО на борту МКС осуществлялся в соответствии с основными правилами и ограничениями (International Space Station Generic Groundrules, and Constraints. SSP 50261-02) [1].

06.10.2022 г. на МКС прибыл корабль SpaceX Dragon Crew-5 с российским членом экипажа на борту. Стыковка с МКС прошла в штатном режиме и состоялась в 21:21 GMT. Переходной люк был открыт в 22:51 GMT. Отход ко сну состоялся в 03:30 GMT 07.10.2022 г. Сон продлился до 12:00 GMT 07.10.2022 г., продолжительность составила 8,5 часов. Далее экипаж перешел к штатному расписанию.

28.10.2022 г. изменение РТО было обусловлено прибытием «Прогресса МС-21». Стыковка прошла штатно в 02:48 GMT к МИМ2 МКС. Переходной люк был открыт в 05:58 GMT. Работы выполнялись в ночное время, в связи с чем экипажу планировалось дополнительное время для отдыха продолжительностью 15,5 часов.

17.11.2022 г. была проведена операция «Выход» (ВКД-55). РТО экипажа в день проведения ВКД был напряженный, космонавты работали в ночное время суток. Время работ экипажа, проводившего ВКД, составило 16 часов. Общее время бодрствования – 19,5 часов.

Запланированная на 25.11.2022 г. ВКД-56 была отменена в связи с нештатной работой насосов системы водяного охлаждения СК «Орлан-МКС» № 4 и № 5. Рабочий период был сокращен с 16,5 до 9 часов. Со следующих суток экипаж вернулся к штатному расписанию.

15.12.2022 г. планировалось повторное проведение ВКД-56. Работы планировались на ночное время, в связи с этим менялся РТО экипажа: сдвигались

часы сна и бодрствования. Время сна/отдыха, предшествовавшее ВКД-56, составило 19 часов 20 минут. Зона бодрствования в день ВКД составила 19 часов 30 минут. Во время заключительных операций по подготовке к «Выходу» произошла нештатная ситуация с кораблем «Союз МС-22», в связи с чем ЦУП принял решение о прекращении работ по ВКД-56 и возвращении экипажа на станцию. После завершения всех процедур по прекращению ВКД экипажу был предоставлен отдых продолжительностью 16 часов 30 минут.

07.02.2023 г. в 04:56 GMT состоялась расстыковка «Прогресса МС-20» с МКС. В связи с этим отмечалось незначительное изменение РТО: отход ко сну – 06.02.2023 г. в 19:00 GMT, подъем состоялся 07.02.2023 г. в 03:30 GMT. Продолжительность сна экипажа 8 часов 30 минут, зона бодрствования – 15 часов 30 минут. 07.02.2023 г. – отход ко сну в 19:00 GMT, 08.02.2023 г. – подъем в 06:00 GMT. Время сна/отдыха составило 11 часов. После чего экипаж перешел к штатному расписанию.

18.02.2023 г. в 02:26 GMT осуществлена расстыковка с «Прогрессом МС-21». В этот период планировались незначительные изменения РТО экипажа, характеризующиеся пробуждением в ночные часы и проведением работ по подготовке к расстыковке грузового корабля с МКС в течение 2 часов 15 минут.

26.02.2023 г. на МКС в беспилотном режиме прибыл «Союз МС-23». Стыковка в 00:58 GMT, переходной люк был открыт в 03:30 GMT. 25.02.2023 г. экипажу были предоставлены дополнительные часы сна/отдыха с 16:30 GMT до 21:30 GMT. Работы по приему «Союза МС-23» длились около 12 часов. Отход экипажа ко сну состоялся в 13:00 GMT и продлился 17 часов. После чего экипаж перешел к штатному расписанию.

03.03.2023 г. к МКС прибыл SpaceX Dragon Crew-6 с российским членом экипажа на борту. Планировалось незначительное изменение РТО – сдвиг периода сна на 30 минут.

11.03.2023 г. произведена расстыковка SpaceX Dragon Crew-5 с российским членом экипажа на борту. Планировалось незначительное изменение РТО экипажа.

Медицинский контроль

Медицинское обеспечение осуществлялось в соответствии с требованиями по медицинским операциям на МКС (International Space Station Medical Operations Requirements Documents – ISS MORD) [6]. В ходе полета оперативно передавались методические указания по проведению медицинских обследований и по другим вопросам, касающимся медицинского обеспечения экипажа.

БИ-12 МКС-68 выполнила весь объем запланированных штатных операций периодического медицинского контроля состояния здоровья и среды обитания.

Оперативный медицинский контроль проводился во время:

- проверки через СК – 10.11.2022 г.;
- тренировки в СК – 14.11.2022 г.;
- подготовки и проведения ВКД-55 – 17.11.2022 г.;
- проверки через СК – 23.11.2022 г.;
- подготовки и проведения ВКД-56 – 25.11.2022 г. (ВКД отменена в связи с нештатной работой системы водяного охлаждения);
- проверки через СК – 12.12.2022 г.;
- подготовки и проведения ВКД-56 – 15.12.2022 г. (ВКД отменена в связи с нештатной ситуацией с «Союзом МС-22»);
- ОДНТ-тренировок – 17, 21, 24, 27.02.2023 г. и 03, 06, 07.03.2023 г.

Результаты динамического медицинского контроля свидетельствовали об адекватных физиологических реакциях, достаточных функциональных резервах организма и отсутствии каких-либо существенных отклонений в функциональном состоянии организма космонавта, что обеспечило сохранение высокого уровня работоспособности на всех этапах экспедиции.

Психологический климат в экипаже и взаимодействие с наземными службами сохранялись на всем протяжении полета на достаточно высоком уровне и носили благоприятный характер.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

Параметры микроклимата колебались в нормальных пределах за исключением пониженной относительной влажности, температуры воздуха в районе тренажеров и рабочего стола [2].

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра колебалось в пределах 735–769 мм рт. ст.

Повышение температуры воздуха в основном отмечалось в периоды «солнечной» орбиты станции. Для снижения температуры воздуха в СМ СОТР переводилась в максимальный режим работы: включались в параллельную работу КОХ1 и КОХ2; РРЖ перенастраивались с 14 на 10 °С.

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента: БМП, СРВ-К2М, СКВ1/СКВ2, СОА «Воздух», СКО «Электрон-ВМ». УОВ «Поток 150МК» в СМ и ФГБ включались ежедневно на 6 часов.

Периодически проводились наддувы станции воздухом, кислородом и азотом из ТГК, а также средствами АС.

Замечания по работе СОЖ, СОГС и СОТР

09–10.10.2022 г. отмечалась нештатная работа СКВ2 – периодически происходило ее самопроизвольное отключение (по причине «температура хладона ниже нормы»). СКВ1 была отключена с 07.10.2022 г., СКВ2 – с 10.10.2022 г.

15, 17 и 18.10.2022 г. включалась СКВ2, но через несколько часов работы самопроизвольно отключалась (по причине «температура хладона ниже нормы»).

20, 21 и 24.10.2022 г. СКВ2 самопроизвольно отключалась через несколько часов работы (по причине «температура хладона ниже нормы»).

25.10.2022 г. СКВ2 включалась в работу на 5 часов.

26.10.2022 г. проведена дозаправка СКВ2 хладоном, после чего система была включена в работу.

27.10.2022 г. СКВ1 была штатно включена в работу после РВР.

16.11.2022 г. СКО «Электрон-ВМ» в МЛМ отключалась (перед ВКД).

18.11.2022 г. включена СКО «Электрон-ВМ» в СМ.

23.11.2022 г. в 19:42 GMT в ПхО сработала аварийно-предупредительная сигнализация о наличии пожара. По докладу экипажа запаха гари и дыма нет, показания газоанализатора CSA-CP в норме. Срабатывание сигнализации признано ложным.

23.12.2022 г. СОА «Воздух» отключена в связи с нештатной работой ПКО. После проведенных РВР работоспособность системы восстановить не удалось. Для поддержания уровня CO₂ включались поглотительные патроны.

11.01.2023 г. экипаж доложил о неполадках дисплея УОВ «Поток 150МК» в СМ: моргания – индикация не соответствует режиму работы прибора. Установка была отключена.

12.01.2023 г. включена после РВР.

10.01.2023 г. отключена СКВ2 в связи с отказом НОК-2.

16.01.2023 г. по результатам тестирования – НОК-2 неработоспособен. Ситуация анализировалась специалистами.

02.02.2023 г. КЭ доложил, что СКО «Электрон-ВМ» в МЛМ отключилась и рядом имеется запах, «похожий на клей «Момент» или запах рыбы». Позже КЭ доложил, что БД (блок дожигания) СКО «Электрон-ВМ» горячий и запах также исходит из СКО «Электрон-ВМ».

03.02.2023 г. включена СКО «Электрон-ВМ» в СМ.

10.02.2023 г. экипаж доложил о неисправности АСУ в МЛМ (горит транспарант «консервация некачественная»). Экипажу рекомендовано использовать АСУ в СМ.

03.03.2023 г. экипажу дано разрешение пользоваться АСУ в МЛМ (в ручном режиме с выполнением рекомендаций специалистов).

13.03.2023 г. АСУ в МЛМ после РВР функционировала в штатном режиме.

Радиационная обстановка на МКС

За время полета РО внутри станции в основном оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у членов российского экипажа на момент завершения экспедиции МКС-68 составила: у БИ-12 – 48,14 мГр, у БИ-17 – 7,32 мГр, у БИ-4/КЭ – 53,05 мГр, у БИ-5/БИ-2 – 57,64 мГр, что не превышает допустимые значения доз, определенных согласно ГОСТ 25645.215-85 [3] и Flight Rules В 14.2.2-12 [2].

Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием дозиметра «Пилле-МКС».

Во время выполнения ВКД проводился контроль радиационной безопасности экипажа с использованием датчиков дозиметра «Пилле-МКС».

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

На протяжении всего полета санитарно-гигиеническую обстановку на станции экипаж оценивал в основном как комфортную. Показатели санитарно-гигиенического состояния соответствовали требованиям документа [4].

Санитарно-гигиенические условия в каюте в МЛМ и в самом МЛМ были комфортные. Ежедневно экипаж проводил плановую уборку станции.

При плановом контроле качества атмосферы РС МКС (в СМ) пробоотборниками ИПД СО и ИПД-NH₃ монооксид углерода и аммиак не обнаружены.

Исследование акустической обстановки

Определение индивидуальной акустической нагрузки у КЭ и БИ-5 проводилось с 05–06.10.2022 г. за дневной и ночной период времени с использованием акустического монитора в режиме акустической дозиметрии. Полученные результаты оценивались на соответствие ГОСТ Р 50804-95 [4] и SSP 50094 [5].

У БИ-12 определение индивидуальной акустической нагрузки проводилось с 19–20.10.2022 г. за дневной и ночной период времени с использованием АМ hardware в режиме акустической дозиметрии.

Местом сна российского члена экипажа БИ-12 на момент проведения исследований являлась каюта МЛМ.

Анализ полученных данных показал, что у БИ-12 на 13–14-е сутки полета шумовая нагрузка превышала ПДУ за дневной период на 13,4 дБА, а за ночной период на 1,6 дБА с максимальными значениями за дневной период в конце дня.

Рекомендации БИ-12 по снижению акустической нагрузки:

1. Использовать СИЗ от шума (беруши/наушники с активным шумоподавлением) в период работы с пылесосом, центрифугой, в местах расположения «шумящего» оборудования и при открытых панелях, а также во время занятий на спортивных тренажерах.

2. Закрывать дверь каюты на период сна и устанавливать комфортный режим работы каютного вентилятора как по воздушному потоку, так и по уровню шума.

С 18–19.01.2023 г. проводилось очередное определение индивидуальной акустической нагрузки у БИ-12 за дневной и ночной период времени с использованием АМ hardware в режиме акустической дозиметрии.

Место сна российского члена экипажа на момент проведения исследований: БИ-12 – каюта МЛМ.

Анализ полученных данных показал, что у БИ-12 на 104–105-е сутки полета шумовая нагрузка превышала ПДУ за дневной период на 9,0 дБА, а за ночной период на 2,2 дБА. Максимальные значения уровней шума превышали уровень опасности (85 дБА) в течение короткого времени за дневной

период: один раз во время занятия на спортивном тренажере БД-2 и один раз во время срабатывания аварийной сигнализации.

По сравнению с предыдущими замерами от 19–20.10.2022 г. отмечено снижение шумовой нагрузки за дневной период на 4,4 дБА при отсутствии динамики за ночной период.

Статические измерения эквивалентных уровней звука за дневной и ночной периоды не проводились.

Контроль микроэкоферы среды обитания

03.01.2023 г. членами экипажа проведены микробиологические отборы проб газовой среды в 16 зонах с последующим инкубированием проб, фотосъемкой выросших колоний микроорганизмов на борту МКС и передачей изображения на Землю.

Бактерии были обнаружены во всех исследованных зонах. Количественный уровень обсемененности воздушной среды представителями бактериальной флоры колебался от 10 до 120 КОЕ в 1 м³, что не превышало регламентируемый SSP 50260 MORD уровень для бактерий, равный 1000 КОЕ в 1 м³.

Фрагменты плесневых грибов были обнаружены в 7 из 16 исследованных зон. Содержание микромицетов в воздушной среде не превышало регламентируемый SSP 50260 MORD уровень для грибов, равный 100 КОЕ в 1 м³, за исключением одной зоны: в левой каюте СМ в районе спального места – 500 КОЕ в 1 м³.

Выводы:

- содержание бактерий в воздушной среде не превышало нормативный показатель, регламентируемый SSP 50260 MORD;
- содержание плесневых форм грибов в воздушной среде превышало нормативный показатель, регламентируемый SSP 50260 MORD, в одной зоне: СМ в левой каюте в районе спального места.

Питание и водопотребление

В сеансах радиосвязи на всем протяжении полета замечаний по питанию и водопотреблению не поступало. У члена экипажа МКС-68 БИ-12 аппетит оставался хорошим.

Вкус воды удовлетворял. Космонавт использовала буфетную систему, питаясь в соответствии со своими рационами. Продукты питания на МКС имелись в достаточном количестве.

Использование средств профилактики

ФТ планировались общей продолжительностью 2,5 часа на БД-2 и АRED/ВБ-3М.

По ежедневным докладам экипажа и данным объективного контроля ФТ выполнялись в полном объеме. По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на протяжении всего полета БИ-12 физические тренировки выполняла согласно форме 24 и рекомендациям специалистов ИМБП.

Информация по работе тренажеров

13.11.2022 г. в 13:41 GMT КЭ сообщил, что БД-2 неисправна. У двух торсионов сломаны 2 кронштейна слева (спереди и сзади). Это было зафиксировано БИ-5 при ФУ на БД-2. С борта передано на ШСС фото неисправной БД-2. 13.11.2022 г. экипажу рекомендовано вместо ФУ на БД-2 выполнять ФУ на ВБ-3М. С 14.11.2022 г. для БИ-12 планировались ФТ на ВБ-3М и ARED.

С 14–18.11.2022 г. тренировки на БД-2 не проводились в связи с неисправностью тренажера (заменены на ФТ на ВБ-3М и ARED).

16.02.2023 г. КЭ доложил, что на полотне тренажера БД-2 (в районе стыка) обнаружена небольшая трещина. Информация передана специалистам ПДС и ИМБП.

22.02.2023 г. во время выполнения ФУ на БД-2 БИ-12 сообщила, что на мониторе беговой дорожки возникло сервисное сообщение «нарушен обмен с устройством» и индикация на пульте «красная батарея». По рекомендации специалистов ИМБП выполнен перезапуск тренажера, сбой программы был устранен и БИ-12 продолжила тренировку.

10.03.2023 г. выполнена замена полотна тренажера БД-2. Тестирование работоспособности тренажера проведено без замечаний.

Заключение

В связи с возникшей нештатной ситуацией корабля «Союз МС-22» программа полета МКС-68 была изменена. Члены экипажа БИ-4/КЭ и БИ-5/БИ-2 продолжили работу в составе экспедиции МКС-69.

В период пребывания на станции космонавты приняли два грузовых корабля «Прогресс» и корабль «Союз», прибывший на МКС в беспилотном режиме.

ГМО ГОГУ проводила комплексную оценку состояния здоровья и работоспособности космонавтов, а также основных параметров среды обитания, контролировала соблюдение РТО и использование средств профилактики, участвовала в формировании решений по медицинскому обеспечению и выдаче медицинских заключений о степени годности членов экипажа к выполнению запланированных элементов программы полета. Психологический климат в экипаже на протяжении всего полета был позитивным.

Успешному выполнению программы полета способствовали высокий уровень предполетной подготовки, коллегиальные взаимоотношения участников полета, продуктивный деловой контакт со специалистами и операторами наземных служб и высокая ответственность членов экипажа за выполнение профессиональных задач.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АС – американский сегмент	РС МКС – российский сегмент МКС
АСУ – ассенизационно-санитарное устройство	РТО – режим труда и отдыха
БД-2 – бегущая дорожка РС МКС	СИЗ – средства индивидуальной защиты
БИ – бортовой инженер	СК О-МКС – скафандр «Орлан-МКС»
БМП – блок удаления микропримесей	СКВ – система кондиционирования воздуха
БО – бытовой отсек	СКО «Электрон-ВМ» – система обеспечения кислородом
ВБ-3М – велоэргометр бортовой	СМ – служебный модуль
ВКД – внекорабельная деятельность	СОА «Воздух» – система очистки атмосферы
ГМО – группа медицинского обеспечения	СОГС – система обеспечения газового состава
ГОГУ – Главная оперативная группа управления	СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности
ИМБП – Институт медико-биологических проблем	СОТР – система обеспечения теплового режима
ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера	СРВ-К2М – система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги
КОЕ – колониеобразующая единица	ТГК – транспортный грузовой корабль
КОХ – контур охлаждения	УОВ «Поток 150МК» – устройство очистки воздуха
КЭ – командир экипажа	ФГБ – функционально-грузовой блок
МИМ1 – малый исследовательский модуль 1	ФТ – физические тренировки
МИМ2 – малый исследовательский модуль 2	ФУ – физические упражнения
МКС – Международная космическая станция	ЦУП – Центр управления полетами
МЛМ – многоцелевой лабораторный модуль	ШСС – широкополосная система связи
НОК-2 – насос откачки конденсата	AM hardware – акустический монитор
ОДНТ – отрицательное давление на нижнюю часть тела	ARED – силовой тренажер АС МКС
ПДС – постоянно действующие системы	CSA-CP – американский анализатор состава атмосферы
ПДУ – предельно допустимый уровень	GMT – время Гринвичского меридиана
ПКО – перекидной клапан осушителя	ISS MORD – документ требований к медицинским операциям МКС
ПхО – переходный отсек	Node2 – соединительный модуль «Гармония»
РВР – ремонтно-восстановительные работы	
РО – радиационная обстановка	
РРЖ – регулятор расхода жидкости	

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Основные правила и ограничения. International Space Station Generic Ground-rules, and Constraints, Part 2: Execute Planning, SSP 50261-02.
- [2] Flight Rules B 14.2.2-12. ISS Generic Operational Flight Rules, Volume B, ISS Generic, Section 14, Aeromedical, NSTS 12820.
- [3] ГОСТ 25645.215-85. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Нормы безопасности при продолжительности полетов до трех лет.
- [4] ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования.
- [5] SSP 50094. Объединенный документ NASA/РКА по спецификациям и стандартам для РС МКС (метеороидная модель NASA).
- [6] SSP 50260. International Space Station Medical Operations Requirements Documents (ISS MORD).

REFERENCES

- [1] International Space Station Generic Ground Rules and Constraints, Part 2: Execute Planning, SSP 50261-02.
- [2] Flight Rules B 14.2.2-12. ISS Generic Operational Flight Rules, Volume B, ISS Generic, Section 14, Aeromedical, NSTS 12820.
- [3] GOST 25645.215-85. Radiation Safety of Spacecraft Crews During Space Flight. Safety Standards for Flight Duration up to Three Years.
- [4] GOST P 50804-95. Human Environment in Manned Spacecraft. General Medical and Technical Requirements.
- [5] SSP 50094. Consolidated NASA/RSA Document on Specifications and Standards for the ISS RS (NASA Meteoroid Model).
- [6] SSP 50260. International Space Station Medical Operations Requirements Documents (ISS MORD).