

ДИСКУССИИ

DISCUSSIONS

УДК 629.7.014.18

**К ВОПРОСУ О ПРОВЕДЕНИИ АДАПТАЦИОННО-РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ
ДЛЯ КОСМОНАВТОВ НА ТЕХНИЧЕСКОЙ БОРТОВОЙ
СИСТЕМЕ В УСЛОВИЯХ ОБИТАЕМОЙ ЛУННОЙ БАЗЫ**
М.С. Баранов, Л.Б. Строгонова

М.С. Баранов; докт. техн. наук, проф. Л.Б. Строгонова (МАИ)

Статья посвящена адаптационно-реабилитационным мероприятиям на бортовом комплексе, методике проведения эксперимента. Особенность конструкции технической бортовой системы позволяет достичь оптимального результата работоспособности.

Ключевые слова: обитаемая лунная база, пилотируемые полеты, работоспособность, техническая бортовая система, методика эксперимента

**On the Issue of Carrying out Rehabilitation and Adaptation
Measures for Cosmonauts on a Technical On-Board System in an
Inhabited Lunar Base. M.S. Baranov, L.B. Strogonova**

The paper is devoted to rehabilitation and adaptation measures on the on-board complex, the methodology of the experiment. The design feature of the technical on-board system allows achieving the optimal performance result.

Keywords: habitable lunar base, manned flights, performance, technical on-board system, experimental methodology

При длительном пребывании в условиях лунной гравитации результат программы полета будет зависеть от физического состояния и обеспечения работоспособности экипажа. Техническая бортовая система обеспечения работоспособности космонавтов является частью комплекса систем жизнеобеспечения и служит для обеспечения безопасности нормального функционирования, мониторинга за состоянием членов экипажа, поддержания навыков профессиональной деятельности при неблагоприятном воздействии факторов длительного пребывания в космическом полете или на планетах (рис. 1).

Однако для экспедиций к другим планетам, в том числе для лунных экспедиций, необходимо усовершенствовать техническую систему для создания принципиально новых блоков и систем, обрабатывающих информацию

о работоспособности, поступающую на бортовое оборудование, либо реабилитации. Все это необходимо для безопасности экипажа, сохранения его работоспособности в период межпланетного полета и его пребывания на планетах, в том числе и на Луне. В исследованиях, посвященных изучению природы двигательных нарушений в условиях невесомости, доказана важная роль опорной афферентации в механизмах управления позной активностью, которая изменяется в условиях лунной гравитации и возвращается в исходное состояние в земных условиях, а также показана возможность компенсации негативных эффектов невесомости в мышечной системе с помощью адекватных мышечных нагрузок. На этой основе разработаны методы профилактики во время длительных полетов, в основе которых лежат физические упражнения. Исследования, проведенные после космических полетов и в рамках наземного моделирования, показали, что микрогравитация оказывает негативное влияние на все сегменты моторной системы – от структуры мышечных волокон до координации сложных произвольных движений. Устранение или снижение гравитационной нагрузки существенно изменяет функционирование практически всех сегментов. В связи с изменением силы тяжести нарушается согласованное взаимодействие сенсорных систем, обеспечивающих процесс двигательного управления, значительные сдвиги возникают в состоянии исполнительного мышечного аппарата, что может привести к ошибкам выполнения полетного задания [1].

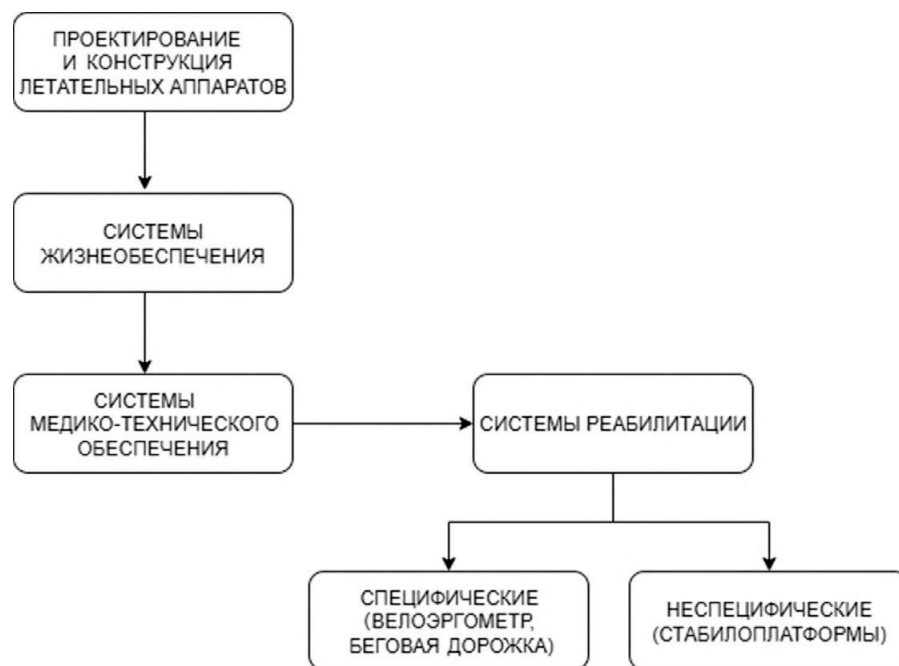


Рис. 1. Система медико-технического обеспечения как часть аванпроекта лунной базы

Системы медико-технического обеспечения, использующиеся в реабилитации костно-мышечной системы, обеспечивают контроль за работоспособностью и состоянием ориентации космонавта, измененным положением центра тяжести и биомеханикой движения конечностей при помощи узла обратной связи через зрительный канал. Все это проводится с помощью математических методов, включающих дифференциальные уравнения, начальные и граничные условия, без которых достижение результата работоспособности на адаптационно-реабилитационной бортовой технической системе невозможно.

Основные направления развития работоспособности для длительных и, в первую очередь, для межпланетных полетов должны быть сосредоточены на решении следующих проблем:

- обеспечение максимальной автономности адаптационно-реабилитационного процесса;
- выбор математических методов и средств диагностики состояний;
- расширение диагностических возможностей за счет создания автоматизированной экспертной системы на базе специализированного компьютера;
- создание бесконтактных систем для выполнения основных диагностических обследований;
- диагностические обследования должны ориентироваться на оценку степени напряжения регуляторных систем.

Под термином «работоспособность» принято понимать способность космонавта реагировать на нагрузку и выполнять, таким образом, какую-либо работу в зависимости от состояния здоровья, тренированности, уровня профессионализма, характера мотива трудовой деятельности, склонности к данной работе [2].

Состояния работоспособности характеризуются той или иной степенью потенциальных возможностей выполнения человеком конкретной деятельности. К ним относятся все состояния работоспособности: от мобилизации и вратывания до конечного порыва, а также состояния после рабочей релаксации и активного восстановления.

Технические характеристики адаптационно-реабилитационной бортовой системы

Разработка инновационной конструкции новой бортовой технической системы необходима для адаптации к тренировкам в условиях лунной базы и для реабилитации при возвращении на Землю. Адаптационная бортовая техническая система тренирует поддержку оптимальной рабочей позы космонавта при наличии вектора лунной гравитации за счет волны колебаний внутренней структуры платформы для правильного выполнения полетных программ. Узел обратной связи заставляет космонавта корректировать положение центра тяжести, помещенного в эпюру рабочей позы, предположительно близкой по значению в наземных исследованиях, при помощи его

сенсомоторной системы. После возвращения на Землю бортовая техническая система используется как реабилитационная. Для этого задействованы мышечная, сосудистая и нервная системы, отвечающие за положение человека в пространстве [3].

Новизна конструкции заключается в разработке новой опорной системы (мягкой опоры) с эффектом памяти стопы, который считывается при помощи сенсоров, включая «правило треугольника опоры». Адаптационно-реабилитационная бортовая техническая система (рис. 2) состоит из эластичного корпуса и фиксированных к нему датчиков (рис. 3), показания которых получаются с нее.



Рис. 2. Адаптационно-реабилитационная бортовая система

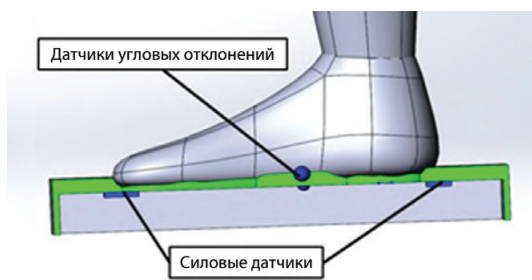


Рис. 3. Фиксированные датчики

Правило треугольника опоры стопы гласит, что при оптимальном распределении нагрузки на стопу масса тела распределяется между тремя точками, расположенными в треугольнике стопы (рис. 4). Вначале вычисляются измененный вес испытуемого (рис. 5) и координаты центра давления в текущий момент времени. По этим значениям строится статокинезиограмма. Для удобства восприятия начало координат помещено в математический центр статокинезиограммы. Далее вычисляются расстояния между положениями центра давления в текущий и предыдущий моменты времени и полная длина статокинезиограммы.

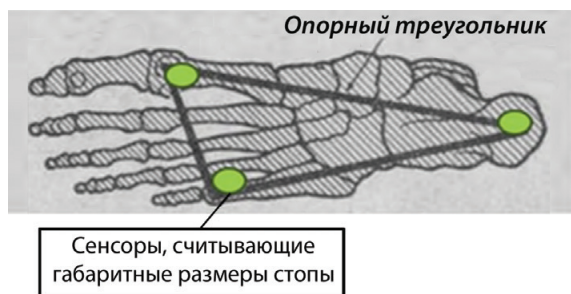


Рис. 4. Треугольник опоры

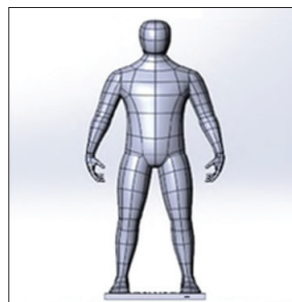


Рис. 5. Испытуемый на бортовой системе

Технические и массогабаритные характеристики приведены в таблице.

**Технические и массогабаритные характеристики
адапционно-реабилитационной технической бортовой системы**

Наименование	Массогабаритные характеристики		Технические характеристики
	габаритные размеры, мм	масса, кг	
1. Техническая бортовая система. Мягкая опора с эффектом памяти стопы, математическим обеспечением и узлом обратной связи через зрительный канал	$(\pm 10 \%) 300 \times 300$	10,0	Обеспечивает регистрацию координат центра приложенного давления. Частота дискретизации сигнала 1024 Гц
2. Силовые датчики (4 шт.), датчики углового отклонения (4 шт.)	$(\pm 10 \%) 45 \times 35 \times 20$	0,040	Электропитание осуществляется от аккумуляторной батареи с выходным напряжением 3,7 В
3. Блок управления и анализа информации (ПК)	$(\pm 10 \%) 500 \times 500 \times 700$	12,0	Электропитание – от сети переменного тока напряжением 220 В $\pm 10 \%$, 50 Гц

Алгоритм управления обратной связи технической бортовой системы через зрительный канал

Зарегистрированные показания со стопы поступают на блок компьютера через блок управления, после чего испытуемому представляется информация о положении его центра тяжести для дальнейшей корректировки положения на технической бортовой системе (рис. 6).

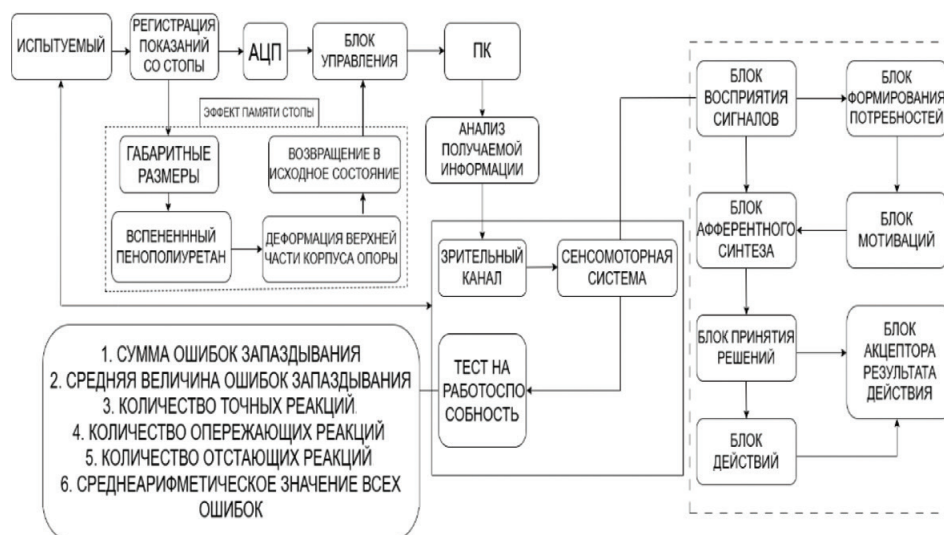


Рис. 6. Обратная связь технической бортовой системы

После отображения информации на экране монитора, получаемой через зрительный канал, начинает работать сенсомоторная система человека. Сенсорный сигнал поступает через анализатор в блок восприятия сигналов, где трансформируется, кодируясь в сигнал нервного импульса, поступающий в блок афферентного синтеза, где создается цель будущей сенсомоторной деятельности. Поступление сигнала в этот блок идет по двум путям. После поступления сигнала из блока восприятия сигналов в блок формирования потребностей формируются информационные сигналы, имитирующие возникновение потребностей при работе мозга. Величины отклонений переменных от нормального уровня передаются в блок мотиваций. Элементы блока мотиваций взаимодействуют между собой таким образом, что возбуждение одного элемента (определенного сенсорного сигнала) ослабляет возбуждение других, с которыми он соединен, благодаря чему этот элемент становится доминирующим, который генерирует возрастающий по амплитуде сигнал, поступающий в блок афферентного синтеза. Затем начинается информационный процесс, имитирующий проигрывание возможных вариантов будущих двигательных действий и их результатов в блоке принятия решений, в котором принимается решение о выборе траектории достижения результата, т. е. о выборе соответствующего заданному сигналу двигательного действия. Модель этого будущего действия отражается в элементах памяти блока акцептора результата действия. После совершения двигательных действий сигналы об их параметрах передаются из блока действий в блок акцептора результатов действия, в результате чего происходит оценка соответствия выполненного действия заданному сенсорному сигналу [4].

Эксперимент

Методика эксперимента состоит из нескольких этапов (рис. 7).



Рис. 7. Методика эксперимента

К эксперименту допускаются девять испытуемых, каждый из которых проходит тренировку на технической бортовой системе, после чего допускается к проведению теста, состоящего из девяти опытов, на работоспособность. Цель эксперимента – выявить самый оптимальный результат работоспособности для выполнения полетных программ. После того, как испытуемый проходит тренировку на технической бортовой системе и достигает правильного положения центра тяжести, он приступает к тесту на работоспособность. Название теста «Изучение реакции на движущийся объект». Этот этап тренировки необходим для постепенной минимизации запаздывания реакции мышечной системы от центральной нервной системы. Все это осуществляется на технической бортовой системе перед монитором компьютера (рис. 8).



Рис. 8. Выполнение теста на работоспособность

Испытуемый стоит на мягкой опоре, наблюдая за движением черной точки, и в момент предполагаемого совпадения положения с белой точкой нажатием кнопки «STOP» останавливает движение черной точки по фигуре. Затем компьютер вычисляет абсолютное значение ошибки несовпадения черной точки и белой (отклонение) и через заданное время возобновляет движение по фигуре. Каждый испытуемый проходит столько тестов, пока не выявится тот, в котором минимум семь попыток из девяти отобразит результаты работоспособности (рис. 9). $X_{0\max}$, $x_{0\min}$ – точки экстремумов среднего риска ошибочных решений. $P_{\text{п.д.}}$, $P_{\text{л.п.}}$ – вероятности пропуска дефекта и ложной тревоги. Области работоспособного (D_1) и неработоспособного (D_2) состояний пересекаются и поэтому принципиально невозможно выбрать значение x_0 , при котором не было бы ошибочных решений. Задача состоит в том, чтобы выбор x_0 был в некотором смысле оптимальным, то есть давал бы наименьшее число ошибочных решений [5].

С технической бортовой системой проводились функциональные испытания. Некоторые отдельные части экспериментальной работы проводились на базе ФГБУ «ФНКЦ КМиБ» ФМБА России с соблюдением всех требуемых разрешений.

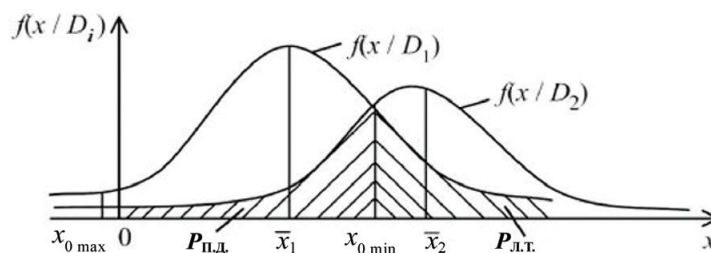


Рис. 9. Оптимальный результат работоспособности

Выводы

Средств для адаптации в условиях лунной гравитации не существует на сегодняшний день. Предложение нового бортового комплекса для поддержания ориентации в неблагоприятных условиях обитаемой лунной базы и для режима реабилитации при возвращении на Землю необходимо для выполнения полетных программ и поддержания работоспособности. Причем выполняются основные требования для такого адаптационно-реабилитационного космического комплекса. Он должен быть простой для космонавтов, точный по регистрации данных (до 95 %) и удобный для использования. В дальнейшем образец, прошедший медико-технические испытания, направляется на медицинские испытания в ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», «ФНКЦ космической медицины» и на испытания в модельных условиях для отработки методик пользования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, М.С. Методы математического моделирования при определении положения центра тяжести с учетом перераспределения крови в нижних конечностях у космонавтов в эксперименте «СТАБИЛО» / М.С. Баранов, Л.Б. Строгонова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 6. – С. 9–13.
2. Ассистивные возможности роботизированных систем для сердечно-сосудистой реанимации в условиях лунной базы / А.В. Поляков, Н.А. Грязнов, К.Ю. Сенчик, В.М. Усов [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – № 52(3). – С. 13–27.
3. Лунная база, проблемы обитаемости / Ю.А. Васин, С.М. Макарова, В.А. Столярчук, Л.Б. Строгонова // Труды МАИ. – 2013. – С. 1–10.
4. Литвина, Д.В. Вопросы качества обработки и анализа психофизических исследований для предупреждения чрезвычайных ситуаций в условиях моделирования длительного космического полета / Д.В. Литвина, Л.Б. Строгонова, В.И. Гущин // Качество и жизнь. – 2016. – № 3. – С. 36–38.
5. Дорожко, И.В. Модель системы поддержки принятия решений для диагностирования бортовых систем космического аппарата на основе байесовских сетей / И.В. Дорожко, О.А. Иванов // Труды МАИ. – 2021. – № 118. – С. 1–27.

REFERENCES

1. Methods of Mathematical Modeling When Determining the Position of the Center of Gravity, Taking Into Account the Redistribution of Blood in the Lower Extremities of Astronauts in the STABILO Experiment / M.S. Baranov, L.B. Strogonova // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2022. – No 6. – P. 9–13.
2. Assistive Capabilities of Robotic Systems for Cardiovascular Resuscitation in the Conditions of the Lunar Base / A.V. Polyakov, N.A. Gryaznov, K.Yu. Senchik, V.M. Usov [et al.] // Aerospace and Environmental Medicine. – 2018. – No 52(3). – P. 13–27.
3. Lunar Base, Habitability Problems / Yu.A. Vasin, S.M. Makarova, V.A. Stolyarchuk, L.B. Strogonova // Proceedings of Moscow Aviation Institute. – 2013. – P. 1–10.
4. Litvina, D.V. Issues of the Quality of Processing and Analysis of Psychophysical Research for the Prevention of Emergency Situations in the Conditions of Modeling a Long Space Flight / D.V. Litvina, L.B. Strogonova, V.I. Gushchin // Quality and life. – 2016. – No 3. – P. 36–38.
5. Dorozhko, I.V. Model of a Decision Support System for Diagnosing On-Board Systems of a Spacecraft Based on Bayesian Networks / I.V. Dorozhko, O.A. Ivanov // Proceedings of Moscow Aviation Institute. – 2021. – No 118. – P. 1–27.