

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 004.896:629.78.007

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА (ИМИТАТОРА ПЛАНЕТОХОДА) ПОСРЕДСТВОМ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА: ПОСТАНОВКА, ПРОВЕДЕНИЕ, РЕЗУЛЬТАТЫ

В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев,  
Э.В. Никитов, Ю.С. Агаркова, К.С. Киреев, А.В. Булгаков,  
И.А. Гришина

Докт. техн. наук, проф. В.А. Дикарев; канд. техн. наук, доц. А.Н. Симбаев; космонавт-испытатель отряда космонавтов ГК «Роскосмос» А.Ю. Кикина; Ю.С. Чеботарев; Э.В. Никитов; Ю.С. Агаркова; канд. мед. наук К.С. Киреев; А.В. Булгаков; И.А. Гришина (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются этапы проведения экспериментальных исследований, направленных на изучение возможности осуществления космонавтами операторской деятельности при управлении движением транспортного средства (имитатора планетохода) посредством антропоморфного робота в копирующем режиме телеуправления до и после выполнения длительного космического полета. Получены экспериментальные данные о качестве реализации этих операций отдельными космонавтами. Проанализированы результаты проведенных исследований, позволившие оценить динамику изменения качества выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением транспортного средства на специальной трассе посредством антропоморфного робота в копирующем режиме телеуправления до и после космического полета. Результаты проведенных исследований актуальны для профессионального и пролонгированного отбора кандидатов в космонавты и космонавтов, тестирования индивидуального и коллаборативного выполнения ими операций управления робототехническими системами транспортных средств в двух режимах телеуправления копирующего типа.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, операторская деятельность, транспортное средство, имитатор планетохода, копирующий режим телеуправления, антропоморфный робот

**Experimental Studies of Cosmonaut Performance when Operating a Vehicle (a Rover Simulator) by Using Anthropomorphic Robot: Statement, Carrying out, Results. V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Yu. Kikina, Yu.S. Chebotaryov, E.V. Nikitov, Yu.S. Agarkova, K.S. Kireev, A.V. Bulgakov, I.A. Grishina**

The paper considers the stages of experimental studies aimed at exploring the ability of a cosmonaut to operate a vehicle (a rover simulator) by using a humanoid robot in a master-slave teleoperation mode before and after a long-duration space mission. An analysis of the obtained experimental data allows assessing the changes in the quality of individual cosmonaut performance when operating a vehicle motion along the special route by using a humanoid robot in a master-slave teleoperation mode before and after a long-duration space mission. Obtained results of tests are relevant for the professional and prolonged selection of cosmonaut candidates as well as for testing their individual and collaborative control of vehicles' robotic systems in two master-slave teleoperation modes.

**Keywords:** experimental studies; operator activity; vehicle; rover simulator; master-slave teleoperation mode; humanoid robot

Выполнение задач, направленных на обеспечение функционирования пилотируемых космических аппаратов, исследование космических тел (Луны, Марса, астероидов) представляется возможным за счет использования, в том числе робототехнических систем (РТС). Изучение аспектов применения РТС для поддержания деятельности членов экипажа в рамках исследований при участии ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» проводятся как в теоретических научно-исследовательских работах, так и в ходе разработки методической документации и наземной подготовки космонавтов [1–6]. В 2022–2023 гг. выполнены экспериментальные исследования (ЭИ) возможности осуществления космонавтами операторской деятельности при управлении движением транспортного средства (ТС) (имитатора планетохода (ИП)) посредством антропоморфного робота (АР) в копирующем режиме телеуправления.

## **Постановка ЭИ**

Целью ЭИ является создание научно-технического задела для изучения и оценки возможностей и особенностей выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ТС (ИП) на специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления до и после длительных космических полетов, а также получение экспериментальных данных о качестве выполнения операций.

Объектом ЭИ является космонавт, выполняющий операторскую деятельность при управлении движением ТС (ИП) на специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления.

В ходе проведения ЭИ решались следующие задачи:

- оценка возможностей и особенностей выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ТС (ИП) на специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления;
- получение экспериментальных данных ЭИ с использованием РТС непосредственно до и после длительных космических полетов;
- оценка динамики изменения качества выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ТС (ИП) на специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления (до и после космического полета);
- разработка предложений по исследованию проблем взаимодействия космонавтов и различных РТС.

ЭИ выполнялись в условиях специальной трассы в двух режимах:

- в режиме телеуправления при прямой видимости АР и ТС (ИП);
- в режиме удаленного телеуправления ТС посредством АР.

В режиме телеуправления при прямой видимости управление ТС (ИП) осуществлялось с использованием мобильного задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ-М), а в режиме удаленного телеуправления использовалось стационарное ЗУКТ (ЗУКТ-С). Исследования проводились до и после выполнения космонавтами длительного космического полета.

Выявлено увеличение времени прохождения трассы, расхода электроэнергии, суммарного угла поворота колес, уменьшение пройденного пути при управлении ТС (ИП) посредством АР в сравнении с управлением ТС непосредственно космонавтом.

## Проведение ЭИ

Порядок выполнения ЭИ по оценке возможностей и особенностей выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ТС (ИП) на специальной трассе (рис. 1, а) посредством АР (рис. 1, б)



а



б

Рис. 1. Общий вид элементов объекта экспериментальных исследований:

*а* – специальная трасса; *б* – антропоморфный робот в ТС

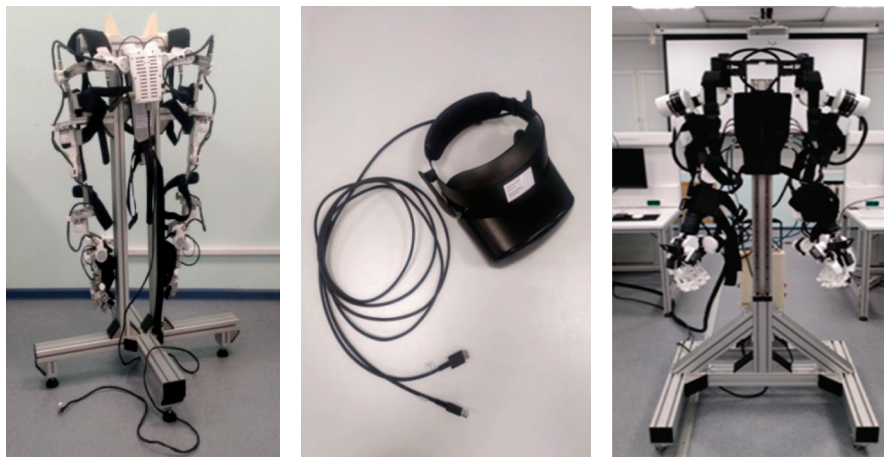
в копирующем режиме телеуправления, а также получения экспериментальных данных определен разработанной программой и методикой проведения исследований. Проведение ЭИ одобрено Комиссией по биомедицинской этике ЦПК имени Ю.А. Гагарина. В соответствии с Хельсинской декларацией все испытуемые подписали информированное согласие на участие в ЭИ.

ЭИ с космонавтами выполнялись испытательно-тренировочной бригадой (ИТБ) на базе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» в условиях специальной трассы, построенной в круглом зале центрифуги ЦФ-18:

– совместно с АР с использованием ЗУКТ-М, шлема виртуальной реальности (ШВР) и системы медицинского контроля (СМедК) мобильного АРМ (АРМ-М) универсального компьютерного стенда (УКС) РТС (рис. 2). При этом космонавт с закрепленными на нем датчиками СМедК, облаченный в ЗУКТ-М и ШВР, находится в положении «сидя» на рабочем месте космонавта (рис. 3, а), размещенном в зале центрифуги ЦФ-18. Он выполняет задачи управления движением ТС (ИП) посредством АР в копирующем режиме телеуправления, при прямой видимости (РТПВ);

– совместно с АР с использованием ЗУКТ-С, ШВР и СМедК стационарного АРМ (АРМ-С) УКС РТС. При этом космонавт с закрепленными на нем датчиками СМедК, облаченный в ЗУКТ-С, находится в положении «стоя» на рабочем месте космонавта (рис. 3, б), размещенном в аудитории 321 КТОК. Космонавт выполняет задачи управления движением ТС (ИП), находящегося в зале ЦФ-18 посредством АР в копирующем режиме удаленного телеуправления (РУТ).

ЭИ проводятся с размещением рабочего места космонавта в зале ЦФ-18 в кресле ТС (ИП), а также в 321 аудитории КТОК.



а б в  
Рис. 2. Общий вид элементов оборудования УКС РТС:

*а* – мобильное задающее устройство копирующего типа; *б* – шлем виртуальной реальности; *в* – стационарное задающее устройство копирующего типа

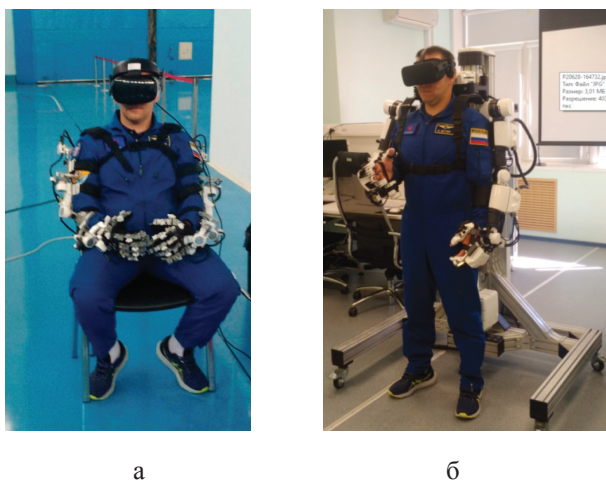


Рис. 3. Варианты положения космонавта на рабочих местах:  
*а* – положение «сидя» в ЗУКТ-М; *б* – положение «стоя» в ЗУКТ-С

Разработанный вариант специальной трассы представляет собой сегмент № 3, на котором необходимо объехать два препятствия по изогнутому пути – «восьмерке», а в конце участка подъехать к контрольному пункту «2».

В процессе проведения ЭИ непрерывно фиксируются значения физиологических параметров космонавта, технических параметров ТС (ИП) и РТС, а также время прохождения отдельных участков специальной трассы и количество ошибок (наездов колесами на белые линии разметки).

СМедК позволяет осуществлять контроль, регистрацию и анализ следующих физиологических параметров космонавта во время проведения ЭИ:

- сердечного ритма и нарушения ритма;
- частоты сердечных сокращений (ЧСС) в диапазоне 20–240 уд/мин, определение максимальной, минимальной и средней ЧСС;
- проводимость сердца и ее нарушения;
- длительность интервала R–R в диапазоне 0,25–3,0 с, паузы ритма, их продолжительность и максимальность;
- сегмент ST в диапазоне от  $-1,0$  до  $+1,0$  мВ (депрессия или элевация сегмента, исключение ишемических изменений), зубец T и интервал QT.

Схема специальной трассы, размещенной в зале ЦФ-18, представлена на рис. 4.

Оборудование испытательно-тренировочного комплекса (ИТК) позволяет осуществлять контроль, регистрацию и расчет следующих технических параметров, характеризующих работу космонавта по управлению ИП:

- расход электроэнергии ИП (в диапазоне от 0 до 10 кВт·ч);
- скорость движения ИП (от 1 до 3,5 км/ч);
- пройденный путь (м);
- суммарный угол изменения поворота ведущих колес (град.).

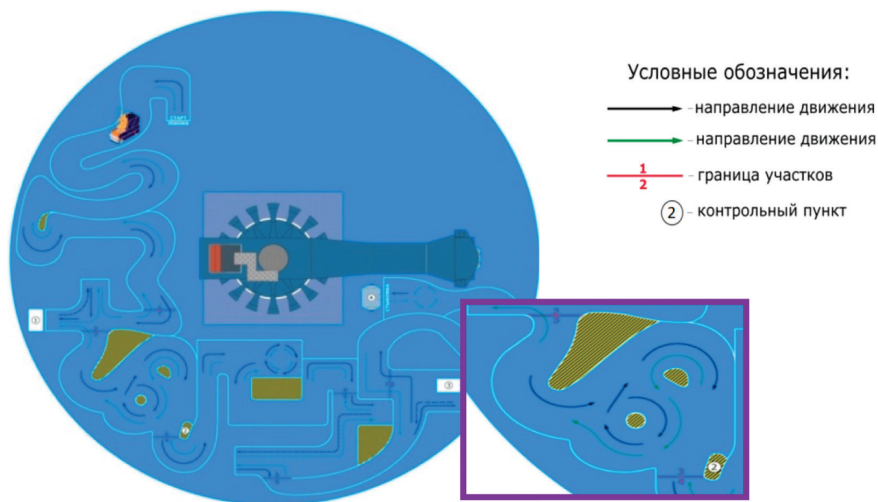


Рис. 4. Схема специальной трассы и участков выполнения ЭИ

## Результаты ЭИ

Исследования проводились с тремя космонавтами до и после космического полета в составе экипажа длительной экспедиции МКС-68/69. Космонавты для соблюдения конфиденциальности информации закодированы как К02, К14 и К19. ЭИ проводились в двух режимах:

- режим телеуправления при прямой видимости (выполнялось с участием К02, К14, К19);
- режим удаленного телеуправления (выполнялось с участием К14, К19).

В ходе испытаний до и после выполнения космонавтами длительного космического полета был получен массив экспериментальных данных с использованием РТС. По результатам проведения ЭИ анализу подвергся ряд характеристик работы операторов-космонавтов: время прохождения 3-го участка, расход электроэнергии, суммарный угол поворота колес, пройденный путь, средняя скорость передвижения ТС. Сравнительные диаграммы ряда характеристик о прохождении К02, К14 и К19 специальной трассы при непосредственном управлении планетоходом (ИП (-), ИП (+) до и после полета соответственно) и посредством АР «Федор» в режиме телеуправления при прямой видимости (РТПВ) ТС, облаченных в ЗУКТ-М (ИП с АР (РТПВ) (-), ИП с АР (РТПВ) (+) до и после полета, соответственно), а также в режиме удаленного телеуправления (РУТ), облаченных в ЗУКТ-С операторов (ИП с АР (РУТ) (-), ИП с АР (РУТ) (+) до и после полета соответственно) (рис. 5–9).

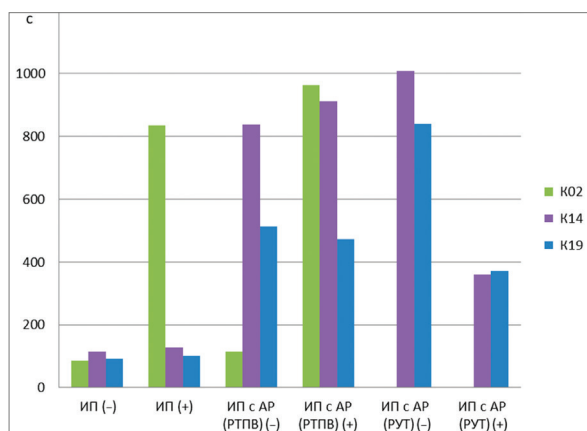


Рис. 5. Время прохождения трассы

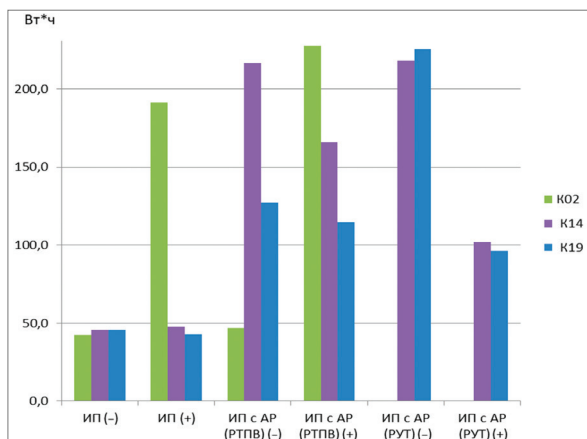


Рис. 6. Расход энергии при прохождении трассы

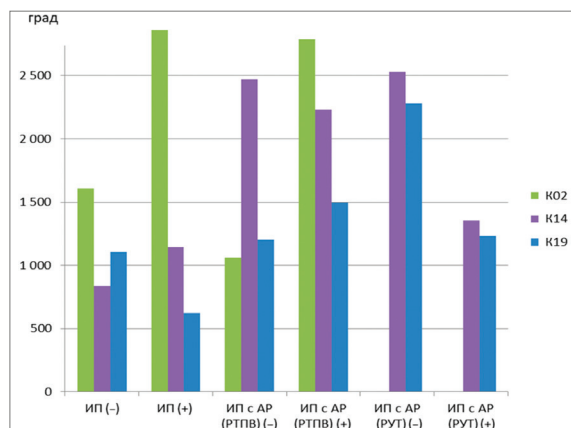


Рис. 7. Суммарный угол поворота колес при прохождении трассы

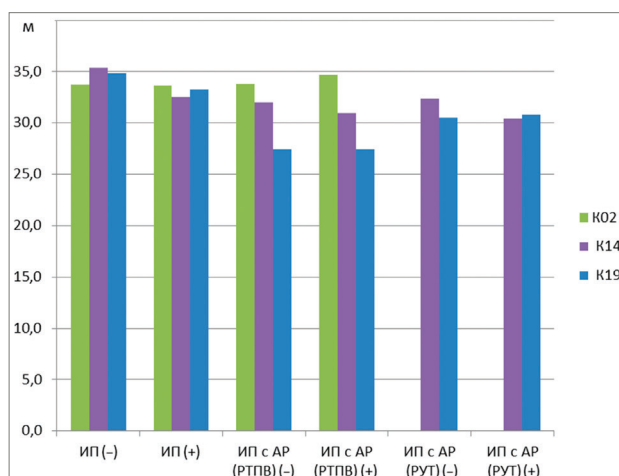


Рис. 8. Пройденный путь при прохождении трассы

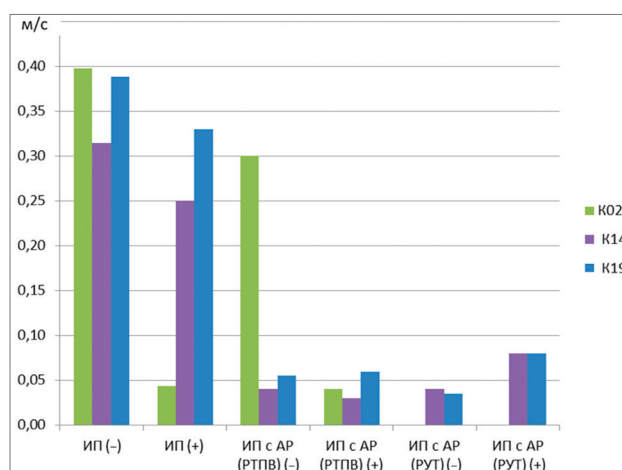


Рис. 9. Средняя скорость при прохождении трассы

В целом была подтверждена возможность выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ТС (ИП) посредством АР в копирующем режиме телеуправления.

Анализ данных о пройденных путях ТС (ИП) при управлении космонавтами в двух режимах представляет особый интерес. В основном, пройденный путь при управлении ТС (ИП) посредством АР в копирующем режиме ниже, чем при непосредственном управлении космонавтом. При сравнении различий пройденного пути ТС (ИП) в двух режимах управления космонавтом К02 наблюдаем, что при управлении посредством АР, в первом случае пройденный путь значительно меньше контрольного, что говорит о сосредоточенной работе оператора, хотя и более медленной. Можно сделать



вывод о том, что данный показатель следует выбрать в качестве контрольного для определения операторских качеств космонавтов.

Анализ результатов оценки действий космонавтов и обобщенных данных их опроса при управлении движением ТС (ИП) посредством АР в режимах телеуправления при прямой видимости, а также удаленного телеуправления показали, что наиболее низкие оценки связаны с техническими возможностями позиционирования ЗУКТ для схвата (удержания кистью манипулятора АР ручки управления движением (РУД) ТС (ИП)) и прогнозирования траектории движения ТС. Оценки действий космонавтов в целом коррелируются с обобщенными данными их опроса.

Это позволило сделать следующие выводы:

- АР имеет ряд технологических и технических недостатков по обеспечению схвата РУД ИП;
- имеют место недостаточные углы обзора и качество изображения камер системы технического зрения АР;
- отсутствует передача аудиоинформации;
- рассогласованность кинематических звеньев ЗУКТ и АР приводит к рассогласованию положения рук ЗУКТ и АР [7];
- требуется дополнительная доработка органов управления ТС (ИП) с учетом кинематических особенностей руки АР по обеспечению схвата и управления органами РУД планетохода при отсутствии силомоментной обратной связи;
- требуется значительная доработка узлов крепления и перчаток ЗУКТ с учетом индивидуальных физиологических особенностей космонавтов.

В результате экспериментальных исследований получены предполетные и послеполетные фоновые данные при управлении ТС (ИП) непосредственно космонавтами и данные, характеризующие процесс сложной операторской деятельности космонавтов при управлении ТС (ИП) посредством АР.

## **Результаты медицинского обеспечения ЭИ**

Медицинское обеспечение ЭИ осуществлялось специалистами медицинского управления (ответственным врачом и медицинской сестрой) в соответствии с разработанной программой и методикой исследований. Непосредственно перед исследованием ответственным врачом проводился медицинский осмотр. После космического полета допуск космонавтов к ЭИ осуществлялся по результатам ранее проведенных медицинских обследований. Перед ЭИ жалоб на состояние здоровья космонавты до и после космического полета не предъявляли, самочувствие хорошее. Физиологические показатели (ЧСС, АД и температура тела) находились в пределах физиологической нормы. Для оценки изменения функционального состояния мышц верхних конечностей дополнительно проводилась кистевая динамометрия до и после ЭИ.

В процессе ЭИ как до, так и после космического полета, космонавты жалоб на состояние здоровья не предъявляли, наличие иллюзорных, сенсомоторных и вегетативных расстройств отрицали. Выраженных изменений во внешнем виде, поведении и характере движений не отмечалось. Показатели ЧСС соответствовали выполненной работе и условиям проведения эксперимента (табл. 1). На ЭКГ регистрировался синусовый ритм, нарушений ритма и проводимости не отмечалось.

Таблица 1

Максимальная зарегистрированная частота сердечных сокращений до и после космического полета, уд/мин

Операция	К02		К19		К14	
	до	после	до	после	до	после
Фоновая запись	74	85	78	115	81	89
Внедрение и начало управления	88	83	95	108	92	95
Перемещение по участку	78	86	109	116	110	105
Конец движения	72	85	80	103	80	97

При анализе ЧСС отмечается более высокая физиологическая стоимость выполнения операций у всех трех космонавтов после космического полета, что, очевидно, является проявлением общей астенизации и ослаблением ортостатической устойчивости организма в раннем периоде реадaptации после длительного космического полета. В то же время процентное отношение зарегистрированной ЧСС к максимальной ЧСС составило менее 70 % (максимально 64 % у К19 после космического полета) у всех участников ЭИ, что указывает на легкую степень тяжести физической нагрузки.

Травм и повреждений у всех космонавтов не выявлено.

После окончания ЭИ космонавты активно жалоб на состояние здоровья не предъявляли, самочувствие хорошее. Однако после космического полета два космонавта отмечали появление умеренной усталости мышц правого предплечья и правого плеча, а К19 – выраженную усталость. Объективные физиологические показатели (АД, ЧСС, температура тела) незначительно отличались от таковых, полученных перед исследованием. Изменения данных динамометрии правой руки представлены в табл. 2. Показатели динамометрии левой руки не изменялись до и после ЭИ как до, так и после космического полета.

Таблица 2

Изменения данных ручной динамометрии (правая рука), %

Космонавт	До полета	После полета
К02	снижение на 13,4	снижение на 15,0
К19	снижение на 3,8	снижение на 9,6
К14	без изменений	снижение на 19,5

Анализ данных ручной динамометрии показал, что после космического полета происходит большее снижение силы мышц правой руки у всех космонавтов, что может являться следствием общей детренированности мышечной системы.

Все изменения в функциональном состоянии космонавтов носили временный характер.

По результатам медицинского обеспечения ЭИ до и после космического полета можно сделать следующие выводы:

- выполнение космонавтами операторской деятельности при управлении движением ТС (ИП) посредством АР в режимах телеуправления при прямой видимости и удаленного телеуправления не оказывает выраженного влияния на общее функциональное состояние организма;

- настоящая конструкция ЗУКТ и продолжительность его применения космонавтами в процессе ЭИ могут оказывать влияние на функциональное состояние мышц верхних конечностей, что проявляется признаками их утомления, особенно после космического полета;

- отклонения объективных физиологических показателей имеют индивидуальный характер и зависят от длительности и наличия опыта предыдущих космических полетов;

- все отклонения в состоянии космонавтов носили преходящий характер, что не привело к негативным последствиям для их здоровья;

- необходимо разработать предложения по оптимизации положения оператора и его рабочей верхней конечности с целью профилактики утомления руки. Для последующего корректного сравнения полученных медицинских данных условия проведения ЭИ должны быть идентичными для всех его участников;

- для исключения эмоциональной реакции на новое ЭИ рекомендуется проведение дополнительных тренировочных (предварительных) занятий с членами экипажа перед снятием фоновых данных.

## **Выводы**

На основании обработки результатов проведения экспериментов представляется возможным сформулировать следующие выводы:

1. Выполнение космонавтами исследований не оказало отрицательного влияния на общее функциональное состояние организма космонавтов. Показатели ЧСС были характерными для реакции организма на условия выполняемой работы. После космического полета отмечается более высокая физиологическая стоимость выполнения всех операций и большее снижение силы мышц правой руки у всех космонавтов, что, очевидно, является проявлением общей астенизации, ослаблением ортостатической устойчивости организма и общей детренированностью мышечной системы в раннем периоде реадаптации после длительного космического полета.

2. При выполнении циклограммы данного исследования возможно появление утомления, напряжения в глазах, а также незначительного головокружения и головной боли. Данные изменения в самочувствии космонавтов, возможно, связаны с длительным периодом использования ШВР и нахождения в вертикальном положении.

3. Все отклонения в состоянии космонавтов носили преходящий характер, что не привело к негативным последствиям для их здоровья.

4. Физиологическая переносимость проведенных ЭИ оценивается как хорошая.

5. Экспериментальные данные позволили оценить динамику изменения качества выполнения космонавтами операторской деятельности при управлении движением ТС (ИП) на специальной трассе посредством АР в копирующем режиме телеуправления (до и после космического полета).

6. В ходе проведения исследований выявлены ряд недостатков АР, что позволило сформулировать дополнительные технологические и технические требования к РТС антропоморфного типа (АТ).

7. ЭИ показали, что космонавты обладают индивидуальными операторскими качествами при управлении ТС (ИП) напрямую и посредством АР в различных режимах телеуправления копирующего типа. При этом наблюдается разное снижение общей работоспособности при управлении РТС АТ. Полученные результаты могут стать основой для формирования программы и методики проведения профессионального и пролонгированного отбора кандидатов в космонавты и космонавтов, тестирования индивидуального и коллаборативного выполнения ими операций по управлению ИП посредством АР.

8. В процессе выполнения до и послеполетных этапов ЭИ уточнены программы и методики их проведения с возможностью ее применения в дальнейших исследованиях на модернизированном УКС РТС с использованием физического образца АР, сопряженного с мобильной платформой.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Испытатель: эксперимент. – Текст электронный // Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [сайт]. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispytatel/> (дата обращения 13.10.2023).
- [2] Теледроид: эксперимент. – Текст электронный // Центральный научно-исследовательский институт машиностроения: [сайт]. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (дата обращения 13.10.2023).
- [3] Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стенда робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4(41). – С 36–47.
- [4] Чеботарев, Ю.С. О некоторых направлениях обеспечения коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируе-

- мых космических полетов / Ю.С. Чеботарев, В.А. Дикарев // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (Proceedings of the International Scientific and Technological Conference «Extreme robotics»). – DOI:10.31776/ConfER.32.2021. – С. 65–77.
- [5] О возможности отработки коллаборативного использования антропоморфной и манипуляционной робототехнической системы для операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов / В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, Э.В. Никитов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 3(44). – С. 69–84.
- [6] Исследование возможностей использования робототехнических систем для поддержания операторской деятельности экипажей и формирования экосистемы /микроклимата сотрудничества / В.А. Дикарев, В.И. Дубинин, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 2(47). – С. 15–31.
- [7] Проблема обеспечения соответствия кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств антропоморфных робототехнических систем для перспективных пилотируемых космических программ / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 4(45). – С. 54–71.

## REFERENCES

- [1] Tester: experiment. – Electronic text // Central Research Institute of Mechanical Engineering: [website]. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispytatel/> (date of access 13.10.2023).
- [2] Teledroid: experiment. – Electronic text // Central Research Institute of Mechanical Engineering: [website]. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (date of access 13.10.2023).
- [3] Motivation and Results of Modernization of Multipurpose Computer-Aided Simulator of Robotic Systems / V.A. Dikarev, V.A. Dovzhenko, E.V. Nikitov, Yu.S. Chebotarev // Manned Spaceflight. – 2021. – No 4(41). – P. 36–47.
- [4] Chebotarev, Yu.S. On Some Lines of Ensuring the Collaborative Interaction Between Cosmonauts and Robotic Systems in Manned Space Flights / Yu.S. Chebotarev, V.A. Dikarev // Proceedings of the International Scientific and Technological Conference “Extreme Robotics”. – DOI:10.31776/ConfER.32.2021. – P. 65–77.
- [5] The Possibility of Maturing the Collaborative Use of the Anthropomorphic Robotic System and Manipulation Robotic System for Operational Support of Cosmonaut’s Extravehicular Activity / V.A. Dikarev, A.Yu. Kikina, Yu.S. Chebotarev, E.V. Nikitov [et al.] // Manned Spaceflight. – 2022. – No 3(44). – P. 69–84.
- [6] Investigation of Robotic Systems Possibilities to Support Crew Operator Activity and Formation of Cooperation Ecosystem Microclimate / V.A. Dikarev, V.I. Dubinin, A.N. Simbaev, A.Yu. Kikina [et al.] // Manned Spaceflight. – 2023. – No 2(47). – P. 15–31.
- [7] The Problem of Ensuring the Conformity between Kinematic Characteristics of Executive Devices and Master Controllers of Humanoid Robotic Systems for Future Manned Space Programs / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Yu. Kikina, Yu.S. Chebotarev [et al.] // Manned Spaceflight. – 2022. – No 4(45). – P. 54–71.