

# **ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС**

## **THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS**

УДК 004.896

### **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,  
Ю.С. Чеботарев, Э.В. Никитов, И.А. Розанов

Докт. техн. наук, проф. В.А. Дикарев; канд. техн. наук В.И. Дубинин;  
канд. техн. наук, доц. А.Н. Симбаев; космонавт-испытатель  
отряда космонавтов ГК «Роскосмос» А.Ю. Кикина; Ю.С. Чеботарев;  
Э.В. Никитов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)  
И.А. Розанов (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

В статье рассматриваются особенности оценки возможностей использования робототехнических систем (РТС) для поддержания операторской деятельности экипажей в условиях изоляционного эксперимента «SIRIUS-21» по направлению «Космическая робототехника» в части постановки, проведения и результатов исследований. В ходе исследований (до, во время и после изоляционного эксперимента) проведена сравнительная оценка качества выполнения испытателями операторской деятельности при управлении РТС антропоморфного типа (АТ) в виртуальной среде посредством задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ) и шлема виртуальной реальности (ШВР) в процессе поочередного выполнения испытателями функций операторов и ассистентов операторов. При подготовке и проведении исследований особое внимание уделено влиянию рассогласованности кинематических характеристик виртуальной модели антропоморфного робота (АР) и ЗУКТ, особенностей вестибулярной устойчивости каждого оператора при использовании ШВР, а также продолжительности перерывов между циклами исследований на формирование уровня индивидуальных операторских качеств по управлению РТС АТ и необходимости формирования экосистемы/микроклимата сотрудничества. Полученные данные позволили сделать вывод о необходимости пролонгированного отбора операторов РТС АТ из числа испытателей, обладающих более высокими операторскими качествами. В условиях длительной изоляции необходимо осуществлять корректировку циклограмм планируемых исследований и перспективных средств психологической поддержки.

**Ключевые слова:** операторская деятельность, робототехническая система, виртуальная модель, антропоморфный робот, задающее устройство копирующего типа, сотрудничество, экосистема, психологическая поддержка

**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, Yu.S. Chebotarev, E.V. Nikitov, I.A. Rozanov**

The article considers features of assessing the possibilities of using robotic systems (RS) to support crew operator activity in the conditions of SIRIUS-21 isolation experiment in the direction of "Space Robotics" in terms of staging, conducting and research results. In the course of research (before, during and after the isolation experiment), a comparative evaluation of operator activities performance quality is conducted when anthropomorphic type RS are controlled in a virtual environment by means of a copying-type master device and virtual reality helmet in the process of alternately performing the functions of operators and operator assistants. During preparation and conducting the research, special attention is paid to effect of inconsistency of anthropomorphic robot virtual model and copying-type master device kinematic characteristics, features of operator vestibular stability when using virtual reality helmet, as well as duration of breaks between research cycles on the formation of individual operator quality level required to control anthropomorphic type RS and the need to form cooperation ecosystem/microclimate. The data obtained made it possible to conclude the necessity for a prolonged selection of anthropomorphic type RS operators from among the testers with higher operator qualities with subsequent adjustment of study timelines and advanced means of psychological support in conditions of prolonged isolation.

**Keywords:** operator activity, robotic system, virtual model, anthropomorphic robot, copying-type task device, cooperation, ecosystem, psychological support

**Исследования возможностей использования робототехнических систем для поддержания операторской деятельности экипажей**

Заявленными целями исследования «Использование РТС для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ» по направлению «Космическая робототехника» в рамках проведения эксперимента «SIRIUS-21» («Комплексное изучение адаптационных процессов, происходящих в организме человека при моделировании отдельных факторов космического полета в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания») являлись:

– изучение механизмов адаптации человека по использованию РТС для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ (ППКП) в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания;

– проведение научных исследований потенциальных особенностей использования РТС для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации ППКП с моделированием отдельных факторов космического полета в условиях изоляции;

– отработка технологий дистанционного обучения экипажа по направлению «Космическая робототехника» в длительном межпланетном перелете.

Подготовка в интересах достижения заявленных целей исследования по направлению «Космическая робототехника», обеспечение автономности и мобильности его проведения осуществлялась с использованием научной аппаратуры (НА) на базе мобильного автоматизированного рабочего места (АРМ-М) универсального компьютерного стенда робототехнических систем (УКС РТС) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (НИИ ЦПК) [1] (рис. 1, табл.).



Рис. 1. Общий вид НА по направлению «Космическая робототехника»

Состав НА по направлению «Космическая робототехника»

Название	Количество, шт.	Размеры, мм (длина, ширина, высота)
Ноутбук MSI 9S7-17 с блоком питания	2	265 x 400 x 25
ЗУКТ (7,5 кг)	1	900 x 600 x 350
ШВР	1	300 x 240 x 200
Стойка для расположения ЗУКТ	1	1150 x 850 x 850
Кабель Ethernet	1	–
Усилитель-разветвитель USB	1	

При подготовке к исследованию получены усредненные экспертные значения времени успешного выполнения каждого задания ( $t_{ij}$ ). Задания с АР в виртуальных сценах разработаны по принципу «от простого к сложному»: сценарии ( $i$ ) состоят из заданий ( $j$ ), при выполнении которых проводился хронометраж среднего времени ( $t_{ij\text{cp}}$ ) успешного выполнения попыток ( $n$ ) испытателями за отведенный интервал времени ( $T_i$ ).

Предложены следующие задания:

1. Задания по выполнению индивидуальных операций РТС:
  - а) с «простыми» объектами  $T_1 = 12$  мин (рис. 2):
    - манипуляции по размещению АР гантели в заданном секторе (рис. 2, а);
    - манипуляции по перемещению АР гантели из одного манипулятора в другой (рис. 2, б);
    - манипуляции по размещению АР куба в заданном секторе (рис. 2, в);
    - манипуляции по размещению АР шара в заданном секторе (рис. 2, г);
  - б) с бортовым оборудованием  $T_2 = 24$  мин (рис. 3):
    - манипуляции по активации АР бортового огнетушителя (рис. 3, а);
    - манипуляции по изъятию АР контейнера научного оборудования «Биориск» (рис. 3, б);
  - в) с функциональными панелями  $T_3 = 24$  мин (рис. 4):
    - манипуляции АР с переключателями функциональной панели (рис. 4, а);
    - манипуляции по применению АР бортовой дрели для винтовых соединений функциональной панели (рис. 4, б).

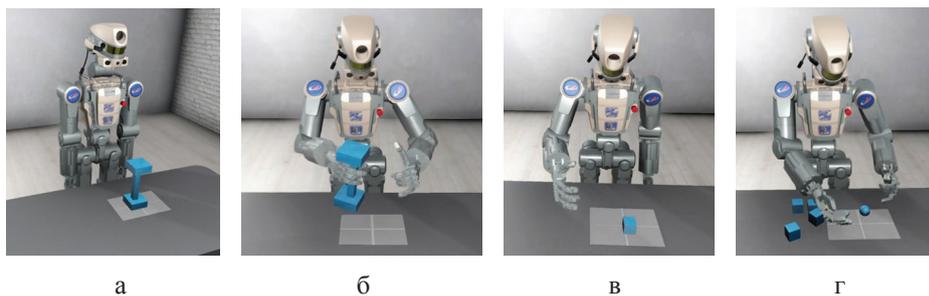


Рис. 2. Виртуальные сцены заданий по выполнению индивидуальных операций РТС с «простыми» объектами

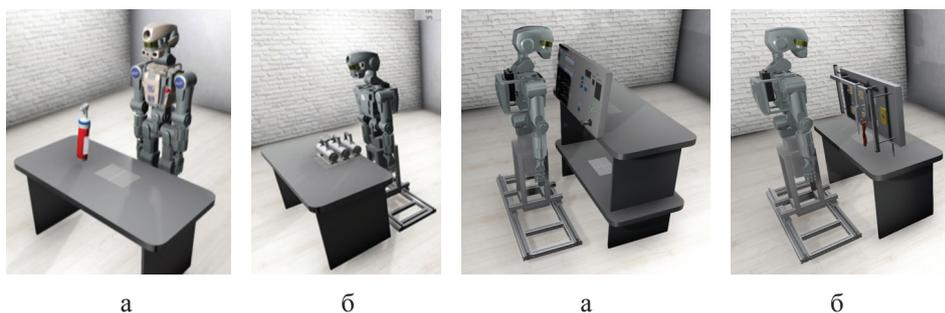


Рис. 3. Виртуальные сцены заданий по выполнению индивидуальных операций РТС с бортовым оборудованием

Рис. 4. Виртуальные сцены заданий по выполнению индивидуальных операций РТС с функциональными панелями

2. Задания по выполнению групповых операций совмещенными РТС  $T_4 = 24$  мин (рис. 5):

– манипуляции по перемещению АР совмещенного с роботизированным ровером, установке с его помощью карабина на функциональной панели в здании лунной базы (рис. 5, а);

– манипуляции по перемещению АР, совмещенного с роботизированным ровером, по поверхности Луны, сбору с его помощью реголита в бункер роботизированного ровера (рис. 5, б).

Для каждого задания предусмотрено распределение среди участников исследования их операторских, ассистентских и лабораторно-исследовательских функций и соответствующих им предписанных ролей:

а) операторы:

– перед выполнением заданий уясняют постановку задач, рекомендации, особенности их выполнения и критерии оценки, облачаются в ЗУКТ и ШВР;

– перед началом выполнения задания находятся в ЗУКТ и ШВР в исходном положении (руки опущены вниз, голова «смотрит» прямо);

– в процессе выполнения задания осуществляют действия в соответствии с постановкой задач и их особенностями;

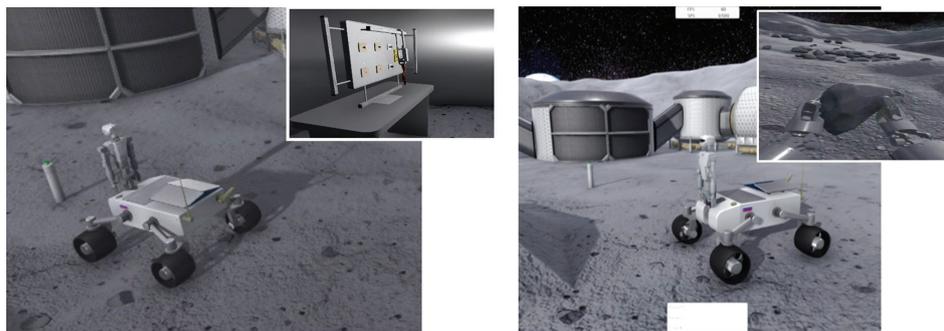
– после успешного выполнения каждой попытки возвращаются в исходное положение;

– все движения головой выполняют плавно и медленно (для минимизации вестибулярного дискомфорта и повышения точности управления);

– после выполнения задания снимают, при помощи ассистентов операторов, ШВР и ЗУКТ, сообщают о своем состоянии, выявленных особенностях и замечаниях;

б) ассистенты оператора:

– перед выполнением заданий помогают облачить оператора в ЗУКТ и надеть ШВР;



а

б

Рис. 5. Виртуальные сцены заданий по выполнению групповых операций совмещенными РТС

- в процессе выполнения заданий осуществляют наблюдение за действиями операторов и их состоянием, за функционированием оборудования ЗУКТ и ШВР, соединительными кабелями;
- фиксируют время выполнения оператором каждой попытки, общее количество попыток, и те из них, что были успешными;
- следят за параметрами встроенных средств объективного контроля и визуально сопоставляют их с пространственным положением кинематических звеньев ЗУКТ и манипуляторов виртуальных моделей АР, фиксируют критические рассогласования между ними и возникающие сбои в работе оборудования;
- после завершения выполнения заданий помогают операторам снять ШВР и ЗУКТ.

В процессе постановки исследования разработаны, апробированы и уточнены методические рекомендации (МР) по его проведению. В соответствии с МР планировалось выполнение во время изоляционного эксперимента четырех сеансов по 4 часа каждый, которые включали в себя: 2 часа тренировочного времени на подготовку оборудования, дистанционное обучение испытателей и сопровождение экспериментальных исследований (ЭИ) группой специалистов НИИ ЦПК; 2 часа контрольного выполнения заданий.

Во время проведения ЭИ была смоделирована временная задержка передачи аудио- и видеосообщений.

За один сеанс (2 часа) предлагалась отработка двух сценариев. При отработке каждого сценария проводилась ротация оператора и ассистента оператора управления виртуальной РТС через 30 минут.

Для выполнения каждого варианта сценария предусматривалось задействовать поочередно двух испытателей (в роли оператора и/или ассистента оператора).

Для изучения механизмов адаптации человека по использованию РТС для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации ППКП в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания предложено провести фоновые ЭИ до, во время и после изоляции.

Для предварительной отработки технологий дистанционного обучения экипажа по направлению «Космическая робототехника» в длительном межпланетном перелете в процессе подготовки участников к исследованию были проведены лекционные занятия с использованием видео-конференц-связи (ВКС). При проведении серии практических занятий по подготовке участников к исследованию им было предложено самостоятельно по МР выполнить в виртуальных сценах сценарии заданий к предстоящим сеансам. Это позволило, в сочетании с получением уточняющих радиограмм и разъясняющих видеoinструктажей в условиях имитации длительных задержек обмена информацией, определить возможности и особенности использования МР для отработки заданий во время изоляции.

По завершении серии практических занятий проведено фоновое (до начала изоляции) исследование операторской деятельности испытателей по выполнению заданий по групповым операциям с использованием РТС, как наиболее сложных из рассматриваемых.

Результаты этого фонового исследования позволили произвести среди участников эксперимента пролонгированный отбор потенциально возможных операторов с наилучшими оценками операторской деятельности, которые, с учетом формирования микроклимата сотрудничества, в дальнейшем привлекались к выполнению исследования во время изоляции в паре поочередно в качестве оператора и ассистента оператора. Перед ЭИ для качественного определения ролей испытателей и выбора, в частности, участников ЭИ в качестве операторов, был проведен пролонгированный отбор. В испытаниях приняли участие 4 испытателя как российские, так и иностранные. Для отбора было выбрано упражнение «Манипуляции АР с переключателями функциональной панели», результаты которого представлены на рис. 6. На рис. 6 по оси  $n$  – количество попыток;  $n_1$ – $n_4$  – количество успешных попыток каждым оператором;  $t_{cp1}$ – $t_{cp4}$  – среднее время выполнения задания операторами 1–4 соответственно. Сравнение усредненного времени оператора проводится с  $t_3$  – временем выполнения операции экспертом. Оператором 1 успешно было выполнено 5 попыток, оператором 2 – 7 попыток, оператором 3 – 3 попытки и оператором 4 – 3 попытки.

Испытания показали возможность выполнения упражнения всеми четырьмя испытателями, при этом двое из них выполняли задание примерно в два раза быстрее. В итоге в качестве операторов были выбраны один российский испытатель и один американский.

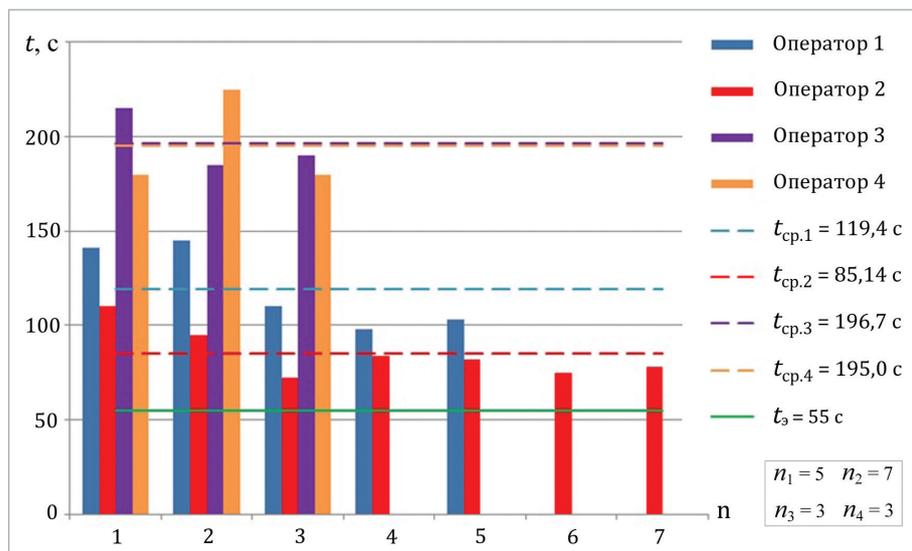


Рис. 6. Результаты пролонгированного отбора на роль операторов

Формирование микроклимата сотрудничества по направлению «Космическая робототехника» определялось по складывающимся парным отношениям с позиции глубины и качества погружения в решаемые задачи, слаженности выполнения предписанных ролей, старательности в достижении поставленных целей и в работе на результат, объективности в оценке и фиксации выявленных особенностей и замечаний, адекватного восприятия рекомендаций, реагирования на предложения и т. п.

Результаты фонового исследования до начала изоляции по заключительному заданию «Манипуляции по перемещению АР по поверхности Луны, сбору с его помощью реголита в бункер совмещенного с ним роботизированного ровера» показывают на сформированность у двух отобранных испытуемых, работавших в качестве операторов, устойчивых операторских навыков с количеством успешно выполненных итераций заданий, соответственно, для первого оператора – 4 раза, для второго – 6 раз (рис. 7).

Однако среднее время успешного выполнения ими задач (попыток) ( $t_{ij\text{cp}}$ ) не достигло усредненных экспертных значений ( $t_{ij\text{э}}$ ), соответственно, более чем на 45 и 25 %. Оператором 1 успешно было выполнено 3 попытки, оператором 2 – 4 попытки. Кроме этого, при подготовке к исследованию обращено внимание на проявление некоторого вестибулярного дискомфорта у операторов при продолжительном использовании ШВР (более 25 мин), а также рассогласованности кинематических характеристик виртуальной модели АР и ЗУКТ вследствие различия антропометрических характеристик операторов [2].

С учетом этих результатов для обеспечения микроклимата сотрудничества произведена корректировка циклограмм исследования при его выполнении во время длительной изоляции.

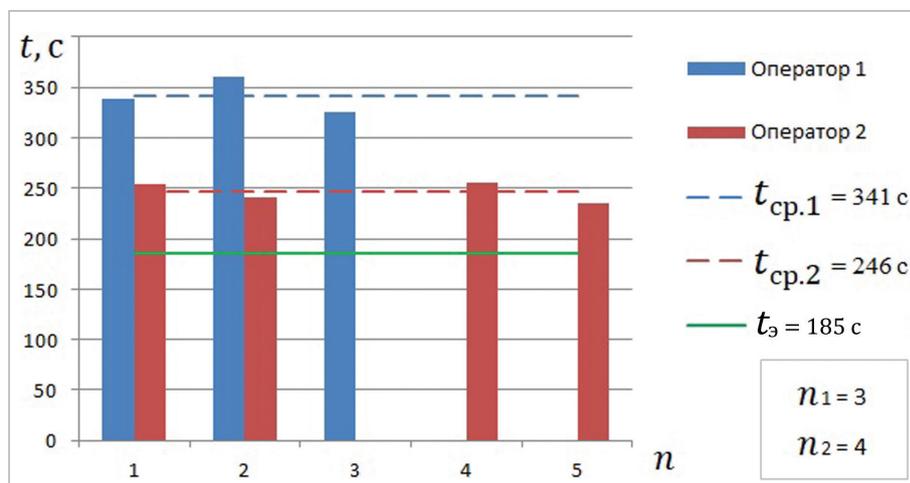


Рис. 7. Результаты фонового исследования до начала изоляции для двух отобранных испытуемых

## Выполнение исследований

Первоначально исследование во время изоляции по направлению «Космическая робототехника» планировалось выполнить в период с 0 до 55 суток эксперимента «SIRIUS-21». Для обеспечения цикличности рекомендовалось проводить сеансы с интервалом один раз в 10 дней. Предполагалась доставка и размещение НА на базе АРМ-М УКС РТС НИИ ЦПК в медико-технический наземный экспериментальный комплекс до начала изоляционного эксперимента и ее возвращение посредством заполненного для утилизации первого транспортного грузового корабля на 55-е сутки длительной изоляции.

По факту доставка НА осуществлена первым транспортным грузовым кораблем на 55-е сутки длительной изоляции. В соответствии со сложившимися объективными причинами, исследования выполнялись 4 раза по 4 часа в день в период с 55-х до 115-х суток эксперимента «SIRIUS-21» с интервалами сеансов 8–14 дней, а именно: 1-й сеанс – 55-е сутки + 16 дней; 2-й сеанс – 55-е сутки + 24 дня; 3-й сеанс – 55-е сутки + 35 дней; 4-й сеанс – 55-е сутки + 49 дней. Перенос, по решению ГК «Роскосмос», был вызван необходимостью демонстрации используемой в исследованиях НА на Международной выставке в г. Дубай.

Для получения сравнительной оценки качества выполнения испытателями операторской деятельности при управлении РТС АТ в виртуальной среде посредством ЗУКТ и ШВР в ходе изоляционного эксперимента дополнительно проведены исследования до (36 дней) и после (12 дней) изоляции.

По результату практических занятий, а также получению доизоляционных результатов выполнения заданий испытателями, были разработаны видеоинструкции выполнения всех заданий и дополнительные презентационные материалы, поясняющие порядок работы с НА и особенности выполнения ЭИ. В последующем наблюдалось снятие проблемных вопросов со стороны испытателей, выравнивание темпа выполнения циклограммы работ.

В связи с тем, что в ходе проведения ЭИ искусственно увеличилась задержка связи между испытателями и техническими специалистами до 5 минут (в одну сторону), для компенсации издержек присутствия в реальном времени сотрудников НИИ ЦПК, сопровождающих проведение эксперимента, были разработаны и переданы вместе с радиограммами к каждому занятию дополнительные обучающие материалы и видеоинструкции выполнения заданий.

Анализ данных исследования во время изоляции по заключительному заданию до выполнения операторами всех предшествующих заданий исследования показывает ухудшение качества работы, выраженное в увеличении среднего времени выполнения операции (относительно фоновых), однако также может указывать на более усидчивый и аккуратный режим работы операторов с целью предотвращения ошибок (рис. 8). Оператором 1

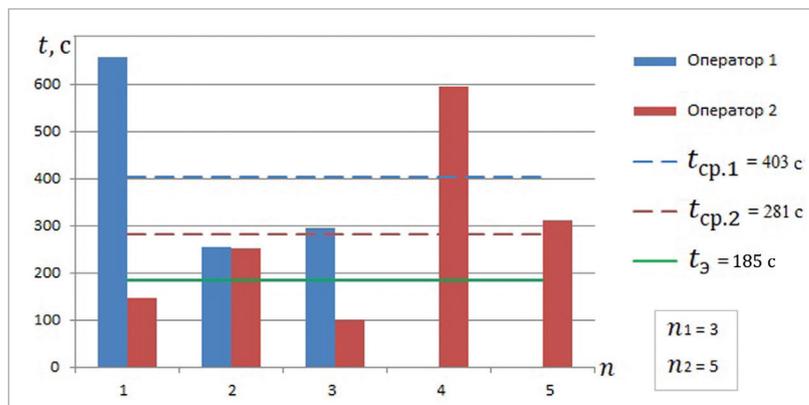


Рис. 8. Результаты фонового исследования во время изоляции до выполнения операторами всех предшествующих заданий исследования

успешно было выполнено 3 попытки, оператором 2 – 5 попыток. Среднее время успешного выполнения ими задач (попыток) ( $t_{ij\text{cp}}$ ) в заданиях не достигло усредненных экспертных значений ( $t_{ij\text{э}}$ ), соответственно, более чем на 54 и 34 %.

Анализ данных, полученных во время изоляции, по заключительному заданию после выполнения операторами всех предшествующих заданий исследования показывает улучшение качества работы, выраженное в уменьшении среднего времени выполнения операции (относительно фоновых показателей), что свидетельствует о получении навыков выполнения операторской деятельности испытуемыми (рис. 9). Оператором 1 успешно было выполнено 4 попытки, оператором 2 – 5 попыток. Среднее время успешного выполнения ими задач (попыток) ( $t_{ij\text{cp}}$ ) в заданиях не достигло усредненных экспертных значений ( $t_{ij\text{э}}$ ), соответственно, более чем на 30 и 10 %.

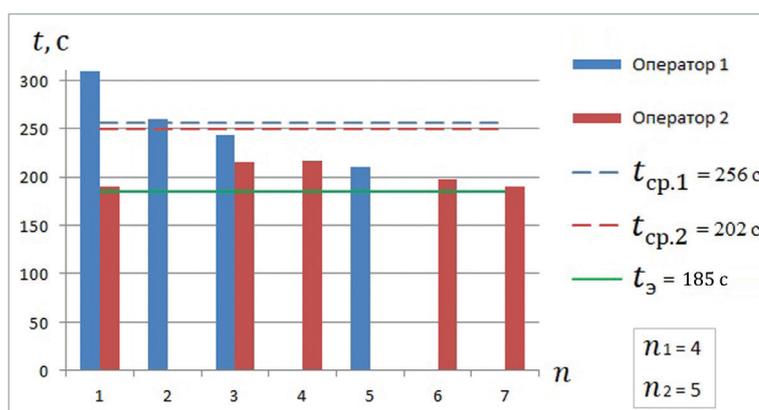


Рис. 9. Результаты фонового исследования во время изоляции после выполнения операторами всех предшествующих заданий исследования

Результаты исследования после изоляции по заключительному заданию показывают ухудшение качества работы испытателей относительно работы во время изоляции, но улучшение относительно работы до изоляции по критерию оценки среднего времени выполнения операции (рис. 10). Оператором 1 успешно было выполнено 5 попыток, оператором 2 – 7 попыток. Среднее время успешного выполнения ими задач (попыток) ( $t_{ij\text{ ср}}$ ) в заданиях не достигло усредненных экспертных значений ( $t_{ij\text{ э}}$ ), соответственно, более чем на 40 и 20 %.

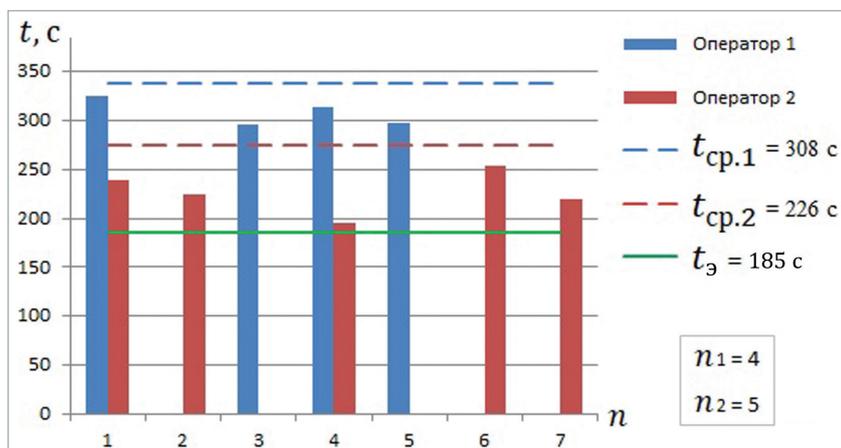


Рис. 10. Результаты фонового исследования после изоляции

### Исследование возможностей формирования экосистемы/микроклимата сотрудничества экипажа

Экипажи, осуществляющие длительные космические полеты (ДКП), живут и выполняют сложную профессиональную деятельность (в том числе и операторскую) в условиях постоянного воздействия физических, физиологических и психологических неблагоприятных факторов космического полета. Условия космического полета при скученности и дефиците приватного пространства, в сочетании с высоким уровнем стресса, могут провоцировать конфликтную напряженность, борьбу за лидерство внутри экипажа, приводить к развитию эмоциональных расстройств и нарушениям сна, снижению мотивации и работоспособности. Появление этих психологических проблем связано с процессами астенизации центральной нервной системы (ЦНС).

Одним из направлений формирования экосистемы/микроклимата сотрудничества членов экипажа в условиях этих факторов предлагается проведение мероприятий психологической поддержки (ПП) методами, основанными на новых информационных технологиях. В отличие от применяемых в настоящее время способов информационного обеспечения экипажей, технологии виртуальной реальности (VR), голосовые помощники, социальная

робототехника независимы от прямой связи с Землей и наличия дополнительных поставок, в связи с этим они могут быть применены в межпланетных полетах при воздействии фактора автономности [3–5].

Во всех модельных экспериментах, где использовались виртуальные среды («МАРС-500», «SIRIUS-17», «SIRIUS-19», «ЭСКИЗ» и «SIRIUS-21»), члены международных экипажей указывали на необходимость использования ВР для обучения, повышения качества профессиональных навыков и выработку новых. Это соответствует современным представлениям российских и американских ученых о необходимости использования технологий ВР в ДКП (включая перспективные межпланетные полеты) не только в качестве метода компенсации сенсорного дефицита, но и в роли средства поддержания профессиональных навыков космонавта.

В 8-месячном эксперименте «SIRIUS-21» виртуальное личное пространство предоставляло пользователю 24 сценария интерактивного взаимодействия с предъявляемой информационной средой (т. е. 24 степени свободы), не считая возможностей виртуальной комнаты для рисования. В виртуальный «кинотеатр» было загружено 20 3D-роликов релаксационной направленности продолжительностью 3–15 мин каждый. Однако согласно проведенному «после полета» групповому интервью с членами экипажа, высокая мотивация к использованию специализированного программного обеспечения (ПО) для ПП в среде ВР (виртуальное личное пространство) сохранялась лишь в течении трех недель эксперимента, после чего ВР для ПП членам экипажа «наскучила». Эти результаты подтвердили данные, полученные в эксперименте «МАРС-500», где экипаж также «насытился» предъявляемыми виртуальными средами уже в течении первого месяца изоляции.

Таким образом, эмпирическим путем установлено, что указанного здесь объема специализированного контента и количества возможностей для интерактивного взаимодействия со средой ВР достаточно лишь на 14–20 суток изоляции.

Отдельный вопрос связан с достаточным для решения задач ПП объемом предъявляемого в ВР стимульного материала. Согласно самоотчетам обследуемых в 3-суточной и 7-суточной «сухих» иммерсиях (метод заключается в погружении (кроме головы) в теплую воду без контакта с водой благодаря тонкой пленке, в которую человек завернут), объем предъявляемого в ВР контента являлся достаточным для всей продолжительности эксперимента. В то же время, согласно самоотчетам членов экипажа эксперимента «ЭСКИЗ», который отличался от иммерсии более активным распорядком дня у обследуемых, количество возможностей для интерактивного взаимодействия с виртуальным личным пространством и разнообразие объемных видео (14 файлов продолжительностью от 1,5 до 15 мин) было явно недостаточным для выполнения всех задач ПП. Члены экипажа отмечали в «послеполетном» групповом интервью, что у них быстро развивалось «надоедание» по отношению к ВР.

Обследуемые в модельных экспериментах и в контрольной группе представляли различные возрастные и профессиональные подгруппы, относились к различным культурам, среди них были представители обоих полов. В выборке присутствовали представители различных национальностей (в экипаж эксперимента «SIRIUS-21» входили 3 гражданина РФ разных субэтнотипов, 2 гражданина США разного национального происхождения и 1 представитель ОАЭ). При этом культурально или гендерно обусловленных особенностей восприятия ВР для ПП выявлено не было. Можно предположить, что этот феномен связан с тем, что в качестве стимульного материала (контента) для виртуальных сред были сознательно отобраны такие психологические образы, которые являются «универсальными» с культурной и социальной точек зрения.

Как показывают результаты моделирования операций по высадке на поверхность Луны в экспериментах «SIRIUS-19», «ЭСКИЗ» и «SIRIUS-21» с длительной изоляцией и высокой автономностью, использование тренажеров на основе технологий ВР симуляционная виртуальная «высадка» на Луну обеспечивала в том числе обучение экипажа профессиональной деятельности [5]. Согласно данным самоотчетов, радиограмм и групповому «послеполетному» интервью со всем экипажем, внекорабельная деятельность (ВКД) выступила в качестве полноценного мероприятия ПП. Она позволила экипажу компенсировать воздействие депривационных (сокращение либо полное лишение возможности удовлетворять основные потребности – психофизиологические либо социальные) феноменов, положительно повлияла на сплочение экипажа, наделила всю изоляционную миссию значимым психологическим смыслом и предоставила возможность создать у обследуемых образ космического полета. Параллельное исследование, проведенное в контрольной группе в обычных условиях жизнедеятельности, позволило подтвердить благоприятный психоэмоциональный эффект от моделируемой высадки на поверхность Луны в виртуальной среде, связанной с выполнением целесообразной значимой деятельности (согласно данным компьютерного анализа мимики с помощью ПО Noldus FaceReader).

При выполнении в ЭИ заданий по выполнению различного вида операций в ВР с использованием РТС испытатели находились не в статическом состоянии, когда оператор может лишь наблюдать за событиями, имея степень свободы головы, а облаченные в ЗУКТ при физической нагрузке с возможностью активно выполнять полезную работу манипуляторами виртуальной РТС (вес ЗУКТ составляет ~7,5 кг). При этом при работе в ШВР с использованием ЗУКТ отмечается увеличение времени устойчивого отсутствия у испытателей вестибулярного дискомфорта с 15 до 25 мин.

Таким образом, перспективы развития средств ВР для ПП должны включать в себя также сценарии и контент, связанные с поддержанием профессиональных навыков космонавтов.

## **Обобщение результатов экспериментальных исследований**

Для планируемых изоляционных экспериментов предлагается предусмотреть дополнительное время для предварительной апробации и уточнения программы и методики исследований с учетом потенциального контингента участников эксперимента, в том числе для корректного определения ролей участников эксперимента. Кроме того, целесообразно учесть необходимость проведения пролонгированного отбора операторов РТС АТ из числа испытателей до начала изоляционного эксперимента.

При проведении ИЭ предлагается привлекать участников (по возможности и при их желании) ранее проведенных экспериментов «SIRIUS-21» в качестве экспертов. Они могут быть полезны на этапе разработки программ и методик исследований, на этапе подготовки участников ИЭ к исследованиям, в процессе выполнения исследований в ходе ИЭ «SIRIUS-23», в частности, по направлению «Космическая робототехника».

В случае отсутствия резервных возможностей по переносу сроков выполнения исследований предлагается закрепить приоритет за ИЭ по отношению к другим оперативно возникающим мероприятиям как стратегически значимым для науки и техники в проекции на медико-биологические аспекты.

Для будущих ИЭ предлагается сформировать требования к массогабаритным характеристикам НА для различных ситуаций: при транспортировке через шлюзы; при развертывании и применении внутри станции; при развертывании и использовании на имитаторе поверхности планеты и т. п.

В ходе ЭИ выявилась проблема утомляемости и перегруженности зрительной системы испытателей. При нарушении порядка проведения ЭИ, а именно: несоблюдение режима труда и отдыха; выполнение нескольких сеансов работы подряд без выдерживания паузы – у испытателя возникало состояние дискомфорта. Таким образом, при организации подобных ЭИ следует акцентировать внимание на строгом соблюдении порядка проведения ЭИ при выполнении работ с использованием очков/шлема ВР.

Результаты исследований предлагается использовать для формирования рекомендаций по проектированию и обработке коллаборации (совместных операций с эффектом сотрудничества) [6, 7] и интерфейса взаимодействия операторов с РТС [8] для операционной и информационной поддержки деятельности экипажей в процессе наземной подготовки основных и дублирующих экипажей к космическому эксперименту «Теледроид» [9], а также при проведении планируемых ЭИ 12-месячной изоляции на базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН «SIRIUS-23» с использованием модернизированного УКС РТС и физических образцов АР и мобильной платформы.

## Выводы

1. Результаты ЭИ до начала эксперимента показывают, что в силу психолого-физиологических и индивидуальных особенностей операторских качеств не каждый участник изоляционного эксперимента смог исполнить роль оператора по управлению РТС. Полученные в ходе исследований данные позволили сделать вывод о необходимости пролонгированного отбора операторов РТС АТ из числа испытуемых до начала изоляционного эксперимента.

2. В ходе изоляционного эксперимента отработана технология дистанционного обучения экипажа в длительном межпланетном перелете. При подготовке к планируемым экспериментам, предполагающим дистанционное общение с задержкой связи, необходима разработка дополнительных обучающих материалов, интерактивных учебно-справочных материалов (инструкций) с соответствующими ссылками и подсказками.

3. Экспериментальные данные позволили оценить динамику изменения адаптации профессиограмм (система признаков, описывающих ту или иную профессию) использования РТС и качества выполнения (до, во время и после изоляции) операторской деятельности членов экипажа.

4. В ходе проведения исследований полученные экспериментальные данные позволили создать базу данных норм времени выполнения выбранных для ЭИ сценариев опытными специалистами (сотрудниками НИИ ЦПК). Полученные данные могут быть полезны для дальнейших исследований в качестве расчетной базы, а также для последующей обработки с точки зрения критериев отличных от критериев постановщиков эксперимента.

5. Для формирования экосистемы/микроклимата сотрудничества членов экипажа в условиях факторов ДКП предложены мероприятия ПП методами, помимо традиционных, основанными на новых информационных технологиях; технологии VR; голосовые помощники, социальная робототехника.

6. Полученные результаты исследований и апробированные технологии дистанционного обучения позволят сравнить адекватность функционирования виртуальной и физической моделей (планируемых к использованию в дальнейших исследованиях), сформировать рекомендации для операционной и информационной поддержки деятельности экипажей в процессе их подготовки к ППКП.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стандарта робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4(41). – С. 36–47.
- [2] 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 [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 4(45). – С. 54–71.

- [3] Виртуальная реальность для психологической коррекции: методология формирования контента / И.А. Розанов, А.В. Иванов, О.О. Рюмин [и др.]; под ред. В.В. Козлова, А.В. Карпова, В.А. Мазилова [и др.] // Методология современной психологии. – Москва: ЛКИИСИ РАН: МАПН; Ярославль: ЯрГУ, 2022. – Вып. 16. – С. 324–333.
- [4] Опыт применения виртуальной реальности для психологической коррекции в экспериментах с моделированием стрессоров космического полета / И.А. Розанов, А.В. Иванов, О.О. Рюмин, Ю.А. Бубеев; под ред. В.В. Козлова, А.В. Карпова, В.А. Мазилова [и др.] // Методология современной психологии. – Москва: ЛКИИСИ РАН: МАПН; Ярославль: ЯрГУ, 2022. – Вып. 16. – С. 333–344.
- [5] Розанов, И.А. Психологические эффекты психологической поддержки при моделировании факторов космического полета: диссертация на соискание ученой степени канд. мед. наук. – Москва: ФГБУН ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2022. – 141 с. – URL: <http://www.imbp.ru/WebPages/win1251/ScienceN/DisserSov/Rosanol2022/Rosanol-dis.pdf> (дата обращения 14.04.2023).
- [6] Чеботарев, Ю.С. Некоторые аспекты коллаборативного взаимодействия космонавтов с антропоморфными робототехническими системами для пилотируемых космических полетов / Ю.С. Чеботарев, В.А. Дикарев, М.М. Харламов; редкол.: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов [и др.] // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2021): материалы XIV мультиконференции (Дивноморское, Геленджик, 27 сентября – 2 октября 2021 г.): в 4 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2021. – Т. 1. – С. 215–217.
- [7] Чеботарев, Ю.С. О некоторых направлениях обеспечения коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов / Ю.С. Чеботарев, В.А. Дикарев // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». 2021. – С. 65–77.
- [8] Человеко-машинные интерфейсы пилотируемых космических аппаратов: опыт и перспективы / В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Б.И. Крючков, И.Н. Белозерова // Воздушно-космическая сфера. – 2021. – № 2. – С. 54–63.
- [9] Теледроид: эксперимент. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (дата обращения 16.05.2022).

## REFERENCES

- [1] Prerequisites and Results of Robotic Systems Universal Computer Stand Modernization / V.A. Dikarev, V.A. Dovzhenko, E.V. Nikitov, Yu.S. Chebotarev // Manned Space Flight. – 2021. – No 4(41). – P. 36–47.
- [2] Problem of Ensuring Compliance of Kinematic Characteristics of Actuators and Control Devices of Anthropomorphic Robotic Systems for Perspective Manned Space Programs / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Y. Kikina [et al.] // Manned Space Flight. – 2022. – No 4(45). – P. 54–71.
- [3] Virtual Reality for Psychological Correction: Methodology of Content Formation / I.A. Rozanov, A.V. Ivanov, O.O. Ryumin [et al.]; ed. by V.V. Kozlov, A.V. Karpov, V.A. Mazilov [et al.] // Methodology of Modern Psychology. – Moscow: LKIISI RAS: MAPN; Yaroslavl: YarSU, 2022. – Vol. 16. – P. 324–333.

- [4] The Experience of Using Virtual Reality for Psychological Correction in Experiments with Modeling Space Flight Stressors / I.A. Rozanov, A.V. Ivanov, O.O. Ryumin, Yu.A. Bubeev; ed. by V.V. Kozlov, A.V. Karpov, V.A. Mazilov [et al.] // Methodology of modern Psychology. – Moscow: LKIISI RAS: MAPN; Yaroslavl: YarSU, 2022. – Vol. 16. – С. 333–344.
- [5] Rozanov, I.A. Psychological Effects of Psychological Support in the Modeling of Space Flight Factors: Dissertation for the Degree of Candidate of Medical Sciences. – Moscow: FSBI SSC RF – IMBP RAS, 2022. – 141 p. – URL: <http://www.imbp.ru/WebPages/win1251/ScienceN/DisserSov/Rosanov2022/Rosanov-dis.pdf> (accessed 14.04.2023).
- [6] Chebotarev, Yu.S. Some Aspects of the Collaborative Interaction of Astronauts with Anthropomorphic Robotic Systems for Manned Space Flights / Yu.S. Chebotarev, V.A. Dikarev, M.M. Kharlamov; ed.: I.A. Kalyaev, V.G. Peshekhonov [et al.] // XIV All-Russian Multi-Conference on Management Problems (MCPU-2021): materials of the XIV Multiconference (Divnomorskoe, Gelendzhik, September 27 – October 2, 2021): in 4 Vol. – Rostov-on-Don; Taganrog: Publishing House of the Southern Federal University, 2021. – Vol. 1. – P. 215–217.
- [7] Chebotarev, Yu.S. On Some Areas of Ensuring Cosmonauts Collaborative Interaction with Robotic Systems for Manned Space Flights / Yu.S. Chebotarev, V.A. Dikarev // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Extreme Robotics” (Proceedings of the International Scientific and Technological Conference “Extreme Robotics”). – 2021. – P. 65–77.
- [8] Man-Machine Interfaces of Manned Spacecraft: Experience and Prospects / V.A. Dikarev, A.Y. Kikina, B.I. Kryuchkov, I.N. Belozerova // Aerospace Sphere. – 2021. – No 2. – P. 54–63.
- [9] Teledroid: Experiment. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (accessed 16.05.2022).