

ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ ПОСЛЕПОЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО УПРАВЛЕНИЮ ПЛАНЕТОХОДОМ

П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.Н. Киршанов, В.С. Коренной,
Б.И. Крючков, Ю.И. Онуфриенко, К.В. Пономарев,
М.М. Харламов, В.В. Швецов

Канд. техн. наук, ст.н.с. П.П. Долгов; канд. техн. наук, ст.н.с. Е.Ю. Иродов;
В.Н. Киршанов; канд. техн. наук, ст.н.с. В.С. Коренной;
докт. техн. наук Б.И. Крючков; канд. техн. наук Ю.И. Онуфриенко;
К.В. Пономарев; канд. экон. наук М.М. Харламов; В.В. Швецов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье предложен подход к проведению экспериментальных исследований по оценке возможностей выполнения космонавтами управления планетоходом непосредственно после выполнения длительных космических полетов. Представлена общая концепция и план проведения экспериментальных исследований. Разработаны общие требования к имитатору планетохода и предложения по техническому обеспечению проведения послеполетных исследований космонавтов.

Ключевые слова: космонавт, дальний космос, послеполетные экспериментальные исследования, операторская деятельность, управление планетоходом, скафандр.

Approach to Carrying Out a Post-Flight Experiment on Operating an On-Planet Rover. P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.N. Kirshanov, V.S. Korennoy, B.I. Kryuchkov, Yu.I. Onufrienko, K.V. Ponomarev, M.M. Kharlamov, V.V. Shvetsov

The article proposes experimental studies to evaluate control of an on-planet rover by cosmonauts immediately after long space missions. The general concept of the experimental research is presented. The general requirements for a simulator of the on-planet rover and proposals for the technical support of post-flight research are represented.

Keywords: cosmonaut, deep space, post-flight experimental research, operator activity, rover control, spacesuit.

Постановка задачи

Для осуществления перспективных космических полетов на Луну и Марс потребуется прогнозирование возможности выполнения космонавтами различных видов операторской деятельности в условиях тяготения этих планет после длительного воздействия невесомости. С 2013 года в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (ЦПК) проводятся специальные экспериментальные

исследования по оценке возможности выполнения космонавтами сложной операторской деятельности непосредственно после выполнения длительных космических полетов [1, 2]. Эксперименты по ручному управляемому спуску (РУС) космического аппарата на планету выполняются в период послеполетных мероприятий (ППМ) на первый день после посадки экипажа путем моделирования этапа спуска на тренажерах ТС-7 и ТС-18 на базе центрифуг ЦФ-7 и ЦФ-18. Эксперименты по моделированию внекорабельной деятельности (ВКД) на планете – передвижения космонавта и выполнение отдельных операций на поверхности планеты – выполняются на четвертый день после посадки экипажа на тренажере «Выход-2». В качестве примера на рис. 1 представлена модель экспериментальных исследований с участием космонавта М.Б. Корниенко после завершения полета на борту Международной космической станции (МКС) продолжительностью 340 суток [2]. Кроме того, с 2019 года начато проведение экспериментов по режиму ручного причаливания на специализированном тренажере «Дон-Союз».

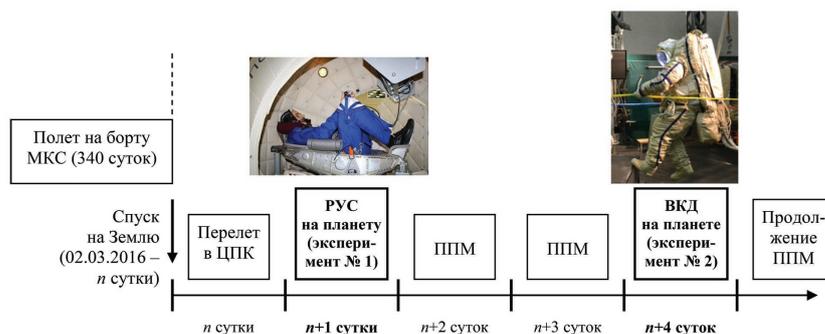


Рис. 1. Модель экспериментальных исследований с участием М.Б. Корниенко [2]

В настоящее время вопросы исследования и освоения Луны находятся на стадии теоретических разработок, обоснования необходимости и целесообразности и прогнозного планирования. Проведенный анализ условий выполнения и перечня возможных работ космонавтов на поверхности Луны [3] позволяет с высокой вероятностью сделать вывод о том, что для эффективного решения всего комплекса задач будут широко использоваться планетоходы различного назначения и конструктивного исполнения. Это обуславливает необходимость заблаговременного проведения оценки и прогнозирования надежности профессиональной деятельности космонавта при выполнении операций управления планетоходом на поверхностях небесных тел после длительного воздействия неблагоприятных факторов космического полета. Основной задачей настоящей статьи является разработка подхода к проведению экспериментов для решения новой задачи – определения возможностей космонавта по управлению планетоходом после выполнения длительного космического полета.

Состояние вопроса

В исследованиях российских и зарубежных специалистов [4, 5] установлено, что длительный космический полет изменяет вестибулярную (сенсомоторную) функцию, которая проявляется в значительном снижении глазодвигательного контроля, координации взгляда, пространственной ориентации, осанке, локомоторном контроле. Риск ухудшения наиболее велик во время и вскоре после изменения величины гравитации (в течение времени от нескольких часов до недель), когда снижение производительности может иметь большое воздействие на возможность выполнять запланированную программу экспедиции (посадка, немедленный выход и ВКД после посадки на поверхность). Возможные изменения в сенсомоторных характеристиках представляют особый интерес для миссий на Марс из-за длительного воздействия микрогравитации во время перелета, за которым следуют задачи посадки и ВКД. Этот риск в российских источниках формулируется как «ослабление контроля систем управления космическим кораблем из-за нарушений высших интегративных функций центральной нервной системы, вестибулярных и сенсомоторных изменений, связанных с космическим полетом» [4].

В рамках Программы исследования человека НАСА (Human Research Program) для аналогичного риска (Risk of Impaired Control of Spacecraft, Associated Systems and Immediate Vehicle Egre) определена необходимость устранить два пробела в знаниях: определить изменения сенсомоторной функции во время полета и во время восстановления после приземления, а также определить, есть ли сенсомоторная дисфункция во время и после длительного продолжительного космического полета и как она влияет на способность управлять космическим кораблем и соответствующими системами [5].

Для определения влияния длительного космического полета на квалификацию оператора после посадки в НАСА были проведены специальные исследования [6]. В течение 24 часов после приземления (в среднем после 171 дня на борту МКС) восемь членов экипажа были оценены с помощью комплекса когнитивных (сенсомоторных) тестов на трех виртуальных имитаторах – вождение автомобиля; пилотирование самолета Т38; управление планетоходом (навигация, перемещение и стыковка с другим планетоходом) на поверхности Марса.

При этом для оценки возможности астронавтов управлять планетоходом применялась следующая методика.

1) Предварительное изучение местности по карте: в начале каждого испытания астронавтам была представлена электронная карта (с подробным описанием текущего местоположения планетохода и места стыковки с заданным объектом), по которой они должны были предварительно сориентироваться. Астронавты использовали джойстик, чтобы задать направление перемещения от своего исходного положения к объекту стыковки, не получая

визуальной обратной связи о точности наведения. Время выполнения и точность (абсолютная ошибка в градусах) были основными регистрируемыми показателями.

2) Перемещение по маршруту: после выполнения задачи изучения маршрута по карте астронавт как можно быстрее перемещался на планетоходе к месту стыковки, обходя препятствия. Время прибытия в пределах установленного радиуса до цели и общая длина пути были основными регистрируемыми показателями. Длительность выполнения операции перемещения имела временное ограничение в 120 секунд, после чего испытуемые переходили к выполнению операции стыковки. Предполагалось выполнить дальнейший анализ этих данных для определения характеристик линейных ускорений, которым члены экипажа подвергались на этапе перемещения по маршруту.

3) Задача стыковки: после того как астронавты прибывали в конечную точку маршрута (герметичный жилой модуль или другой планетоход), они по визуальным ориентирам определяли требуемые для выполнения задачи стыковки параметры – взаимное расположение цели и своего объекта и углы рассогласования. Астронавты должны были, используя камеры бокового обзора, расположить один из боковых люков планетохода у стыковочного узла и сориентировать его по осям. Время выполнения задачи стыковки и углы рассогласования были основными регистрируемыми показателями. На выполнение задания выделялось 90 секунд.

Сходные исследования возможностей космонавтов по управлению планетоходом после космического полета проводились в ЦПК в рамках послеполетных экспериментальных исследований на специализированном тренажере «Выход-2» [2]. Задачей экспериментальных исследований являлась оценка надежности профессиональной деятельности космонавта при управлении виртуальной моделью планетохода. Экспериментальные исследования включали два этапа:

1-й – 10-минутное тренировочное занятие, состоящее из ознакомления с виртуальной моделью профессиональной деятельности (интерфейсом, принципом управления, ключевыми показателями, поставленной задачей) и короткого тренировочного заезда по открытой поверхности;

2-й – выполнение задачи по управлению планетоходом.

Методика включала проведение планетохода от заданной начальной точки маршрута к известной заранее конечной точке по самостоятельно формируемой траектории на поверхности Марса. Формируемый маршрут состоял из двух принципиально отличающихся участков: начального, с относительно ровной открытой поверхностью, что позволяло вработаться в задачу, и узкого извилистого каньона с множеством закрывающих обзор препятствий. Поставленная задача включала в себя два основных этапа: поиск на открытой местности въезда в каньон и последующее проведение по нему планетохода до конечной точки. На экране космонавту предоставлялись

динамическое изображение марсианской поверхности, а также информация о параметрах движения планетохода: скорость, мощность двигателя и уровень ресурса батарей, обеспечивающих движение. Фрагменты выполнения задачи по управлению планетоходом на тренажере «Выход-2» в скафандрах «Орлан-МК-Т» космонавтами М.Б. Корниенко и О.Г. Артемьевым представлены на рис. 2.

В процессе выполнения задач регистрировались следующие параметры операторской деятельности: успешность выполнения задачи; затраченная энергия; пройденное расстояние; длительность управления. На основании данных параметров вычислялись интегральные показатели качества управления, отражающие эффективность использования ресурсов планетохода: расход энергии в единицу времени; расход энергии на единицу расстояния.

Результаты выполнения экспериментальных исследований по управлению планетоходом показали, что космонавты в скафандре в целом способны успешно справиться с задачей управления виртуальной моделью планетохода. Величина рабочего давления в скафандре оказывала существенное влияние на выполнение манипуляций органами управления данной модели: при повышении давления в скафандре наблюдалось значительное повышение удельного расхода энергии.



Рис. 2. Проведение экспериментальных исследований космонавтами М.Б. Корниенко и О.Г. Артемьевым

Перечисленные выше исследования российских и американских ученых по управлению планетоходами проводились на статических виртуальных тренажерах. При этом не учитывалось воздействие дополнительных раздражителей на вестибулярный анализатор космонавта, таких, как прямолинейные и угловые ускорения при движении планетохода и развивающиеся при этом центробежные силы, а также изменения направления силы тяжести при перемещениях тела в пространстве. Кроме того, на тренажерах отсутствует влияние стресс-фактора, присущее деятельности по управлению, не виртуально, а реально движущимся планетоходом. Таким образом, представляет несомненный научный интерес проведение экспериментальных исследований по оценке возможностей и качества деятельности космонавта после космического полета по управлению реально движущимся прототипом или имитатором планетохода. В связи с отсутствием возможности использовать прототип планетохода, предлагается разработать имитатор планетохода (ИП).

Общая концепция и план проведения экспериментальных исследований

На вторые-пятые сутки после выполнения длительного космического полета космонавты, снаряженные в скафандры с переносной вентиляционной установкой, выполняют задачу управления планетоходом (передвижение на ИП по специально разработанной трассе).

Тренировки по управлению ИП проводятся с космонавтами на этапе подготовки к космическому полету в составе экипажа. По предварительной оценке специалистов потребуется три тренировки (одна из них без скафандра). После завершения цикла тренировок проводится предполетный (фоновый) эксперимент.

Трассу предлагается создать из нескольких последовательных участков, отличающихся радиусами и количеством поворотов, шириной коридора разметки, необходимостью движения задним ходом и других маневров.

Космонавт должен управлять ИП при движении по трассе таким образом, чтобы колеса ИП не пересекали линии разметки внешних границ трассы. В процессе передвижения по трассе необходимо осуществлять контроль и регистрацию параметров, характеризующих качество управления: время прохождения отдельных участков трассы, количество ошибок (наездов колесами на линии внешней разметки), расход энергии аккумуляторов, скорость движения, пройденный путь, углы отклонения ведущих колес (далее технические параметры). Кроме того, требуется осуществлять контроль и регистрацию показателей физиологического состояния космонавта: частоты сердечных сокращений, частоты дыхания, температуры тела (заушной), кардиоинтервалов. Для обеспечения надлежащей достоверности результатов и удобства их анализа целесообразно в процессе проведения экспериментов производить видеорегистрацию (положения колес ИП относительно линий

внешней разметки трассы, лица космонавта и т.п.), а также вести аудиозапись комментариев космонавта в процессе выполнения задачи и переговоров со специалистами, проводящими эксперимент.

После завершения эксперимента производится обработка и анализ полученных данных. Выполняется сопоставление результатов полученных в экспериментах до и после полета. Формулируются выводы о возможностях космонавта управлять планетоходом после длительного космического полета.

Общие требования к имитатору планетохода и условиям проведения послеполетных исследований космонавтов

Для применения на других планетах рассматриваются варианты планетоходов на электрической тяге, что обусловлено возможностью подзарядки батарей в течение длительного времени активного функционирования от солнечных батарей или изотопных источников различного типа. Использование двигателей на химическом топливе практически не рассматривается. Вследствие этого в качестве имитатора планетохода должно быть использовано транспортное средство на электрической тяге.

Возвращение космонавтов на Землю после выполнения космического полета происходит в разное время года, и даже в теплый сезон может совпасть с неблагоприятными погодными условиями. Для исключения зависимости возможностей проведения работ от метеоусловий необходимо проводить эксперименты на полигоне, расположенном в закрытом помещении, оборудованном системами освещения и отопления, имеющем ровный пол, выдерживающий нагрузку движущегося ИП.

Закрытые помещения ЦПК, в которых возможно оборудовать полигон для проведения экспериментов по управлению ИП, имеют существенные ограничения по свободной площади пола. Это определяет требование необходимости разрабатывать ИП на базе малогабаритного технического средства (ТС), для безопасного управления которым не потребуется сложного обучения и будет достаточным наличие навыков управления легковым автомобилем. Для обеспечения минимального финансирования целесообразно использовать серийно выпускаемые ТС. Предпочтительно использовать ТС, имеющие на пульте управления рукоятку (джойстик).

Анализ существующих концепций [7] и полевых испытаний прототипов планетоходов НАСА в проектах Desert RATS, Haughton-Mars Project [8] показал, что предполагается управление планетоходом как из герметичной кабины (без специального защитного снаряжения), так и в скафандре в условиях воздействия факторов, характерных для ВКД на поверхности небесного тела. Это выдвигает требование обеспечения возможности размещения на ИП космонавта в скафандре.

С целью обеспечения безопасности экспериментов необходимо обеспечить хорошую устойчивость ИП к опрокидыванию, что должно обеспечиваться, прежде всего, низким расположением центра тяжести ИП.

Для обеспечения страховки космонавта необходимо оснащение рабочего места космонавта на ИП ремнями безопасности.

Предложения по техническому обеспечению экспериментов

Данные объективного контроля (технические и физиологические параметры, видео- и аудиоинформацию) предлагается регистрировать в цифровом виде и в автоматическом режиме передавать в центр обработки данных ЦПК для хранения и последующего анализа, включая возможность использования видеосервера для синхронного анализа потоков данных. Использование такого подхода обеспечит выполнение задачи «Формирование и реализация политики по работе с данными, нацеленной на создание среды и процессов, обеспечивающих максимально быстрое получение, обработку и анализ данных, их безопасное хранение, извлечение максимальной ценности из используемых данных», сформулированной в Стратегии цифровой трансформации Госкорпорации «Роскосмос» по направлению «Цифровая система управления данными».

Для создания ИП и проведения экспериментов необходимо:

- оборудовать на ТС рабочее место космонавта (РМК);
- сформировать комплект оборудования системы контроля и регистрации результатов экспериментов (СКРРЭ);
- организовать передачу информации из СКРРЭ через локальную вычислительную сеть (ЛВС) на видеосервер центра обработки данных;
- на ТС оборудовать технологический отсек для размещения бортовых систем, входящих в состав СКРРЭ;
- на полигоне оборудовать специальную трассу для передвижения ИП.

Рабочее место космонавта должно включать:

- пульт управления;
- систему визуального контроля обстановки;
- указатель угла поворота ведущих колес;
- кресло космонавта.

Пульт управления предназначен для управления движением ИП по трассе перемещения. Предполагается использовать штатный пульт управления выбранного ТС.

Система визуального контроля обстановки предназначена для контроля космонавтом прохождения ограничений на трассе по левому и правому борту, находящихся вне зоны видимости с рабочего места космонавта, а также наблюдения за обстановкой при движении задним ходом. Предлагается установить на рабочее место три цветных видеомонитора с диагональю 7–8 дюймов.

Указатель угла поворота ведущих колес предназначен для выдачи визуальной информации космонавту о положении ведущих колес ИП. В качестве указателя предлагается использовать лазерный нивелир.

Кресло космонавта предназначено для размещения космонавта в положении сидя. Предлагается установить автомобильное кресло, оснащенное системой регулировки по росту, ремнем безопасности и правым подлокотником.

Система контроля и регистрации результатов экспериментов (СКРРЭ) должна состоять из «бортовых» систем, располагаемых непосредственно на ИП, и «наземных» систем, расположенных на полигоне. Состав системы контроля и регистрации результатов экспериментов представлен на рис. 3.

Система электропитания (СЭП) предназначена для обеспечения электропитанием бортовых систем СКРРЭ и должна включать:

- аккумуляторную батарею;
- инвертор.

Система физиологического контроля (СФК) предназначена для контроля, регистрации и расчета физиологических параметров космонавта: частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхания (ЧД), температуры заушной (Тз), массива кардиоинтервалов. На основании значений физиологических параметров рассчитываются показатели напряженности функционального состояния космонавта.



Рис. 3. Состав системы контроля и регистрации результатов экспериментов

Система контроля технических параметров (СКТП) предназначена для контроля, регистрации и расчета технических параметров, характеризующих работу космонавта по управлению ИП: расход электроэнергии ИП, скорость движения, пройденный путь, угол поворота управляющих колес.

Система видеоконтроля (СВК) предназначена для получения видеoinформации о положении ИП относительно элементов трассы и состоянии космонавта. Должна включать четыре камеры высокого разрешения. Две камеры бокового обзора, одна камера контроля движения задним ходом, одна камера контроля состояния оператора (направлена на лицо).

Специальный комплекс контроля (СКК) предназначен для контроля движения ИП по заданной траектории (на одном из участков трассы), обозначенной специальной линией разметки. Комплекс должен в автоматическом режиме определять частоту и величину отклонений от заданной траектории, а также время возвращения на линию разметки.

Система коммутации и ретрансляции «борт–полигон» (СКРБП) предназначена для коммутации элементов бортовых систем СКРРЭ, передачи изображений с камер бокового и заднего обзора на видеомониторы СВКО, преобразования HDMI сигнала СФК и СКТП в поток данных для видеосервера, ретрансляции данных с четырех камер СВК и сигналов СФК и СКТП на радиоточку системы СРЗС.

Система ретрансляции «полигон–сеть» (СРПС) предназначена для получения информации от бортовых систем (через СКРБП) и ретрансляции необходимой информации на РМВ и РМРЭ, а также передачи всей информации через ЛВС для хранения и обработки на видеосервер центра обработки данных.

Рабочее место врача (РМВ) должно быть оснащено видеомонитором (ноутбуком), который в режиме реального времени отображает информацию об основных физиологических параметрах космонавта, регистрируемых СФК, а также изображения лица оператора.

Рабочее место руководителя эксперимента (РМРЭ) оснащается видеомонитором (ноутбуком), на котором в режиме реального времени отображается видеoinформация с бортовых камер ИП и технические параметры из СКТП.

Система связи (СС) предназначена для связи между рабочими местами космонавта, врача и руководителя эксперимента в режиме конференции, а также регистрации переговоров.

Трасса перемещения ИП должна располагаться на полигоне в подходящем помещении ЦПК и состоять из нескольких (пяти-семи) участков различной сложности. Общая протяженность маршрута должна составлять порядка 130–150 метров и обеспечивать возможность выполнения задачи передвижения космонавта на ИП за 15–20 минут. Разметку внешних границ и других элементов трассы рекомендуется выполнить специальной самоклеящейся лентой разных цветов.

Технологический отсек ИП предназначен для размещения основных элементов бортовой системы СКРРЭ.

На рис. 4. показана предлагаемая процедура (последовательность) формирования и передачи данных объективного контроля.

Потоки информации с датчиков СФК и СКТП должны поступать на блоки обработки данных соответствующих систем, откуда после обработки и преобразования будут передаваться через СКРБП по радиоканалу в СРПС, и далее по ЛВС в ЦОД. При этом физиологические параметры будут из ЦОД в режиме реального времени транслироваться на монитор РМВ, а технические параметры на монитор РМРЭ.

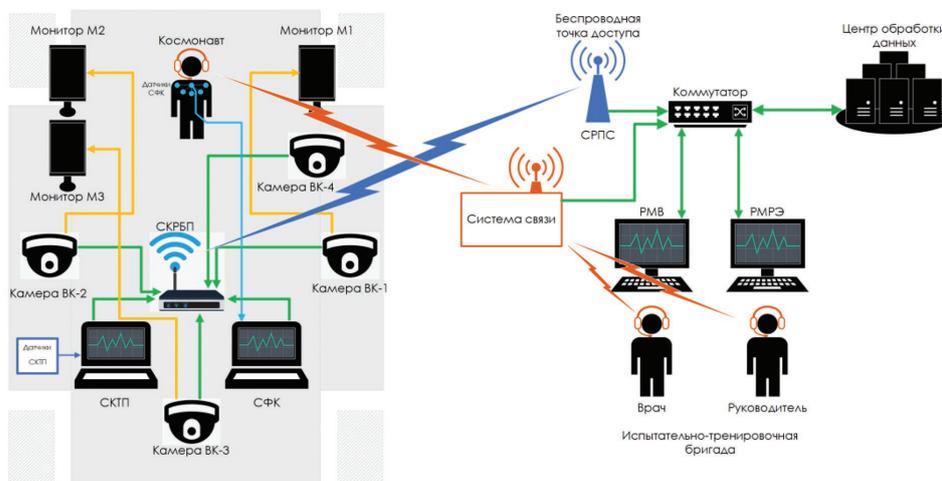


Рис. 4. Схема формирования и передачи данных объективного контроля в послеполетном эксперименте

Потоки информации со всех четырех видеокамер СВК должны передаваться через СКРБП по радиоканалу в СРПС и далее по ЛВС в ЦОД. Одновременно видеoinформация с видеокамер бокового обзора (ВК-1, ВК-2) и видеокамеры заднего обзора (ВК-3) должна передаваться непосредственно на видеомониторы системы визуального контроля обстановки (М1, М2, М3), а с видеокамеры, направленной на лицо космонавта (ВК-4) через СКРБП и СРПС на монитор РМВ.

Переговоры между космонавтом и членами испытательно-тренировочной бригады осуществляются при помощи системы радиосвязи и по ЛВС должны передаваться для регистрации в ЦОД.

Видеоданные с камер ВК-1, ВК-2, ВК-3, ВК-4, СФК и СКТП, а также аудиоданные с системы радиосвязи необходимо синхронно регистрировать в ЦОД для обеспечения удобства при анализе проведенных тренировок и экспериментов.

Разработаны и предварительно опробованы возможные варианты участков трассы, некоторые из которых представлены на рис. 5:

- участок 1, на котором выполняется движение по «змейке» с различными по сложности поворотами, движение осуществляется только вперед;
- участок 2, на котором движение выполняется задним ходом;
- участок 3, на котором необходимо произвести разворот в ограниченном пространстве и продолжить движение к следующему участку;
- участок 4, на котором необходимо объехать вокруг двух препятствий, в конце участка подъехать к объекту и разместить на нем предмет (инструмент, аппаратуру), который был забран на одном из предыдущих участков.

В процессе разработки подхода к проведению послеполетного эксперимента по управлению планетоходом были разработаны и опробованы прототипы СКТП и СФК. Предварительные результаты испытаний показали практическую реализуемость разработанных предложений.

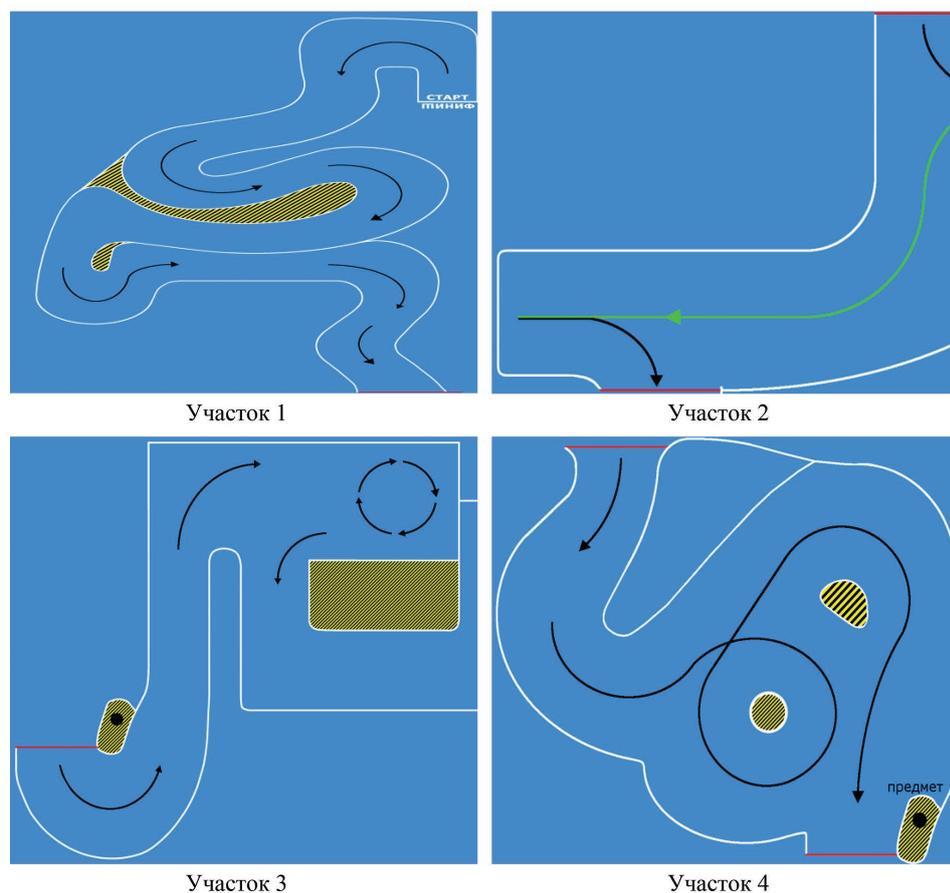


Рис. 5. Примеры вариантов участков трассы

Выводы

1. В целях создания научно-технического задела для планирования и осуществления перспективных пилотируемых космических полетов на Луну и Марс обоснована необходимость проведения экспериментальных исследований по оцениванию возможностей космонавтов осуществлять ручное управление движением транспортных средств (планетоходов) по поверхности планет.

2. Разработана общая концепция и предварительный план проведения экспериментальных исследований по оценке возможностей выполнения космонавтами управления планетоходом непосредственно после выполнения длительных космических полетов.

3. Разработаны общие требования к имитатору планетохода и условиям проведения послеполетных исследований космонавтов. Обоснован состав комплекса технических средств измерения и регистрации физиологических параметров, характеризующих функциональное состояние космонавтов, и технических параметров, характеризующих качество управления движением транспортного средства.

4. Реализация разработанных предложений позволит получить количественные оценки показателей качества деятельности космонавтов по ручному управлению движением планетохода и динамику этих показателей после длительного воздействия невесомости на космонавтов в условиях космического полета.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Экспериментальные исследования по оценке выполнения космонавтами сложной операторской деятельности после длительного космического полета на МКС в интересах осуществления полетов в дальний космос / Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Харламов М.М., Новицкий О.В., Тарелкин Е.И., Курицын А.А., Долгов П.П., Почуев В.И., Сохин И.Г., Орешкин Г.Д., Копнин В.А., Алексеев В.Н., Киршанов В.Н., Бачмановский Н.А., Кондратьев А.С., Жамалетдинов Н.Р., Васильев А.В. // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 4(9). – С. 24–35.
- [2] Экспериментальные исследования по оценке выполнения сложной операторской деятельности космонавтом после завершения годового космического полета / Корниенко М.Б., Лончаков Ю.В., Курицын А.А., Копнин В.А., Кондратьев А.С., Долгов П.П., Коренной В.С., Гришин А.П. // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 1(22). – С. 29–36.
- [3] К вопросу подготовки космонавтов для работы на поверхности Луны / Иродов Е.Ю., Долгов П.П., Коренной В.С., Крючков Б.И., Ярополов В.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – № 1(26). – С. 71–89
- [4] Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов / Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапецкий А.О. // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – № 1(59). – С. 43–64.
- [5] Risk of Impaired Control of Spacecraft/Associated Systems and Decreased Mobility Due to Vestibular/Sensorimotor Alterations Associated with Spaceflight: Сайт National

- Aeronautics and Space Administration (NASA) [Электронный ресурс]. URL: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/Risks/risk.aspx?i=88>. (дата обращения 22.08.2019).
- [6] Long-duration spaceflight adversely affects post-landing operator proficiency / Steven T. Moore, Valentina Dilda, Tiffany R. Morris, Don A. Yungher, Hamish G. MacDougall & Scott J. Wood // *Scientific Reports* volume 9, Article number: 2677 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39058-9>.
- [7] Exploration Rover Concepts and Development Challenges. First AIAA Space Exploration Conference Orlando, Florida, January 30–February 1, 2005. AIAA–2005–2525: Сайт NASA [Электронный ресурс]. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/exploration_rover_concepts_grc.pdf (дата обращения 27.03.2019).
- [8] Миссии-аналоги НАСА, проводимые в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос: HMP, Desert RATS, ISRU, PLRP, FMARS / П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2016. – № 3(20). – С. 68–79.

REFERENCES

- [1] Experimental assessment of carrying out complex operator activity by cosmonauts after long-duration mission aboard the ISS in the interests of human space exploration beyond low-earth orbit / Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kharlamov M.M., Novitsky O.V., Tarelkin E.I., Kuritsyn A.A., Dolgov P.P., Pochuev V.I., Sokhin I.G., Oreshkin G.D., Kopnin V.A., Alekseev V.N., Kirshanov V.N., Bachmanovsky N.A., Kondratiev A.S., Zhamaletdinov N.R., Vasiliev A.V. // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – 2013. – No 4(9). – pp. 24–35.
- [2] Experimental evaluation of complex operator activity performed by the cosmonaut directly after completion of the one-year space flight / Kornienko M.B., Lonchakov Yu.V., Kuritsyn A.A., Kopnin V.A., Kondratiev A.S., Dolgov P.P., Korennoy V.S., Grishin A.P. // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – 2017. – No 1(22). – pp. 29–36.
- [3] Cosmonaut Training for Work on the Lunar Surface / Irodov E.Yu., Dolgov P.P., Korennoy V.S., Kryuchkov B.I., Yaropolov V.I. // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – 2018. – No 1(26). – pp. 71–89
- [4] Medical and biological risks associated with the implementation of long-distance space flights / Uyba V.V., Ushakov I.B., Sapetskiy A.O. // *Emergency medicine*. – 2017. – No 1(59). – pp. 43–64.
- [5] Risk of Impaired Control of Spacecraft/Associated Systems and Decreased Mobility Due to Vestibular/Sensorimotor Alterations Associated with Spaceflight: web-site National Aeronautics and Space Administration (NASA) [Electronic source]. URL: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/Risks/risk.aspx?i=88>. (access date 22.08.2019).
- [6] Long-duration spaceflight adversely affects post-landing operator proficiency / Steven T. Moore, Valentina Dilda, Tiffany R. Morris, Don A. Yungher, Hamish G. MacDougall & Scott J. Wood // *Scientific Reports* volume 9, Article number: 2677 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39058-9>.
- [7] Exploration Rover Concepts and Development Challenges. First AIAA Space Exploration Conference Orlando, Florida, January 30–February 1, 2005. AIAA–2005–2525: NASA web site [Electronic source]. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/exploration_rover_concepts_grc.pdf (access date 27.03.2019).
- [8] NASA analogue missions, implemented in the interests of manned missions to deep space: HMP, Desert RATS, ISRU, PLRP, FMARS / P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy // *Scientific Journal Manned Spaceflight*. – 2016. – No 3(20). – pp. 68–79.