

УДК 629.785

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПОСЛЕПОЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО УПРАВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ НА ПОВЕРХНОСТИ НЕБЕСНОГО ТЕЛА

Е.Ю. Иродов, А.А. Алтунин, П.П. Долгов, В.С. Коренной,
В.В. Швецов, А.В. Булгаков, И.А. Гришина, С.Н. Белявцев,
Д.А. Беляев

Канд. техн. наук Е.Ю. Иродов; А.А. Алтунин; канд. техн. наук П.П. Долгов;
канд. техн. наук В.С. Коренной; В.В. Швецов; А.В. Булгаков; И.А. Гришина;
С.Н. Белявцев; Д.А. Беляев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлен анализ динамики основных показателей, характеризующих результаты подготовки группы космонавтов к выполнению экспериментальных исследований возможности выполнения сложной операторской деятельности по управлению транспортным средством на поверхности небесного тела после выполнения длительного космического полета.

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

Analysis of Cosmonauts' Post-Flight Experiment Preparation Results to Control a Transport Vehicle on the Surface of a Celestial Body. E.Yu. Irodov, A.A. Altunin, P.P. Dolgov, V.S. Korennoy, V.V. Shvetsov, A.V. Bulgakov, I.A. Grishina, S.N. Belyavtsev, D.A. Belyaev

The article presents an analysis of dynamics of main indicators that characterize the results of cosmonaut readiness to carry out experimental studies of the ability to perform complex operator activities in order to control a vehicle on the surface of a celestial body after completion of a long duration space flight.

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

Состояние вопроса и постановка задачи

Для осуществления перспективных космических полетов на Луну и Марс требуется прогнозирование возможности выполнения космонавтами различных видов операторской деятельности в условиях тяготения этих небесных тел после длительного воздействия невесомости. Проведенный анализ условий выполнения и перечня возможных работ космонавтов на поверхности Луны и Марса показал, что для эффективного решения всего комплекса задач будут широко использоваться транспортные средства (планетоходы) различного назначения и конструктивного исполнения [1, 2]. Это обуславливает

актуальность заблаговременного проведения оценки и прогнозирования надежности профессиональной деятельности космонавтов при выполнении операций управления планетоходом на поверхности небесных тел после длительного воздействия неблагоприятных факторов космического полета [3].

В целях создания научно-технического задела для планирования и осуществления перспективных пилотируемых космических полетов, в части определения возможностей космонавтов управлять планетоходом в первые дни после посадки на поверхность небесного тела, специалистами ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»:

- обоснована необходимость и разработана общая концепция проведения экспериментальных исследований, разработаны общие требования к имитатору планетохода, обоснован состав комплекса технических средств измерения и регистрации результатов экспериментов [4];

- разработан и создан экспериментальный мобильный комплекс – имитатор планетохода (ИП), разработана и апробирована методика подготовки космонавтов к выполнению послеполетных экспериментов на ИП [5, 6];

- проведены тренировки группы космонавтов по управлению движением ИП на учебной трассе (далее – трасса) и определены показатели, характеризующие индивидуальную работу каждого космонавта по управлению ИП.

Целью настоящих исследований является определение достаточности объема проведенной подготовки космонавтов для участия в выполнении послеполетного эксперимента по управлению транспортным средством на поверхности небесного тела.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить задачи получения обобщенных значений показателей для группы космонавтов, прошедших подготовку по управлению движением ИП, и определения достижения космонавтами стабильных (устойчивых) результатов по завершению цикла тренировок.

Методика исследований

В настоящих исследованиях использовались данные, включающие результаты тренировок двадцати двух космонавтов, выполненных с февраля 2021 по июнь 2022 года (суммарно 110 тренировок). Согласно разработанной методике каждый космонавт выполнил на ИП пять тренировок по прохождению трассы, из них три в полетном костюме и две в скафандре «Сокол-КВ-2» (далее – скафандр). По результатам этих тренировок сформирован массив значений показателей (массив исходных данных): время прохождения трассы (Вр, с), количество допущенных космонавтом ошибок (Ош), расход электроэнергии аккумуляторной батареи ИП (Эл, Вт·ч), средняя скорость движения ИП по трассе (Ск, м/с), суммарный угол поворота управляемых колес ИП (Уг, °). В скобках, после наименований показателей, приведены условные обозначения и единицы измерения, применяемые в настоящей работе. При

этом под количеством ошибок понимается количество наездов колесами ИП на ограничительные линии разметки трассы.

Для проведения исследований из массива исходных данных для каждого показателя формируется пять выборок данных (далее – выборки), общим признаком которых является порядковый номер тренировки. В каждую из выборок включаются индивидуальные значения показателей космонавтов, полученные на соответствующих тренировках. При этом упорядочение данных в каждой выборке производится таким образом, чтобы индивидуальные для каждого космонавта порядковые номера (индексы) данных, относящихся к его результатам, имели одинаковое значения во всех выборках.

Для компактной записи имен выборок данных, относящихся к N-й тренировке, используются следующие условные обозначения: VpN , $ЭлN$, $СкN$, $УгN$, $ОшN$, где индекс N указывается в виде цифр от 1 до 5, обозначающих порядковый номер тренировки.

Обработка и анализ данных для всех показателей выполняется в следующей последовательности:

- расчет описательных статистик и построение диаграмм размаха;
- анализ данных на наличие аномальных значений;
- проверка нормальности распределения данных;
- анализ динамики показателей;
- оценка достижения показателем стабильного (устойчивого) значения.

Визуализация динамики показателей выполняется с использованием графиков, на которых совместно отображаются диаграммы размаха данных одноименных показателей на пяти последовательно выполненных тренировках. Для исключения влияния возможных выбросов в экспериментальных данных в качестве численного значения анализируемого показателя выбирается его медианное значение (медиана выборки).

Статистическая обработка данных и работа с графикой выполняется с использованием языка статистического анализа R (версия R 4.2.1) в среде RStudio.

Построение диаграмм размаха и расчет основных описательных статистик, представляемых на этих диаграммах, выполняется с использованием функции *boxplot()* (здесь и далее курсивом в тексте записываются наименования функций, используемые при их описании в документации языка программирования R [7]).

Основными описательными статистиками на диаграмме размаха являются: минимальное значение (X_{\min}), первый квартиль (Q_1), медиана (Me), третий квартиль (Q_3) и максимальное значение (X_{\max}).

Анализ данных на наличие аномальных значений проводится по критерию, основанному на квартилях выборки. Если элемент выборки не попадает в интервалы $[Q_1 - 1,5 \times (Q_3 - Q_1)]$, $[Q_3 + 1,5 \times (Q_3 - Q_1)]$, то он объявляется выбросом.

С целью определения возможности применения различных статистических методов проводится проверка нормальности распределения. Если распределение данных соответствует закону нормального распределения, то имеется возможность использования соответствующих параметрических методов статистического анализа, а если не соответствует, то следует выбирать непараметрические методы. Проверка нормальности распределения данных выполняется по критерию Шапиро – Уилка [8] с использованием функции *shapiro.test()*.

Проверка достижения стабильного (устойчивого) значения показателей выполняется путем оценки наличия статистически значимых отличий исследуемого показателя, полученных для серии трех последовательно выполненных тренировок (включая пятую тренировку). При сопоставлении данных, имеющих нормальный закон распределения, применяется однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (RM ANOVA), с предварительной проверкой сферичности данных (дисперсии разниц между любыми двумя уровнями внутригруппового фактора одинаковы) с применением теста Мочли [9, 10]. В этом случае для расчетов используются соответственно функции *aov()* и *mauchly.test()*. Для данных, закон распределения которых отличается от нормального закона распределения, используется непараметрический критерий Фридмана [11], и расчеты выполняются с использованием функции *friedman.test()*.

Вывод о степени значимости различий между выборками формулируется, исходя из результатов сопоставления наблюдаемого (p) и заданного (α) уровней значимости. Если $p \geq \alpha$, нулевая гипотеза об отсутствии различий между выборками не отклоняется. В настоящей работе принимается значение $\alpha = 0,05$.

Анализ динамики времени прохождения трассы

Для оценки динамики показателя «время прохождения трассы» построены диаграммы размаха, которые изображены на рис. 1, и выполнен расчет основных описательных статистик.

При сопоставлении диаграмм размаха (см. рис. 1) наблюдается устойчивое уменьшение величины практически всех описательных статистик времени прохождения трассы. Наиболее интенсивное уменьшение значений статистик, по сравнению с результатами предыдущей тренировки, имеет место на второй и третьей тренировках. Так, например, уменьшение значения медианы на второй тренировке составило 25 %, а на третьей тренировке – 18 %. После третьей тренировки значения медиан выравниваются, стремясь к некоторому постоянному значению.

Незначительное увеличение (на 3 %) значения M_e наблюдается на четвертой тренировке, что обусловлено началом тренировок по управлению ИП космонавтами, снаряженными в скафандры. На последующей тренировке

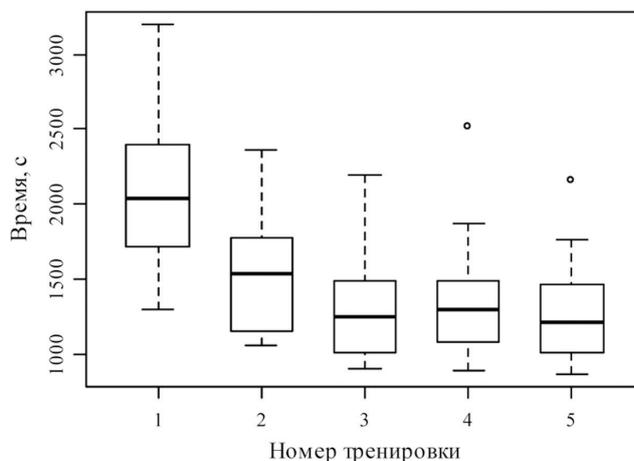


Рис. 1. Диаграммы размаха показателя Вр

с использованием скафандра значение Ме опять несколько уменьшается (на 6 %), что обусловлено появлением у космонавтов навыков управления ИП в скафандре. В целом (при сравнении результатов первой и пятой тренировок) наблюдается уменьшение значения медианы от 2039 секунд на первой тренировке до 1212 секунд на пятой тренировке, что составляет примерно 41 %.

В результате анализа данных времени прохождения трассы установлено наличие точек выбросов в выборках: Вр4 – 2519 секунд, Вр5 – 2161 секунда. Это означает, что у отдельных космонавтов на четвертой и пятой тренировках зарегистрированы значения времени, существенно превышающие результаты других космонавтов из этой группы.

Рассчитанные значения статистик W и наблюдаемых уровней значимости критерия Шапиро – Уилка для имеющихся данных на уровне значимости $\alpha = 0,05$ показывают, что для выборок Вр1 ($W = 0,95969$, $p = 0,483$); Вр2 ($W = 0,9131$, $p = 0,05478$) и Вр5 ($W = 0,91974$, $p = 0,07507$) нет оснований ($p > \alpha$) отвергнуть нулевую гипотезу, а для выборок Вр3 ($W = 0,90941$, $p = 0,04606$) и Вр4 ($W = 0,86831$, $p = 0,007281$) имеются основания ($p < \alpha$) в пользу принятия альтернативной гипотезы об отличии распределения от нормального.

В результате выполнения непараметрического теста Фридмана определены значения тестовой статистики χ^2 и наблюдаемого уровня значимости для совокупности показателей Вр третьей, четвертой и пятой тренировок – $\chi^2 = 6,6364$, $p = 0,03622$. Наблюдаемое значение уровня значимости $p < 0,05$, что свидетельствует в пользу принятия альтернативной гипотезы – между проверяемыми выборками имеются небольшие неслучайные различия. В результате дополнительных исследований показателей Вр третьей, четвертой и пятой тренировок путем их попарного сравнения с применением критерия

Вилкоксона для зависимых выборок [12] и функции *wilcox.test()* определены значения статистик V и наблюдаемых уровней значимости: V_{p3} и V_{p4} ($V = 132,5$, $p = 0,8583$), V_{p3} и V_{p5} ($V = 182,5$, $p = 0,07155$), V_{p4} и V_{p5} ($V = 200$, $p = 0,01778$). После выполнения поправки на множественность сравнений парными тестами, с использованием функции *p.adjust* (с параметром *method = "holm"*), получаем модифицированные уровни значимости с учетом поправки Холма – Бонферрони: V_{p3} и V_{p4} ($p = 0,8583 > 0,05$), V_{p3} и V_{p5} ($p = 0,14310 > 0,05$), V_{p4} и V_{p5} ($p = 0,05334 > 0,05$). Наблюдаемый уровень значимости $p > 0,05$, что свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий показателя V_r для этих тренировок. Таким образом, в результате проведения пяти тренировок значения показателя V_r достигают устойчивого значения.

Результаты исследований динамики показателя «время прохождения трассы» показали, что в процессе проведения тренировок его медианное значение монотонно снижается, стремится к устойчивому значению, однако при сравнении данных как трех, так и двух заключительных тренировок установлены статистически значимые различия. Медианное значение времени прохождения трассы на пятой тренировке составило 1212 секунд, при этом время 50 % космонавтов находится в интервале [1007; 1457], время 25 % космонавтов, затративших менее 1007 секунд, находится в интервале [866; 1007], время 25 % космонавтов, затративших более 1457 секунд, находится в интервале (1457; 1763].

Анализ динамики расхода электроэнергии

Для оценки динамики показателя «расход электроэнергии аккумуляторной батареи ИП» построены диаграммы размаха, которые изображены на рис. 2, и выполнен расчет основных описательных статистик.

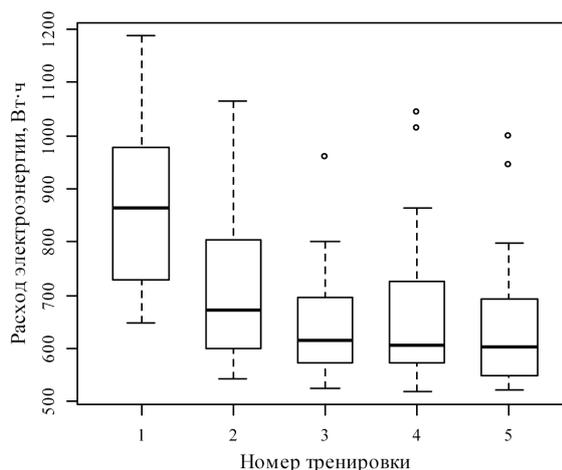


Рис. 2. Диаграммы размаха показателя Эл

При сопоставлении диаграмм размаха (см. рис. 2) наблюдается устойчивое уменьшение величины практически всех описательных статистик расхода электроэнергии. При этом наиболее интенсивное уменьшение значений статистик, по сравнению с результатами предыдущей тренировки, имеет место на второй и третьей тренировках. Так, например, уменьшение значения медианы на второй тренировке составило 22 %, а на третьей тренировке – 9 %. После третьей тренировки значения медиан выравниваются, стремясь к некоторому постоянному значению.

Незначительное уменьшение (1 %) значения M_e наблюдается на четвертой и пятой тренировке. Это отличается от показателя V_p , где начало тренировок по управлению ИП космонавтами, снаряженными в скафандры, обусловило незначительное увеличение значения показателя V_p на четвертой тренировке. В целом (при сравнении результатов первой и пятой тренировок) наблюдается уменьшение значения медианы данных расхода электроэнергии от 864,54 Вт·ч на первой тренировке до 604,63 Вт·ч на пятой тренировке, что составляет примерно 30 %.

В результате анализа данных показателя Эл установлено наличие точек выбросов в выборках Эл3 – 959,49 Вт·ч, Эл4 – 1042,85 и 1013,88 Вт·ч, Эл5 – 999,17 и 944,94 Вт·ч. Это означает, что у отдельных космонавтов на третьей, четвертой и пятой тренировках зарегистрированы значения расхода электроэнергии ИП, существенно превышающие результаты других космонавтов в тестируемой группе.

Рассчитанные значения статистик W и наблюдаемых уровней значимости критерия Шапиро – Уилка для имеющихся данных на уровне значимости $\alpha = 0,05$ показывают, что для выборки Эл1 ($W = 0,94082$, $p = 0,2262$) нет оснований ($p > \alpha$) отвергнуть нулевую гипотезу, а для выборок Эл2 ($W = 0,88593$, $p = 0,01571$), Эл3 ($W = 0,86177$, $p = 0,005521$), Эл4 ($W = 0,78516$, $p = 0,0002958$) и Эл5 ($W = 0,84349$, $p = 0,00261$) имеются основания ($p < \alpha$) в пользу принятия альтернативной гипотезы об отличии распределения от нормального.

В результате выполнения непараметрического теста Фридмана определены значения тестовой статистики χ^2 и наблюдаемого уровня значимости p для показателей Эл третьей, четвертой и пятой тренировок – $\chi^2 = 2,8182$, $p = 0,2444$. Наблюдаемое значение уровня значимости $p > 0,05$, что свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий показателя Эл для этих тренировок. Таким образом, в результате проведения пяти тренировок значения показателя Эл достигают устойчивого значения.

Результаты исследований динамики показателя «расход электроэнергии аккумуляторной батареи ИП» показали, что в процессе проведения тренировок его медианное значение монотонно снижается и стремится к устойчивому значению. При этом на пятой тренировке медианное значение расхода электроэнергии составило 604,63 Вт·ч. Расход электроэнергии ИП для 50 % космонавтов находится в интервале [548,23; 692,32] Вт·ч. Расход

электроэнергии аккумуляторов для 25 % космонавтов, израсходовавших менее 548,23 Вт·ч, находится в интервале [522,5; 548,23) Вт·ч, а для 25 % космонавтов, израсходовавших электроэнергию аккумуляторов более 692,32 Вт·ч – в интервале (692,32; 798,82] Вт·ч.

Анализ динамики суммарного угла поворота управляемых колес

Для оценки динамики показателя «суммарный угол поворота управляемых колес ИП» построены диаграммы размаха, которые изображены на рис. 3, и выполнен расчет основных описательных статистик.

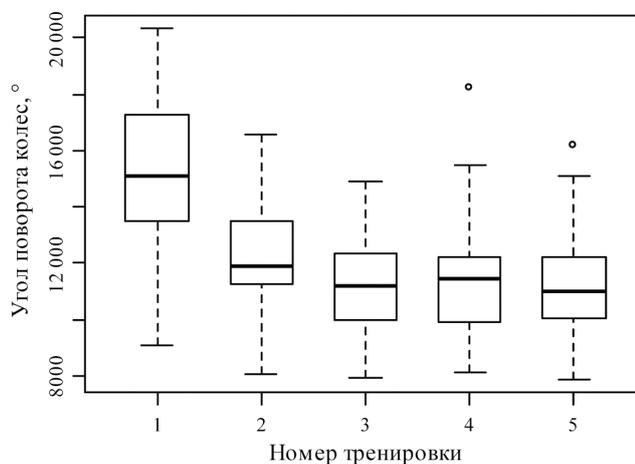


Рис. 3. Диаграммы размаха показателя Уг

При сопоставлении диаграмм размаха (см. рис. 3) наблюдается устойчивое уменьшение величины практически всех описательных статистик показателя Уг. При этом наиболее интенсивное уменьшение значений статистик, по сравнению с результатами предыдущей тренировки, имеет место на второй и третьей тренировках. Уменьшение значения медианы на второй тренировке составило 21 %, а на третьей тренировке – 6 %. После третьей тренировки значения медиан выравниваются, стремясь к некоторому постоянному значению. Незначительное увеличение (на 2 %) значения Ме наблюдается на четвертой тренировке, что обусловлено началом тренировок по управлению ИП космонавтами, снаряженными в скафандры. На последующей тренировке с использованием скафандра значение Ме опять несколько уменьшается (на 4 %), что обусловлено появлением у космонавтов навыков управления ИП в скафандре. В целом (при сравнении результатов первой и пятой тренировок) наблюдается уменьшение значения медианы показателя Уг от 15 095° на первой тренировке до 11 010° на пятой тренировке, что составляет примерно 27 %.

В результате анализа данных показателя Уг установлено наличие точек выброса в выборках Уг4 – 18 820° и Уг5 – 16 204°. Это означает, что у отдельных космонавтов на четвертой и пятой тренировках зарегистрированы значения угла поворота управляемых колес, существенно превышающие результаты других космонавтов в тестируемой группе.

Расчитанные значения статистик W и наблюдаемых уровней значимости критерия Шапиро – Уилка для имеющихся данных на уровне значимости $\alpha = 0,05$ показывают, что для всех выборок Уг1 ($W = 0,96302$, $p = 0,579$), Уг2 ($W = 0,97319$, $p = 0,7837$), Уг3 ($W = 0,96373$, $p = 0,5682$), Уг4 ($W = 0,91297$, $p = 0,05444$), Уг5 ($W = 0,94596$, $p = 0,2621$) нет оснований ($p > \alpha$) отвергнуть нулевую гипотезу об отличии распределений от нормального.

Расчитанные значения статистик ($W = 0,88093$) и наблюдаемого уровня значимости ($p = 0,2815$) критерия Мочли для совокупности выборок Уг3, Уг4 и Уг5 показывают, что для имеющихся данных на уровне значимости $\alpha = 0,05$ нет оснований ($p > \alpha$) отвергнуть гипотезу, что дисперсии различий не равны. Это свидетельствует о возможности применения RM ANOVA для дальнейшего анализа этих данных.

В результате выполнения RM ANOVA определены значения тестовой статистики F и наблюдаемого уровня значимости p для показателей Уг третьей, четвертой и пятой тренировок – $F = 0,721$, $p = 0,492$. Наблюдаемый уровень значимости $p > 0,05$, что свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий показателя Уг для этих тренировок. Таким образом, в результате проведения пяти тренировок значения показателя Уг достигают устойчивого значения.

Результаты исследований динамики показателя «суммарный угол поворота управляемых колес ИП» показали, что в процессе проведения тренировок его медианное значение монотонно снижается и стремится к устойчивому значению. При этом на пятой тренировке медианное значение суммарного угла поворота колес составило 11 010°. Для 50 % космонавтов этот показатель находится в интервале [10 060; 12 217] градусов, показатель 25 % космонавтов, выполнивших тренировку с суммарным углом поворота колес менее 10 060°, находится в интервале [7881; 10 060] градусов, показатель 25 % космонавтов, выполнивших тренировку с суммарным углом поворота колес более 12 217°, находится в интервале (12 217; 15 074] градусов.

Анализ динамики средней скорости движения

Для оценки динамики показателя «средняя скорость движения ИП по трассе» построены диаграммы размаха, которые изображены на рис. 4, и выполнен расчет основных описательных статистик.

При сопоставлении диаграмм размаха (см. рис. 4) наблюдается устойчивое увеличение медианных значений средней скорости движения. При этом наиболее интенсивное увеличение Me , по сравнению с результатами предыдущей тренировки, имеет место на второй и третьей тренировках. Так,

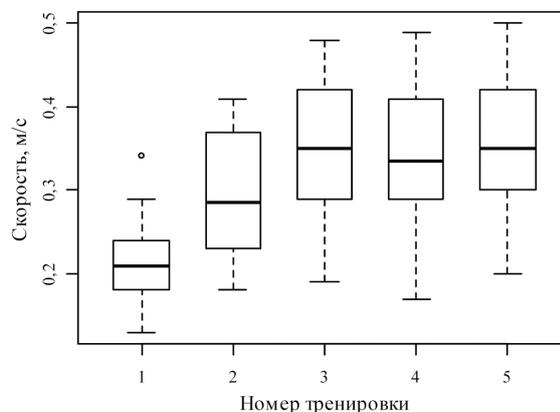


Рис. 4. Диаграммы размаха показателя Ск

например, увеличение значения медианы на второй тренировке составило 36 %, а на третьей тренировке – 23 %. После третьей тренировки значения медиан выравниваются, стремясь к некоторому постоянному значению, в связи с чем данные выборки третьей тренировки будут далее использоваться при проведении соответствующих статистических тестов для оценки достижения стабильного значения исследуемого показателя. Незначительное уменьшение (на 4 %) значения Me наблюдается на четвертой тренировке, что обусловлено началом тренировок управлению ИП космонавтами, снаряженными в скафандры. На последующей тренировке с использованием скафандра значение Me опять несколько увеличивается (на 4 %), что обусловлено появлением у космонавтов навыков управления ИП в скафандре. В целом (при сравнении результатов первой и пятой тренировок) наблюдается увеличение значения медианы средней скорости с 0,21 м/с на первой тренировке до 0,35 м/с на пятой тренировке, что составляет, примерно, 67 %.

В результате анализа данных средней скорости движения установлено наличие точки выброса в выборке Ск1 – 0,34 м/с. Это означает что у одного космонавта на первой тренировке зарегистрировано лучшее значение средней скорости, существенно превышающее результаты других космонавтов в тестируемой группе на этой тренировке.

Рассчитанные значения статистик W и наблюдаемых уровней значимости критерия Шапиро – Уилка для имеющихся данных на уровне значимости $\alpha = 0,05$ показывают, что для всех выборок Ск1 ($W = 0,95662$, $p = 0,4509$), Ск2 ($W = 0,93463$, $p = 0,1532$), Ск3 ($W = 0,95894$, $p = 0,4681$), Ск4 ($W = 0,97713$, $p = 0,8658$), Ск5 ($W = 0,98151$, $p = 0,938$) нет оснований ($p > \alpha$) отвергнуть нулевую гипотезу об отличии распределений от нормального.

Рассчитанные значения статистик ($W = 0,78783$) и наблюдаемого уровня значимости ($p = 0,09212$) критерия Мочли для совокупности выборок Ск3, Ск4 и Ск5 показывают, что для имеющихся данных на уровне значимости $\alpha = 0,05$ нет оснований ($p > \alpha$) отвергнуть гипотезу, что дисперсии различий

не равны. Это свидетельствует о возможности применения RM ANOVA для дальнейшего анализа этих данных.

В результате выполнения RM ANOVA определены значения тестовой статистики F и наблюдаемого уровня значимости p для показателей Ск третьей, четвертой и пятой тренировок – $F = 2,476$, $p = 0,0962$. Наблюдаемый уровень значимости $p > 0,05$, что свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий показателя Ск для этих тренировок. Таким образом, в результате проведения пяти тренировок значения показателя Ск достигают устойчивого значения.

Результаты исследований динамики показателя «средняя скорость движения ИП по трассе» показали, что в процессе проведения тренировок его медианное значение монотонно увеличивается и стремится к устойчивому значению. При этом на пятой тренировке медианное значение средней скорости составило 0,35 м/с. Значения средней скорости 50 % космонавтов находятся в интервале [0,3; 0,42] м/с. Значения средней скорости 25 % космонавтов, перемещавшихся со скоростью менее 0,3 м/с, находятся в интервале [0,2; 0,3] м/с, значения средней скорости 25 % космонавтов, перемещавшихся со скоростью более 0,42 м/с, находятся в интервале (0,42; 0,5] м/с.

Анализ динамики количества ошибок

Для оценки динамики показателя Ош построены диаграммы размаха, которые изображены на рис. 5, и выполнен расчет основных описательных статистик.

При сопоставлении диаграмм размаха (рис. 5) наблюдается устойчивое уменьшение медианных значений количества ошибок. При этом значение Ме уменьшается с пяти ошибок на первой тренировке до трех ошибок на второй и третьей тренировках. На четвертой тренировке (начало тренировок в скафандре) значение Ме возрастает до 4 ошибок, а на пятой тренировке опять снижается до трех ошибок. После второй тренировки значения медиан выравниваются, стремясь к некоторому постоянному значению.

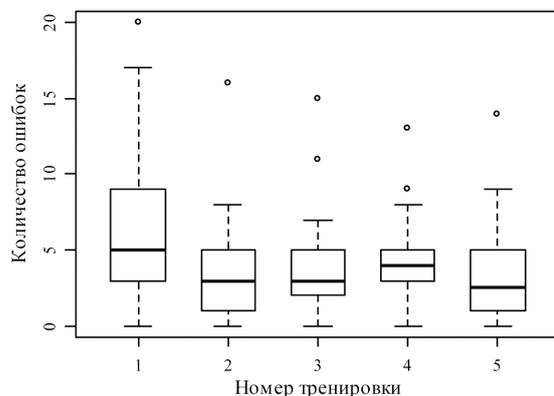


Рис. 5. Диаграммы размаха показателя Ош

В результате анализа выборок показателя Ош установлено наличие точек выброса в выборках: Ош1 – 20 ошибок, Ош2 – 16 и 16 ошибок, Ош3 – 11 и 15 ошибок, Ош4 – 13 и 9 ошибок, Ош5 – 14 ошибок. Это означает, что у отдельных космонавтов зарегистрированы значения количества ошибок, существенно превышающие результаты других космонавтов в тестируемой группе на этих тренировках.

Рассчитанные значения статистик W и наблюдаемых уровней значимости критерия Шапиро – Уилка для имеющихся данных на уровне значимости $\alpha = 0,05$ показывают, что для всех выборок: Ош1 ($W = 0,86575$, $p = 0,006531$), Ош2 ($W = 0,76515$, $p = 0,0001496$), Ош3 ($W = 0,82774$, $p = 0,001406$), Ош4 ($W = 0,87945$, $p = 0,01179$), Ош5 ($W = 0,84734$, $p = 0,003047$) имеются основания ($p < \alpha$) в пользу принятия альтернативной гипотезы об отличии распределения от нормального.

В результате выполнения непараметрического теста Фридмана определены значения тестовой статистики χ^2 и наблюдаемого уровня значимости p для показателей Ош третьей, четвертой и пятой тренировок – $\chi^2 = 1,52$, $p = 0,4677$. Наблюдаемое значение уровня значимости $p > 0,05$, что свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий показателя Ош для этих тренировок. Таким образом, в результате проведения пяти тренировок значения показателя Ош достигают устойчивого значения.

Результаты исследований динамики показателя «количество допущенных космонавтом ошибок» показали, что в процессе проведения тренировок его медианное значение монотонно уменьшается и стремится к устойчивому значению. При этом на пятой тренировке медианное значение составило три ошибки. Количество ошибок 50 % космонавтов находятся в интервале [1; 5] ошибок. При этом 25 % космонавтов не допустили ни одной ошибки, а количество ошибок 25 % космонавтов, допустивших более пяти ошибок, находятся в интервале (5; 9] ошибок.

Выводы

В результате исследований тренировок группы космонавтов, прошедших подготовку к послеполетному эксперименту, определены обобщенные значения показателей: времени прохождения трассы, количества допущенных космонавтом ошибок, расхода электроэнергии аккумуляторной батареи ИП, средней скорости движения ИП по трассе, суммарного угла поворота управляемых колес ИП.

Анализ обобщенных значений показателей в процессе проведения пяти последовательно выполненных тренировок показал их монотонное улучшение и достижение стабильных (устойчивых) значений по завершению цикла из пяти тренировок. Это свидетельствует о достаточности выбранного объема тренировок космонавтов для подготовки к выполнению послеполетных экспериментов.

Полученные значения описательных статистик показателей, характеризующих работу космонавтов по управлению ИП, предлагается использовать для разработки методики количественной оценки по каждой из пяти последовательно выполняемых тренировок космонавтов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Особенности подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности на Луне / Ю.И. Онуфриенко, А.А. Алтунин, П.П. Долгов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос: Материалы XII Международной научно-практической конференции, 24–26 октября 2017 г. – Звездный городок, 2017. – С. 215–217.
- [2] The Global Exploration Roadmap Supplement, October 2022. Lunar Surface Exploration Scenario Update. – URL: https://www.globalspaceexploration.org/wpcontent/isecg/GER_Supplement_Update_2022.pdf (дата обращения 17.02.2023).
- [3] Long-duration Spaceflight Adversely Affects Post-Landing Operator Proficiency / Steven T. Moore, Valentina Dilda, Tiffany R. Morris [et al.] // Scientific Reports-volume 9, Article number: 2677 (2019). DOI: 10.1038/s41598-019-39058-9
- [4] Подход к проведению послеполетного эксперимента по управлению планетоходом / П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.Н. Киршанов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 2(35). – С. 47–60. – DOI: 10.34131/MSF.20.2.47-60
- [5] Экспериментальные исследования с использованием транспортного средства (имитатора планетохода) / А.В. Булгаков, И.А. Гришина, С.Н. Белявцев, В.В. Швецов // Пилотируемые полеты в космос: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Звездный городок, 17–19 ноября 2021 г. – Звездный городок, 2021. – С. 209–211.
- [6] Регистрируемые технические параметры в экспериментальных исследованиях на имитаторе планетохода и их анализ / В.В. Швецов, И.А. Гришина, А.В. Булгаков [и др.] // Пилотируемые полеты в космос: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, 17–19 ноября 2021 года. – Звездный городок, 2021. – С. 211–213.
- [7] R: A Language and Environment for Statistical Computing. Reference Index. The R Core Team. Version 4.3.0 Under Development (unstable). – URL: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-devel/fullrefman.pdf> (дата обращения 26.09.2022).
- [8] Субботина, А.В. Описательная статистика и проверка нормальности распределения количественных данных / А.В. Субботина, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2014. – № 2. – С. 51–57.
- [9] Субботина, А.В. Одномерный дисперсионный анализ повторных наблюдений с использованием пакета статистических программ STATA / А.В. Субботина, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2014. – № 11. – С. 61–64.
- [10] Как выполнить дисперсионный анализ с повторными измерениями в R. – URL: <https://www.codecamp.ru/blog/repeated-measures-anova-in-r/?ysclid=lclzf vujva596969468> (дата обращения 12.10.2022).
- [11] Гржибовский, А.М. Сравнение количественных данных двух парных выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии / А.М. Гржибовский, С.В. Иванов, М.А. Горбатова // Наука и здравоохранение. – 2016. – № 3. – С. 5–25.

- [12] Гржибовский, А.М. Сравнение количественных данных трех и более парных выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии / А.М. Гржибовский, С.В. Иванов, М.А. Горбатова // Наука и здравоохранение. – 2016. – № 5. – С. 5–29.

REFERENCES

- [1] Features of Cosmonauts' Preparation for Extravehicular Activity on the Moon / Yu.I. Onufrienko, A.A. Altunin, P.P. Dolgov [et al.] // Manned Space Flights: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference, October 24–26, 2017. – Star City, 2017. – P. 215–217.
- [2] The Global Exploration Roadmap Supplement, October 2022. Lunar Surface Exploration Scenario Update. – URL: https://www.globalspaceexploration.org/wpcontent/isecg/GER_Supplement_Update_2022.pdf (accessed 17.02.2023).
- [3] Long-Duration Spaceflight Adversely Affects Post-Landing Operator Proficiency / Steven T. Moore, Valentina Dilda, Tiffany R. Morris [et al.] // Scientific Reports-volume 9, Article number: 2677 (2019). DOI: 10.1038/s41598-019-39058-9
- [4] An Approach to Conducting a Post-flight Experiment on Planetary Rover Control / P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.N. Kirshanov [et al.] // Manned Space Flight. – 2020. – No 2(35). – P. 47–60. – DOI: 10.34131/MSF.20.2.47-60
- [5] Experimental Studies Using a Vehicle (Planetary Rover Simulator) / A.V. Bulgakov, I.A. Grishina, S.N. Belyavtsev, V.V. Shvetsov // Manned Space Flight: Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference, November 17–19, 2021. – Star City, 2021. – P. 209–211.
- [6] Recorded Technical Parameters in Experimental Studies on a Planetary Rover Simulator and Its Analysis / V.V. Shvetsov, I.A. Grishina, A.V. Bulgakov [et al.] // Manned Space Flight: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference, November 17–19, 2021. – Star City, 2021. – P. 211–213.
- [7] R: A Language and Environment for Statistical Computing. Reference Index. The R Core Team. Version 4.3.0 Under Development (unstable) [Electronic resource]. URL: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-devel/fullrefman.pdf> (accessed 26.09.2022).
- [8] Subbotina, A.V. Descriptive Statistics and Verification of Quantitative Data Distribution Normality / A.V. Subbotina, A.M. Grzhibovsky // Human Ecology. – 2014. – No 2. – P. 51–57.
- [9] Subbotina, A.V. One-dimensional Variance Analysis of Repeated Observations Using the STATA Statistical Software Package / A.V. Subbotina, A.M. Grzhibovsky // Human Ecology. – 2014. – No 11. – P. 61–64.
- [10] How to Perform an Analysis of Variance Based on Repeated Measurements in R. – URL: <https://www.codecamp.ru/blog/repeated-measures-anova-in-r/?ysclid=lclzfvujva596969468> (accessed 12.10.2022).
- [11] Grzhibovsky, A.M. Comparison of Quantitative Data of Two Paired Samples Using Statistica and SPSS Software: Parametric and Nonparametric Criteria / A.M. Grzhibovsky, S.V. Ivanov, M.A. Gorbatoва // Science and Healthcare. – 2016. – No 3. – P. 5–25.
- [12] Grzybowski, A.M. Comparison of Quantitative Data of Three or More Paired Samples Using Statistica and SPSS Software: Parametric and Nonparametric Criteria / A.M. Grzybowski, S.V. Ivanov, M.A. Gorbatoва // Science and Healthcare. – 2016. – No 5. – P. 5–29.