

УДК 004.896

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РЕЖИМЕ
ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ С МЕСТА ПРИЗЕМЛЕНИЯ ЭКИПАЖА
ВОЗВРАЩАЕМОГО АППАРАТА ПИЛОТИРУЕМОГО
ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ**

А.Н. Симбаев, Ю.С. Чеботарев, В.А. Дикарев, И.А. Буковская,
А.В. Сальников

Канд. техн. наук, доц. А.Н. Симбаев; Ю.С. Чеботарев
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Докт. техн. наук, проф. В.А. Дикарев; И.А. Буковская (ФГБУ «ЦНИИ ВВС»)

Канд. мед. наук А.В. Сальников (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

В статье рассматриваются замысел и результаты экспериментальных исследований (ЭИ) применения симулятора телеуправляемого беспилотного летательного аппарата (БПЛА) коптерного типа (КТ) при ограничениях функциональных возможностей испытателей, находящихся в условиях имитации факторов длительной космической экспедиции. Эксперимент проводится в интересах отработки технологий, применимых для обеспечения информационной поддержки деятельности членов экипажа пилотируемого транспортного корабля (ПТК) в случае нештатного приземления возвращаемого аппарата (ВА) с разведкой местности и передачи данных о координатах и особенностях местности службе спасания экипажа за счет пилотирования в ручном режиме БПЛА. В ходе ЭИ подтверждена достижимость заявленных целей, выполняемость поставленных задач и порядка их проведения, а также реализуемость предварительного конструкторско-технологического решения по его выбору в качестве прототипа. Результаты ЭИ предполагается учесть при создании и применении комплексного стенда-тренажера робототехнических систем (РТС), являющегося составной частью технических средств подготовки космонавтов по научно-прикладным исследованиям и космическим экспериментам Российской орбитальной станции.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат коптерного типа, операторская деятельность, виртуальная модель, беспроводной контроллер управления, факторы космического полета

**Experimental Research on the Use of an Unmanned Flying
Apparatus in Telecontrolling Mode from the Landing Place of the
Returned Piloted Transport Ship. A.N. Simbaev, Yu.S. Chebotarev,
V.A. Dikarev, I.A. Bukovskaya, A.V. Salnikov**

The article discusses the design and results of experimental studies of technological processes of operational and information support for the activities of crew members on the use of unmanned aerial vehicle of the copter type in remote control mode with limited functionality in conditions of simulation of the factors of a long-term space expedition. In the course of the EI application of

the UAV KT based on its virtual model, the attainability of the stated goals, the feasibility of the assigned tasks and the procedure for their implementation, as well as the feasibility of the preliminary design and technological solution for its selection as a prototype, were confirmed. The results of the EI are expected to be taken into account when creating and using a comprehensive training simulator for robotic systems, which is an integral part of the technical means for training cosmonauts for scientific and applied research and space experiments on the Russian Orbital Station.

Keywords: copter-type unmanned aerial vehicle, operator activity, virtual model, wireless control controller, spaceflight factors

Общий замысел проведенных ЭИ применения БПЛА в режиме телеуправления

В рамках предварительного конструкторско-технологического решения в качестве прототипа экспериментального БПЛА для поисково-спасательного обеспечения (ПСО) экипажей ПТК после приземления ВА предлагается к использованию БПЛА КТ [1]. На основании анализа априорной операторской деятельности экипажа ПТК и особенностей БПЛА КТ определен возможный первичный сценарий выполняемых космонавтами операций применения БПЛА в режиме телеуправления (РТУ) в районе приземления ВА. Первоначальный сценарий сориентирован на выполнение испытателями полетного задания БПЛА КТ. Задание предполагало подъем БПЛА КТ на определенные высоты в зависимости от рельефа местности и ее окружения с выравниванием по горизонту и ориентированием по заданным сторонам света с видеофиксацией визуальной обстановки района приземления ВА и передачи фотографий с помощью бортового приемно-передающего устройства в интересах ПСО. Для выполнения полетного задания определены основные средства телеуправления и рабочие параметры, которые отображаются на экране планшета оператора БПЛА КТ (рис. 1).

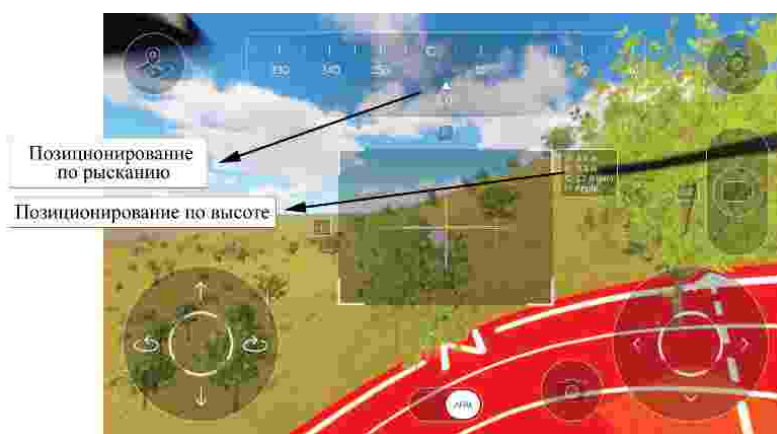


Рис. 1. Отображение ПО на экране планшета

Программное обеспечение (ПО) и используемая виртуальная модель экспериментального БПЛА разработаны в инициативном порядке «НПО “Андроидная техника”».

ЭИ на тему «Исследования изменения операторских качеств при ограничениях функциональных возможностей в условиях имитации факторов длительной космической экспедиции при использовании дистанционно управляемого в ручном режиме БПЛА КТ на этапе после приземления ВА ПТК» (шифр: «Космокоптер-25») проводились в рамках изоляционного эксперимента.

Для осуществления информационной и операционной поддержки оператора БПЛА КТ определены параметры интерфейса специализированного ПО ассистента оператора БПЛА КТ на ноутбуке (отображаемые виды, параметры полета: высота, радиус от места посадки, высота над местом посадки, угол поворота БПЛА вокруг своей оси) (рис. 2).



Рис. 2. Отображаемые виды и параметры полета на экране ноутбука

Состав научной аппаратуры в ходе разработки методики проведения ЭИ незначительно менялся. В него вошли ноутбук с блоком питания и планшет, являющиеся составными элементами универсального компьютерного стенда РТС НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина [2, 3]. Кроме того, для обеспечения выполнения ЭИ организацией «НПО “Андроидная техника”» предоставлены блок контроля управления (джойстик управления БЛА) (БКУ), сетевой адаптер, переходник USB Type-C, кабели Ethernet, а также дополнительно приобретен модем (рис. 3).

ЭИ выполнялись в изолированной среде шестью испытуемыми-добровольцами. Полетное задание выполнялось в парах, где условно первый испытуемый выполнял программу полета, второй – контролировал выполнение



Рис. 3. Научная аппаратура ЭИ «Космокоптер-25»

полетного задания и фиксировал полученные результаты в таблицы, а также сохранял графические файлы (скриншоты экрана). Циклограмма ЭИ испытателей была составлена таким образом, чтобы каждый из них выполнял работу и в качестве оператора БЛА, и в качестве ассистента оператора. Перед началом ЭИ при подготовке испытателей были проведены теоретическое (30 мин) и практическое (90 мин) занятия. Сеансы ЭИ были распределены следующим образом: три сеанса выполнялись во время изоляции испытателей, одно – до изоляции и одно – после изоляции. В каждом сеансе каждому испытателю нужно было выполнять полетное задание несколько раз (попыток), пока не закончится отведенное циклограммой время. Во время изоляционной части ЭИ отрабатывалась технология дистанционного взаимодействия постановщиков исследования с испытателями для оказания оперативной помощи в выполнении ЭИ и в выходе из нештатных ситуаций.

Участники ЭИ «Космокоптер-25» при подготовке и проведении сеансов использовали разработанные методические рекомендации. Основной целью ЭИ стало изучение механизмов адаптации человека к дистанционному управлению БПЛА КТ в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ. Для реализации цели ЭИ были поставлены задачи: получение экспериментальных данных и их обработка для определения потенциальных особенностей и выявления возможных проблем использования БПЛА КТ; оценивание

качества применения и адаптации профессиограмм использования дистанционно управляемого БПЛА КТ; определение необходимого и достаточного уровня подготовки экипажа.

В каждом сеансе отрабатывался один сценарий – манипуляции по вертикальному перемещению виртуальной модели БПЛА КТ в реперные точки по высоте подъема с разворотами в каждой из них по сторонам света и с последующей посадкой. ЭИ проводились с использованием виртуальной модели в РТУ при участии двух испытуемых, которые попеременно выполняли функции оператора БПЛА КТ и ассистента оператора БПЛА КТ (с лимитом времени на выполнение нескольких попыток полета). При этом оператор БПЛА КТ посредством планшета и БКУ осуществлял РТУ в соответствии с циклограммой полета, а ассистент оператора БПЛА КТ посредством ноутбука выполнял функции помощника оператора в навигации при выполнении задачи и фиксации статистических данных.

Результаты ЭИ применения БПЛА в РТУ

1. Позиционирование БПЛА на различных высотах

Для получения результатов анализа изменения операторских качеств испытуемых, находящихся в условиях изоляции, была разработана методика обработки данных ЭИ, позволяющая вычислить количество выдаваемых операторами управляющих сигналов рукояткой джойстика (стиком) для точного позиционирования в обозначенных заданием точках, с учетом фильтрации шумов.

В результате обработки данных в соответствии с методикой была получена матрица значений, на основании которой проводилась оценка операторских качеств с точки зрения того, как менялась динамика управления БПЛА КТ с течением времени.

Анализ операторских качеств испытуемых проводился по точности позиционирования БПЛА КТ в вертикальной плоскости, в выполнении задания по фиксации на высотах 25, 50, 100 и 300 м. При этом фиксировалось количество выданных управляющих воздействий (УВ). Сводные графики позиционирования БПЛА испытуемыми приведены на рис. 4. В них «попытка (–)» и «попытка (+)» означают фоновые периоды (до и после периода), когда испытуемые находились в условиях изоляции. При анализе данных сводных графиков различие в количестве выполненных попыток (п.) испытуемыми не влияет на общие тенденции, соответственно данным фактом пренебрегаем. Характерно, что 1-я п. практически у всех испытуемых имеет значительное превышение времени выполнения над последующими, что объясняется необходимостью настроиться на чувствительность стика БКУ. При выполнении задания позиционирования БПЛА КТ на высотах 25, 50, 100 и 300 м наблюдаются одиночные выбросы, чем так же можно пренебречь.

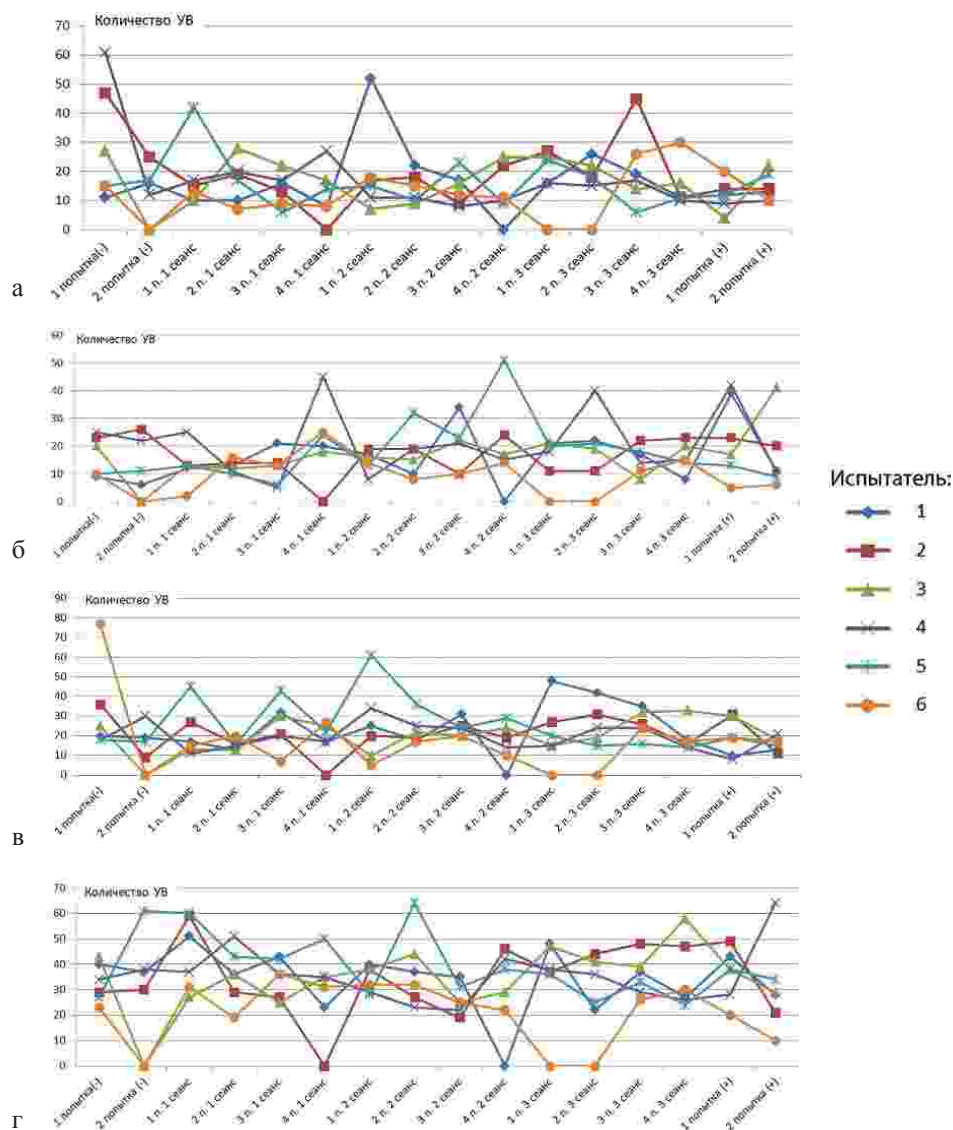
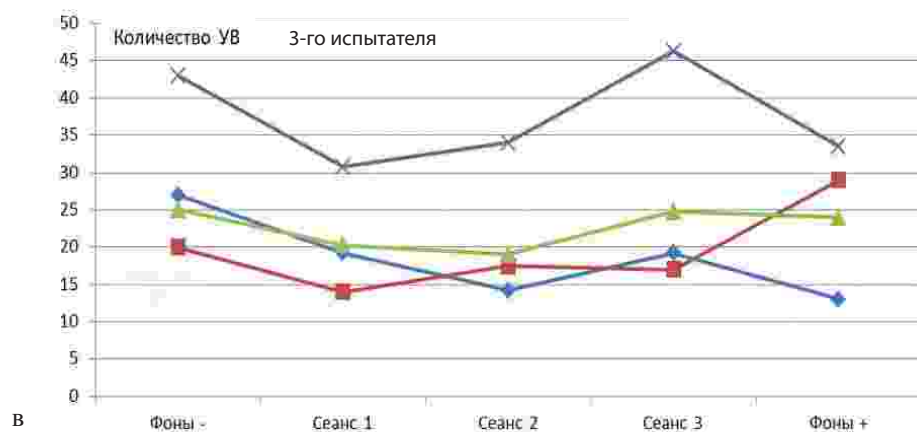
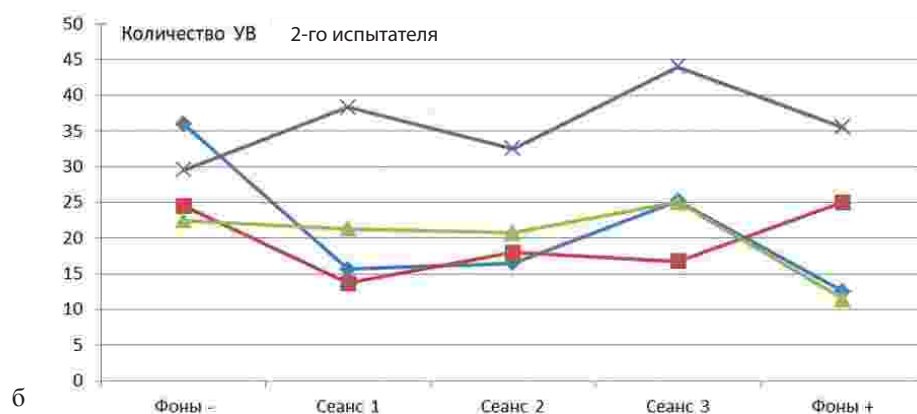
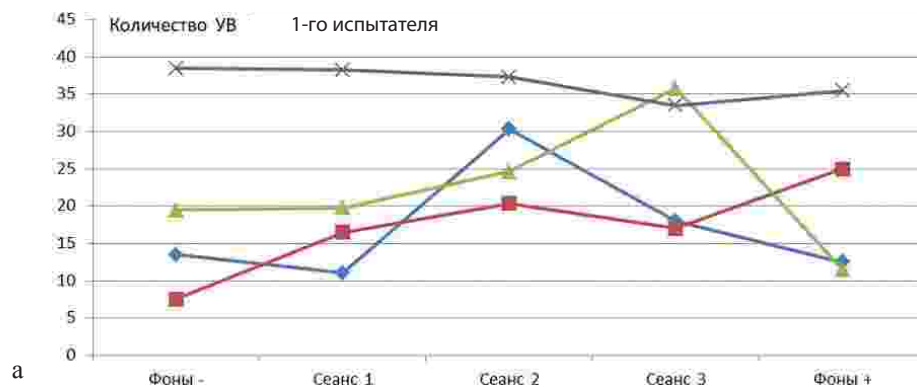


Рис. 4. Сводные графики полученных результатов позиционирования БПЛА на высотах:
а – 25 м; б – 50 м; в – 100 м; г – 300 м

На рис. 5 представлены графики средних значений изменения операторских качеств каждого испытателя при позиционировании БПЛА КТ на всех высотах. Такой способ визуализации данных позволяет детально оценить динамику работы оператора на каждой высоте. Можно выделить 1-го и 6-го испытателей, работающих наиболее стабильно к завершению сеанса на высоте 300 м. В целом в работе более стабильны 4, 5 и 6-й испытатели. Во всех случаях не наблюдается ярко выраженного тренда на снижение количества

попыток – ни к последнему сеансу, ни к максимальной высоте. Это может говорить о том, что есть некоторое предельное время выполнения задачи для каждого испытуемого. Для повышения операторских качеств необходимо большее количество тренировок – это будет способствовать как стабилизации результатов, так и сокращению времени выполнения операторской работы (позиционирования в данной точке).



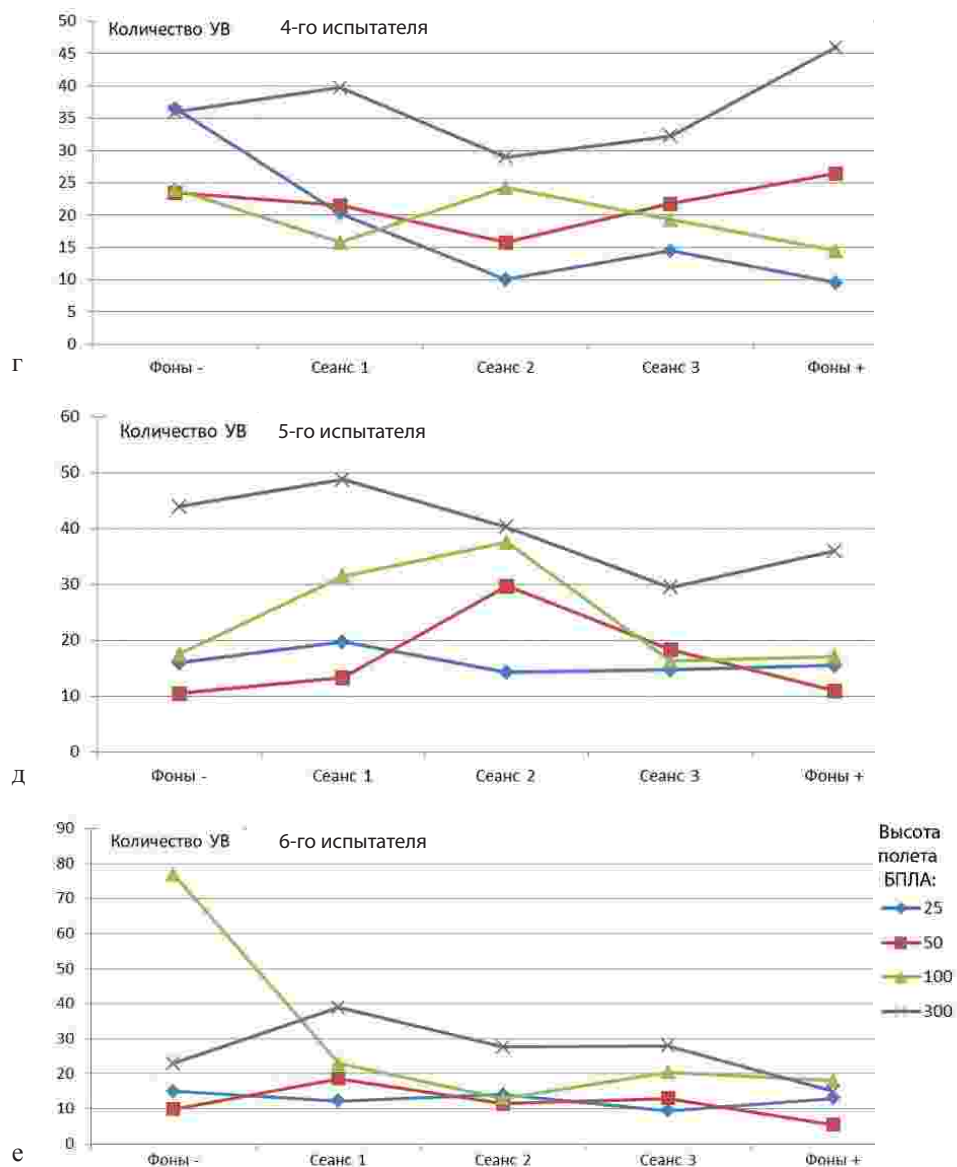


Рис. 5. Графики (а–е) изменения операторских качеств испы­тателей (1–6) на всех высотах

Среднее количество выданных импульсов за весь эксперимент было практически одинаковым для всех испы­тателей и составило около 95 им­пульсов, за исключением 6-го (70 импульсов), у которого показатель ниже остальных на 26 % (рис. 6). Таким образом, у 6-го испы­тателя наилучшие показатели, что позволяет выбрать его для выполнения задания.

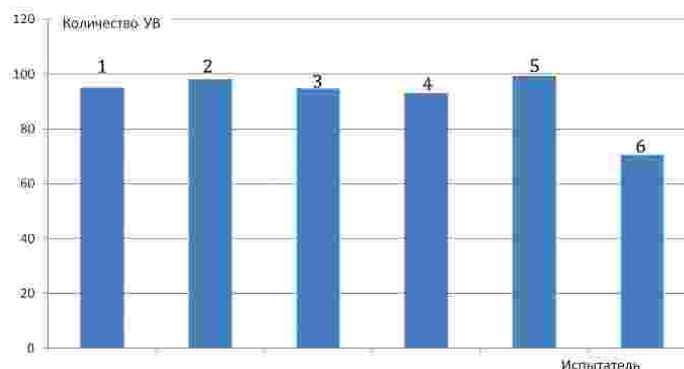


Рис. 6. Среднее количество выданных импульсов

2. Результаты ЭИ в части позиционирования БПЛА по сторонам света

Для оценки операторских качеств испытателей при позиционировании БПЛА КТ по рысканию в определенном заданием ЭИ направлениях (Север, Юг, Запад и Восток), после обработки полученных исходных данных, построен результирующий сводный график (рис. 7). На нем приведены данные по каждому испытателю с указанием суммарного количества УВ в каждом сеансе. Пропуски в графике означают, что испытатель за отведенное время выполнил меньше попыток, чем другие.

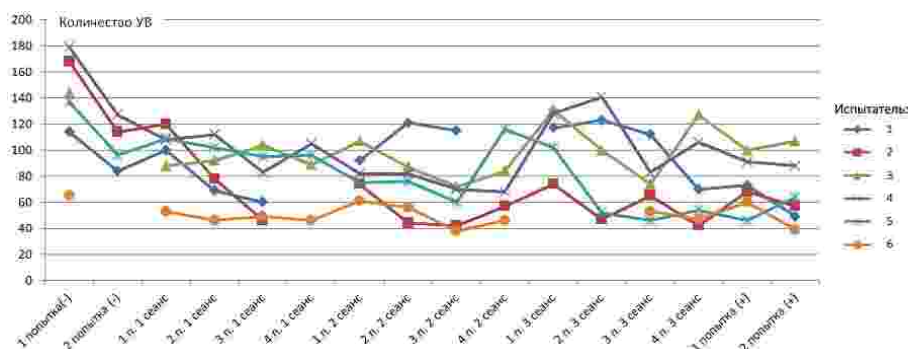


Рис. 7. Суммарное количество УВ за все ЭИ

Из анализа приведенных графиков можно сделать вывод о том, что ко 2-й п. 1-го сеанса изоляции испытатели вышли на средний уровень своих показателей (количество импульсов для выполнения позиционирования БПЛА КТ по направлениям сторон света). У 2-го и 6-го испытателей после 2-го сеанса сформировались практически равномерные тренды по суммарному количеству УВ. У 1, 3 и 4-го испытателей динамика полета более хаотичная, нет ярко выраженного тренда к улучшению или ухудшению

операторских качеств. Динамику 5-го испытателя можно оценить как положительную, с наблюдением постоянно уменьшающегося количества импульсов при выполнении заданий от сеанса к сеансу, тем не менее, присутствуют всплески показателей в 4-й п. 2-го сеанса и в 1-й п. 3-го сеанса и повышение значения в последнем сеансе относительно прогнозируемой кривой.

Расчет среднего значения количества выданных импульсов за все сеансы ЭИ для каждого испытателя показывает, что лучший результат (6-й испытатель – 51 УВ) и худший результат (4-й испытатель – 103 УВ) управления БПЛА КТ отличаются в два раза (рис. 8). Но и предыдущий график показывает, что 6-й испытатель был более стабильным в управлении.

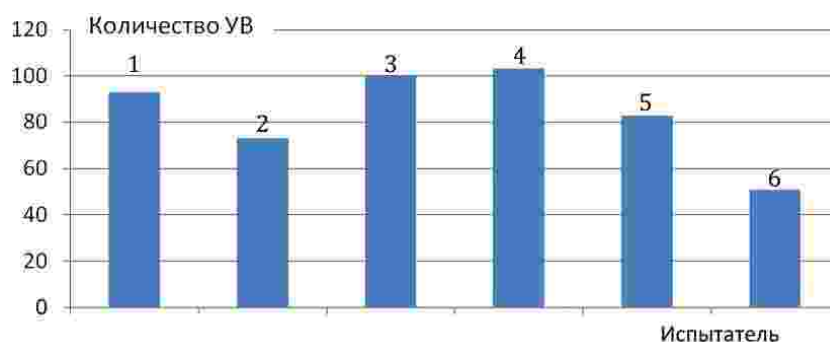


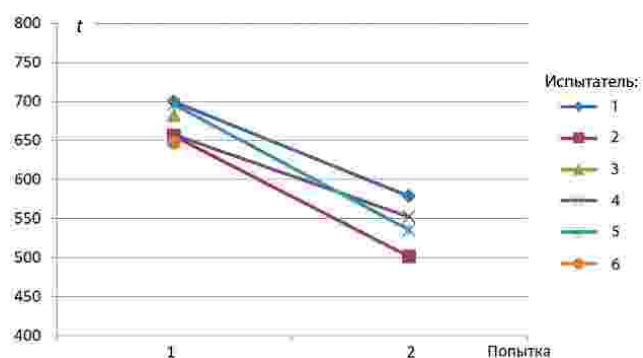
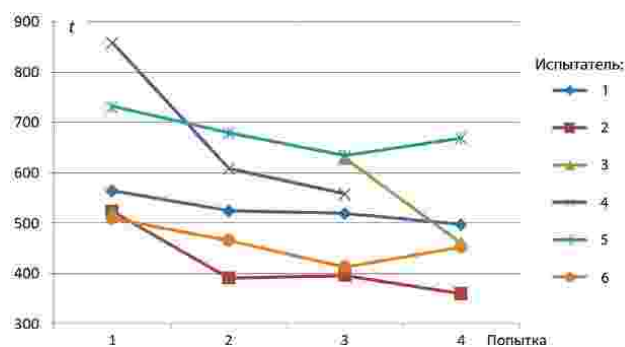
Рис. 8. Среднее количество выданных импульсов для позиционирования по рысканию за все сеансы ЭИ

3. Обобщенные результаты ЭИ применения БПЛА в РТУ

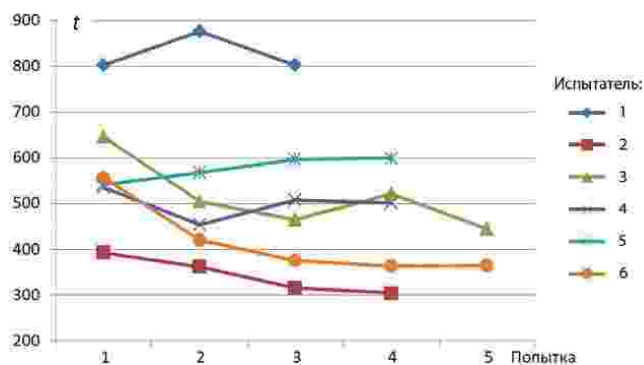
Обобщенный анализ деятельности испытателей показывает выполнимость полетного задания в РТУ БПЛА КТ с достаточно высокой результативностью, что отражается соответствующими показателями. Выявлено, что на каждом этапе испытатели произвели схожее количество попыток (в диапазоне $\pm$ одна попытка), причем на фоновых испытаниях время на каждого испытателя выделялось меньше (20 мин), чем во время изоляции (1 ч), но одинаковое для каждого участника группы в этапе.

Анализ выполнения испытателями фоновых исследований показывает, что уже при первой самостоятельной работе и двух попытках время (t) выполнения 2-й п. уменьшилось, что соответствует наработке навыков управления БПЛА КТ (рис. 9).

Тренд уменьшения t выполнения попыток у всех испытателей показывает анализ выполнения испытателями первого исследования. При этом у двух испытателей (5-го и 6-го) последняя попытка хуже предпоследней. По отношению к фоновым испытаниям уменьшилось t выполнения заданий, что особенно заметно на последних попытках у двух испытателей (2-го и 6-го) (рис. 10).

Рис. 9. t выполнения попыток на фонеовом сеансе ЭИ до изоляцииРис. 10. t выполнения попыток на первом сеансе ЭИ

Уменьшение t выполнения задания выявлено по оценке выполнения испытуемыми *второго* исследования. Работа проводилась в диапазоне порядка 300–650 с, за исключением показателей 1-го испытуемого, у которого результат оказался хуже общего тренда и хуже своего t на первом этапе, при том что в первом сеансе диапазон t составлял порядка 350–750 с (исключаем выбивающуюся точку из общего тренда – 1-й п. 4-го испытуемого) (рис. 11).

Рис. 11. t выполнения попыток на втором сеансе ЭИ

Изучение результатов третьего исследования показывает тренд уменьшения t выполнения попыток у трех испытуемых (1, 4 и 5-го) (рис. 12). Тенденции работы у других трех испытуемых (2, 3 и 6-го) более неоднородны и однозначный вывод сделать нельзя, поскольку это может быть вызвано факторами изоляции на фоне случайных событий (испытатель отвлекся от работы, возник кратковременный сбой в работе с программным продуктом при заполнении данных, и т. д.). При этом у двоих испытуемых (5-го и 6-го) последняя попытка оказалась чуть хуже предпоследней. По отношению к фоновым испытаниям, а также к первым двум попыткам, у трех испытуемых (1, 4 и 5-го) уменьшилось t выполнения заданий.

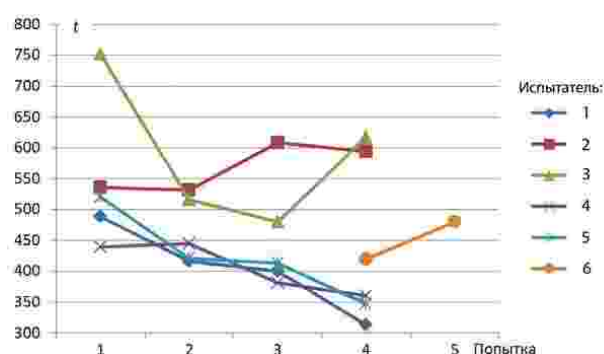


Рис. 12. t выполнения попыток на третьем сеансе ЭИ

Фоновая часть ЭИ проводилась в режиме ограничения общего t , и перед каждым из испытуемых ставилась задача выполнить минимум по два полетных задания (рис. 13). В итоге можно наблюдать небольшое повышение суммарного t прохождения трассы полета тремя испытуемыми (1, 4 и 5-м) относительно 3-й п. в изоляции. С учетом результатов всех этапов ЭИ испытуемые (2, 4 и 6-й) менее стабильны с точки зрения общего t выполнения заданий. Причем у всех испытуемых (3-го и 5-го) наблюдается уменьшение t работы ко 2-й п.

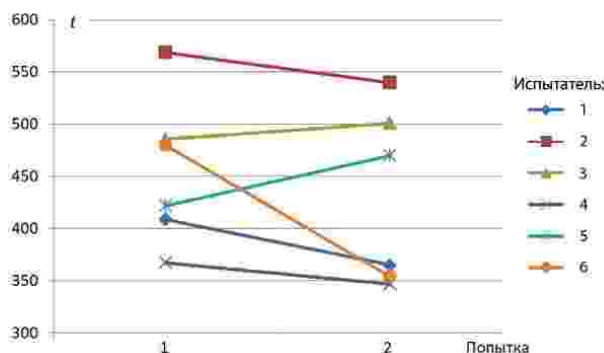


Рис. 13. t выполнения попыток на фоновом сеансе ЭИ после изоляции

На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- согласно графикам, представленным на рис. 9–13, подтверждается тренд уменьшения t на выполнение испытателями задания в попытке от сеанса к сеансу, что говорит об обучаемости испытателей разной квалификации и опыта работы с подобной аппаратурой;

- в соответствии с графиками, представленными на рис. 10–12, видно, что к 4-й п. испытатели входят в режим устойчивого выполнения работы с незначительным изменением t и качества выполнения заданий. В связи с этим в будущем для подготовки космонавтов можно рекомендовать выполнение 3–4 п. для приобретения необходимых навыков операторской работы по управлению БПЛА КТ.

Выводы

В ходе ЭИ применения БПЛА КТ заявленные цели достигнуты, поставленные задачи, порядок и запланированные этапы проведения выполнены. Получены исходные экспериментальные данные для последующей обработки в виде накопленных фотоматериалов изображений экрана оператора БПЛА КТ, синхронизированных по времени с массивом зафиксированных объективных параметров каждого полета (t полета, азимут, высота полета). Проведенные ЭИ подтвердили реализуемость предварительного конструкторско-технологического решения выбора БПЛА КТ в качестве прототипа. Отработана методика организации подготовки операторов по технологии использования БПЛА КТ с использованием высокотехнологичного оборудования с системой виртуального моделирования полета. Отработана технология дистанционного взаимодействия с испытателями для оказания оперативной помощи в выполнении ЭИ и выхода из нештатных ситуаций.

Результаты ЭИ смогут поспособствовать последующей доработке НА и разработке базовых элементов программы и методики для проведения такого рода ЭИ уже с участием космонавтов, мнение которых будет учитываться при создании физического образца экспериментального БПЛА.

Анализ полученных экспериментальных данных выявил достаточно продуктивную динамику обучаемости испытателей к управлению БПЛА КТ, тренд уменьшения t на выполнение испытателями полетного задания. К проведению четвертого полета (4-й п. полетного задания) испытатели показывают устойчивое применение БПЛА КТ в РТУ с незначительным изменением t и качества выполнения операций. В связи с этим при подготовке космонавтов к аналогичной работе рекомендуется выполнение трех-четырёх тренировочных полетов для приобретения необходимых навыков операторской работы по управлению БПЛА КТ.

Несомненно, опыт предварительных исследований применения БПЛА КТ в РТУ для ПСО экипажей ПТК, накопленный НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, планируется учесть при создании и применении стенда-тренажера

БПЛА. Этот стенд входит в состав разрабатываемого комплексного стенда-тренажера РТС [4], который является частью технических средств подготовки космонавтов по научно-прикладным исследованиям и космическим экспериментам новой Российской орбитальной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. О перспективных направлениях применения беспилотных летательных аппаратов для поисково-спасательного обеспечения экипажей пилотируемого космического корабля при стартах с космодрома Восточный / А.А. Анисимов, В.А. Дикарев, Л.М. Королёв, А.С. Харланов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2025. – № 3(56). – С. 78–92.
2. Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стенда робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4(41). – С. 36–47.
3. Возможности и некоторые направления использования универсального компьютерного стенда робототехнических систем после проведенной модернизации / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, Ю.С. Чеботарев, И.А. Буковская // Пилотируемые полеты в космос. – 2025. – № 2(55). – С. 94–107.
4. О создании комплексного стенда-тренажера робототехнических систем для решения научно-прикладных задач на Российской орбитальной станции / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Д.А. Петелин [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2024. – № 2(51). – С. 47–62.

REFERENCES

1. On Promising Areas of Application of Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue Support of Crews of a Manned Spacecraft During Launches From the Vostochny Cosmodrome / A.A. Anisimov, V.A. Dikarev, L.M. Korolev, A.S. Kharlanov [et al.] // Manned Spaceflights. – 2025. – No 3(56). – P. 78–92.
2. Prerequisites and Results of Modernization of the Universal Computer Stand of Robotic Systems / V.A. Dikarev, V.A. Dovzhenko, E.V. Nikitov, Yu.S. Chebotarev // Manned Spaceflights. – 2021. – No 4(41). – P. 36–47.
3. Possibilities and Some Directions of Using the Universal Computer Stand of Robotic Systems After the Modernization / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, Yu.S. Chebotarev, I.A. Bukovskaya // Manned Spaceflights. – 2025. – No 2(55). – P. 94–107.
4. On the Creation of a Complex Stand-Simulator of Robotic Systems for Solving Scientific and Applied Problems at the Russian Orbital Station / V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Yu. Kikina, D.A. Petelin [et al.] // Manned Spaceflights. – 2024. – No 2(51). – P. 47–62.