ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.786.2:629.78-051

УРОКИ ДО- И ПОСЛЕПОЛЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РУЧНОМУ УПРАВЛЯЕМОМУ СПУСКУ С УЧАСТИЕМ КОСМОНАВТОВ МКС

М.М. Харламов, Б.И. Крючков, А.С. Кондратьев, О.Г. Артемьев, И.Н. Куликов, В.А. Копнин, А.В. Васильев

Канд. экон. наук М.М. Харламов; докт. техн. наук Б.И. Крючков; А.С. Кондратьев; Герой Российской Федерации, летчик-космонавт Российской Федерации, инструктор-космонавт-испытатель 2-го класса отряда космонавтов ГК «Роскосмос», канд. экон. наук О.Г. Артемьев; канд. воен. наук И.Н. Куликов; канд. техн. наук В.А. Копнин; канд. пед. наук А.В. Васильев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

К настоящему времени в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина завершен цикл до- и послеполетных экспериментов по ручному управляемому спуску (РУС) пилотируемого посадочного модуля (ППМ) на поверхность планеты. Для проведения исследований использовался моделирующий комплекс на базе центрифуги, обеспечивающий имитацию процессов спуска в условиях реальных перегрузок в автоматическом и ручном режимах управления ППМ. В качестве аналога ППМ применялся макет рабочего места космонавта транспортного пилотируемого корабля (ТПК) типа «Союз», установленный в карданном подвесе центрифуги. В данной статье результаты экспериментов представлены в виде извлеченных из полученного опыта уроков и новых знаний.

Ключевые слова: космонавт, ручной управляемый спуск, транспортный пилотируемый корабль, посадка на поверхность планеты, дополетные и послеполетные эксперименты, показатели качества, прецедентный подход

Lessons of the Pre- and Post-Flight Experiments on Manually Controlled Descent Involving the ISS Cosmonauts. M.M. Kharlamov, B.I. Kryuchkov, A.S. Kondratyev, O.G. Artemyev, I.N. Kulikov, V.A. Kopnin, A.V. Vasilyev

By now, the Research and Test Cosmonaut Training Center named after Yu.A. Gagarin has completed a cycle of pre- and post-flight experiments on the manual controlled descent (MCD) of the manned landing module (MLM) on the planet's surface. To conduct the studies a centrifuge-based simulation complex was used, which provides simulation of descent processes under conditions of real

overloads for automatic and manual modes of controlling the MLM. A mock-up of the cosmonaut's workplace of the Soyuz type manned transport spacecraft (MTS), installed in the gimbal of a centrifuge, was used as an analogue of the MLM. The paper gives the experimental results in the form of lessons learned from the experience gained and new knowledge.
Keywords: cosmonaut, manual controlled descent, manned transport vehicle, landing on the surface of the planet, pre- and post-flight experiments, quality indicators, precedent approach

В работе оцениваются результаты выполнения космонавтами РС МКС дополетных и послеполетных экспериментов (ДПЭ и ППЭ) по РУС, начиная с экспедиции МКС-33/34 и до экспедиции МКС-71, Crew-8 включительно, которые проводились в период с 17.03.2013 по 24.10.2024. Всего в космических полетах участвовало космонавтов 47 чел. Оба вида экспериментов (ДПЭ и ППЭ) выполнили 20 чел. Только ДПЭ (фоновые эксперименты) выполнили 34 чел. Не выполняли эксперименты из-за различных ограничений (организационных, медицинских и др.) 27 чел.

Из опыта ДПЭ и ППЭ по РУС, полученного в рамках темы «Созвездие», и результатов исследований, представленных в ряде публикаций по анализу процессов РУС ТПК [1, 2, 4, 10, 12–14, 17], а также учета особенностей спуска с соответствующих орбит космических аппаратов на Землю, Луну и Марс [19] вытекают некоторые полезные уроки, которые целесообразно учитывать в дальнейших работах.

Стохастический характер процессов РУС

Урок 1. *Характерным свойством процессов РУС ТПК типа «Союз» является их стохастичность. В основу исследований таких процессов должны быть положены методы теории вероятностей, теории эффективности целенаправленных процессов и математико-статистические методы обработки результатов наблюдений.*

На процессы РУС влияет множество случайных факторов, связанных с техническими характеристиками спускаемого аппарата (СА) ТПК, неточным знанием характеристик атмосферы в районах спуска и посадки, действиями экипажа по управлению спуском. Кроме того, при посадке на Луну или Марс могут быть неизвестны (особенно на начальных этапах осуществления пилотируемых полетов) точные геолого-географические характеристики места посадки, а на Марсе не исключено еще и влияние пылевых бурь [1, 2].

Каждый конкретный СА обладает своими массовыми, центровочными и инерционными характеристиками. Состояние атмосферы точно не известно в конкретный момент времени, ее характеристики могут меняться в процессе спуска (давление, влажность, скорость и направление ветра, тепловые потоки и др.). Со стороны экипажа при РУС возможны неточности и ошибки, например по исполнению тормозного импульса по времени, величине

и направлению, что может привести к отклонениям СА по углу входа, скорости, координатам, времени входа и др.

Для обеспечения заданных условий спуска космонавт должен вносить необходимые коррективы в управление РУС, что позволяет достичь оптимальных величин *максимальной перегрузки* на участке спуска и минимизации конечного промаха при посадке СА. Заметим, что при этом моменты воздействия космонавта на органы РУС и их частота (продолжительность) также заранее неизвестны. Под влиянием случайных факторов траектория спуска СА, а значит, перегрузки, действующие на экипаж, и место посадки будут отличаться от расчетных, причем заранее не известно как и в какой степени.

На ТПК типа «Союз» спуск экипажа на Землю может осуществляться в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах. Их общее число – более 10.

Случайный характер процессов РУС особенно наглядно представляется многообразием начальных условий, с которыми космонавт сталкивается на практике как в ходе подготовки к космическому полету, так и при его выполнении (табл. 1).

Таблица 1

Состав начальных условий для выполнения космонавтом РУС ТПК

Вид спуска	ГЦ+СКД	ГЦ+СКД	ГЦ+СКД	ГЦ+СКД	ГЦ+ДПО БТ	ГЦ+СКД	ГЦ+СКД	ГЦ+СКД
Время включения ДУ, чч.мм.сс.	03.09.08	11.24.07	04.42.40	03.09.18	09.37.01	05.57.17	04.46.51	02.20.03
Время разделения, чч.мм.сс.	03.37.07	11.48.57	05.13.18	03.37.11	10.13.46	06.24.51	05.13.40	02.45.25
Время *T*вх, чч.мм.сс.	03.41.50	11.53.49	05.18.40	03.41.56	10.18.07	06.29.53	05.18.27	02.49.59
Время *T*вх(факт.), чч.мм.сс.	03.41.49	11.53.49	05.18.41	03.41.56	10.18.07	06.29.52	05.18.23	02.50.01
Орбита, км	444 × 406	356 × 348	454 × 436	417 × 396	406 × 372	410 × 380	390 × 360	386 × 355
Вес корабля, кг	6780	6780	6780	6780	5630	6780	6772	6659
Центровка по *X*, мм	825	825	825	825	825	825	821	824
Центровка по *Y*, мм	78	75	85	82	88	85	82	85
Импульс, м/сек	128	115,2	128	128	115,2	115,2	115,2	115,2
Момент переворота	2000	4205	2000	2441	2735	4205	–	2882
Уставки АУС 1-я группа	0126	1346	1773	1226	0365	1145	1426	1726
Уставки АУС 2-я группа	0071	0747	1000	0621	1570	0702	1661	1340
Угол входа, град	−1,48	−1,51	−1,19	−1,49	−1,33	–	−1,4	−1,59
Уставки РУС	034	170	134	150	154	004	120	170

АУС – автоматический управляемый спуск;
ДУ – двигательная установка;
X, *Y* – оси координат СА;
*T*вх(факт.) – момент входа в атмосферу.

Так, при подготовке космонавтов предусматривается четыре варианта режима РУС с различными начальными условиями, выбираемыми инструкторами, исходя из методических соображений. Всего же вариантов режима может быть 7–8. В каждом варианте спуска содержится от 14 до 18 различных параметров, определяющих их специфику.

Стохастичность процесса РУС с большой долей вероятности будет присуща и другим, в том числе напланетным ППМ, управляемым пилотами, что на практике уже подтверждалось при посадках астронавтами НАСА модуля LM на Луну в рамках программы «Аполлон» [4].

Таким образом, динамика процесса РУС, моменты начала и продолжительность составляющих его операций и другие характеристики определяют его как стохастический процесс с недетерминированным поведением. Его состояние в любой момент времени будет случайным. Поэтому при анализе процессы РУС должны оцениваться с использованием вероятностных методов.

Соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими вероятностями, есть не что иное, как функция распределения $F_{\hat{x}}(x) = P(\hat{x} \leq x)$, являющаяся наиболее полной характеристикой случайной величины $\hat{x}$. В результате проведения n экспериментов с участием космонавтов МКС [2, 17] получаем статистическую функцию распределения, которая является приближением к теоретической $F_{\hat{x}}(x)$:

$$F^*_{\hat{x}}(x) = F^*_{\hat{x}}(x; n) \overset{d}{=} P^*(\hat{x} \leq x).$$

Приведенные данные о характере процессов РУС свидетельствуют о применимости при анализе действий космонавтов положений, принятых в авиации [24], о том, что стохастичность является особенностью деятельности операторов самолетных эргатических комплексов. Моменты начала и окончания выполняемых человеком-оператором работ, какими бы жесткими ограничениями они не лимитировались, всегда имеют случайный характер. Человек, как биологическая система, обладает зависимостью от окружающих условий, режима труда и отдыха, возраста, психического состояния, психологического климата в коллективе и других факторов, что в конечном итоге сказывается на его психофизиологических качествах, чувствительности к изменениям внешней среды, надежности деятельности, работоспособности. Одновременно с этим, будучи высокоорганизованным существом, человек обладает свойствами адаптируемости и самоконтроля, способностью грамотно действовать в нештатных, в том числе аварийных ситуациях, а также приобретать устойчивые профессиональные умения и компетенции.

Показатели качества РУС

Урок 2. *Как правило, любой режим РУС при спуске ППМ на Землю или другую планету характеризуется большим числом свойств (задач, подзадач), определяющих его качество. В основном эти свойства зависят от программно-аппаратного состава ППМ, относящегося к РУС. Для исследования качества РУС целесообразно методами компонентного анализа выявить несколько (лучше 1–2) наиболее существенных свойств и на их основе выбрать показатели деятельности экипажа. Эти показатели должны обладать свойствами универсальности для всех вариантов РУС на данном типе ППМ.*

В общем случае исследуемый процесс РУС, как и любой сложный процесс, представляет собой совокупность n_i свойств, каждое из которых в разной степени влияет на его качество. Любое из этих свойств характеризуется своим частным показателем качества. Тогда показатель качества процесса РУС в целом можно представить в векторной форме следующим образом:

$$Y_{<n_i>} = [y_1, y_2 \dots y_n]; [i = 1(1)\, n], \quad (1)$$

где y_i – частный показатель качества i-го свойства;

n – общее число свойств;

$[i = 1(1)\, n]$ – последовательность значений целочисленной переменной с шагом i.

При реализации режима РУС на ТПК типа «Союз» такими показателями качества могут быть частные показатели, характеризующие операции экипажа:

y_1 – обнаружение автоматического формирования режима РУС;

y_2 – принятие решения и включение режима РУС с ручки управления спуском;

y_3 – включение РУС при разделении отсеков вручную;

y_4 – управление ориентацией СА на внеатмосферном участке спуска;

y_5 – управление ориентацией СА на атмосферном участке спуска;

y_6 – управление при баллистических промахах: $\infty < \Delta T_{\text{ВН}} \leq 16$ с;

y_7 – управление при баллистических промахах: 17 с $< \Delta T_{\text{ВН}} \leq 60$ с.

Необходимость определения $Y_{<n_i>}$ на основе множества заранее неизвестных значений y_i приводит к многофакторности задачи и ее неопределенности из-за возникновения множества возможных событий и вариантов спуска. Наилучший способ решения такой задачи – использование метода компонентного анализа, позволяющего выбрать 1–2 главных (ведущих) показателя, обеспечивающих оценку качества работы экипажа в режиме РУС [2].

С учетом конструктивно-технологического исполнения ТПК типа «Союз» и технологий реализации на нем процесса РУС, в рамках проводимого исследования приняты следующие частные показатели: n_x – максимальное значение перегрузки на участке спуска и L_k – конечный промах по дальности отклонения СА от заданной точки ввода парашюта в км.

Эти показатели не зависят ни от выбора варианта использования РУС, ни от начальных условий его выполнения и значений баллистических ошибок, что делает их универсальными при принятой технологии РУС.

Для каждого из типов экспериментов (ДПЭ и ППЭ) можно представить размах выборки в виде разности между наибольшим и наименьшим ее элементами: $\widehat{W}_{(n)} = \hat{X}_{(max)} - \hat{X}_{(min)}$. Для параметра n_x в фоновых экспериментах получен размах выборки: $W^{*ф}_{(n_x)}$ = 5,14 – 2,99 = 2,15; для послеполетных: $W^{*п}_{(n_x)}$ = 5,1 – 2,8 = 2,3. Обе выборки близки по величинам максимальной перегрузки n_x. Значение $W^{*}_{n_x}$ после полета на МКС увеличивается всего на 7 %. Для параметра L_k получен размах выборки по фоновым значениям: $W^{*ф}_{(L_k)}$ = 29 – 0 = 29 км; по послеполетным: $W^{*п}_{(L_k)}$ = 48 – 0 = 48 км. Увеличение – на 66 %.

Размах соответствующих выборок экспериментальных данных в первом приближении уже характеризует качественное различие управления РУС по разным параметрам – n_x и L_k. Разброс послеполетных значений по параметру L_k значительно выше, чем по параметру n_x (по сравнению с соответствующими фоновыми значениями).

Для оценивания средневзвешенного значения случайной величины $\hat{x}$ использовалось ее среднее значение: $M^{*}_{\hat{x}} = \frac{1}{x}\sum x_i$ (математическое ожидание). Анализ точности и надежности числовых характеристик $M^{*}_{\hat{x}}$ выполнен с помощью доверительных интервалов: $\mathrm{I}_{\beta,n} < M^{*}_{\hat{x}} >= [M^{*\mathrm{I}}_{\hat{x}}, M^{*\mathrm{II}}_{\hat{x}}]$и доверительных вероятностей: $\beta_{I,n} < M^{*}_{\hat{x}} > = \mathrm{P}\ (M^{*\mathrm{I}}_{\hat{x}} \le M^{*}_{\hat{x}} \le \mathrm{M}^{*\mathrm{II}}_{\hat{x}})$. Для оценивания рассеяния случайной величины принято среднее квадратическое отклонение $6_{\hat{x}} = \sqrt{D_{\hat{x}}}$, где $D_{\hat{x}}$ – дисперсия случайной величины $\hat{x}$.

Вследствие уникального характера экспериментов их число n, как правило, невелико. Поэтому для получения состоятельных и несмещенных оценок среднего квадратического значения необходимо вводить коэффициент k_n, учитывающий степень их смещенности. При $n < 24$ значение $k_n \neq 1$ [1, 3].

При этом для выборок размером $n < 30$ в случае оценивания доверительного интервала необходимо использовать соответствующие математические формулы при неизвестном 6^{*}_{x} [1]:

$$M^{*}_{\hat{x}} - \frac{6^{*}_{\hat{x}}}{\sqrt{n}}\, t_{\beta,n-1},\ M^{*}_{\hat{x}} + \frac{6^{*}_{\hat{x}}}{\sqrt{n}}\, t_{\beta,n-1}, \qquad (2)$$

где $t_{\beta,n-1}$ определяется по таблице квантилей распределения Стьюдента (t-распределения).

Поскольку режим РУС на ТПК типа «Союз» можно рассматривать как двухпараметрическое (по n_x и L_k), то вероятность совместного наступления двух событий (вероятность успешного выполнения режима РУС в целом) будет определяться произведением вероятностей успешного управления по параметру n_x и успешного управления по параметру L_k при условии, что при этом вероятность успешного выполнения по n_x равна P_{n_x}:

$$P_{\text{рус}} = P_{n_x} \times P_{L_k}. \qquad (3)$$

В нашем случае $P_{\text{рус}}$ – показатель эффективности процесса РУС.

Подобным образом целесообразно подходить к анализу качества деятельности экипажа при выполнении РУС и на других типах СА, в том числе при напланетных посадках на Луну или Марс.

Объем экспериментов

Урок 3. *Для получения надежных оценок изучаемых показателей, функций распределения целесообразно послеполетный сеанс исследований с участием каждого космонавта составлять не менее чем из трех экспериментов – двух статических (без вращения ЦФ) и одного динамического (с вращением ЦФ). Для ДПЭ в общую выборку рекомендуется включать в качестве фоновых не только экзаменационные, но и зачетные тестирования экипажей ТПК, поскольку космонавты в обоих случаях имеют один и тот же уровень подготовленности. Такой подход существенно расширяет объем фоновых данных и не противоречит правилам формирования представительной выборки. Для определения объема модельных экспериментов по РУС с целью получения надежных оценок показателей деятельности экипажа ТПК целесообразно использовать формулы (4–7), пригодность которых проверена на практике.*

Потребный объем экспериментов (n), иначе говоря объем выборки, зависит от задач исследования, в том числе от того, с какой точностью ξ и надежностью β следует проводить вычисления. В тоже время необходимо помнить, что объективно в нашем распоряжении не всегда может быть большая выборка, поскольку эксперименты с участием экипажей МКС, особенно послеполетные, уникальны по своей сути. В таком случае приходится иметь дело с малыми выборками. При больших выборках результаты эксперимента подчиняются нормальному закону, при малых – распределению Стьюдента (t-распределению) [5]. Из опыта анализа ДПЭ и ППЭ вытекает следующее:

1. Оценивание функций распределения величин $\hat{n}_x^{\text{ф}}$, $\hat{n}_x^{\text{п}}$, $\hat{L}_k^{\text{ф}}$, $\hat{L}_k^{\text{п}}$, с необходимой точностью ξ и надежностью β рекомендуется выполнять по формуле:

$$n_{\beta,\xi} < F_{\hat{n}_x^{\text{ф}}}(n_x^{\text{ф}}) \geq \frac{t_\beta^2}{4\xi^2}. \tag{4}$$

Аналогично можно записать зависимости для функций $F_{\hat{n}_x^n}(n_x^n)$; $F_{L_k^{\text{ф}}}(L_k^{\text{ф}})$; $F_{L_k^n}(L_k^n)$.

2. При определении объема выборок при оценивании вероятности успешного выполнения экспериментов рекомендуется пользоваться формулой:

$$n_{\beta,\xi} \geq \frac{p\,(1-p)}{\xi^2}\, t_\beta^2. \tag{5}$$

В работах [1, 2] приведены примеры вычислений $n_{\beta,\xi}$ при различных β и ξ: для определения объема выборки при оценивании математического

ожидания $M^*_{\hat{x}}$ результатов экспериментов для больших и малых выборок рекомендуется формула:

$$n_{\beta,\xi} < M^*_{\hat{x}} > \approx (\frac{6^*_{\hat{x}}}{\xi}\, t_\beta)^2. \quad (6)$$

3. Для определения объема выборки при оценивании дисперсии результатов экспериментов рекомендуется формула:

$$n_{\beta,\xi} < D^*_x > \geq 2\,(\frac{D^*_{\hat{x}} \cdot t_\beta}{\xi})^2 + 1. \quad (7)$$

При этом для n > 50 можно получить оценку дисперсии, смещенную не более чем на 2 % [5].

Величины показателей качества РУС для использования в проектных расчетах и математических моделях

Урок 4. *Впервые получены численные значения показателей профессиональной деятельности космонавта по выполнению режимов РУС с учетом влияния продолжительности космического полета. Данные показатели могут быть использованы в качестве исходных данных (с поправкой на конкретные условия полета) в соответствующих проектных расчетах и математических моделях.*

Основные статистические показатели, характеризующие деятельность экипажа по выполнению РУС перед началом космического полета и по его окончании на ТПК «Союз», представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние длительного пребывания в космосе на показатели качества РУС

Показатели качества РУС	ДПЭ	ППЭ	
		Абсолют. значение	Оценки
Вероятность успешного выполнения режима РУС			
по параметру n_x, P_n	1	1	не изменяется
по параметру L_k, P_{L_k}	1	0,83	ниже на 0,17 %
Математическое ожидание			
максимального значения перегрузки n_x, M_n	3,96 ± 0,29	4,09 ± 0,31	выше на 3,28 %
конечного промаха по дальности отклонения от заданной высоты ввода парашюта (км), $M^*_{L_k}$	7,26 ± 2,65	11,3 ± 5,35	выше на 55,7 %
Среднее квадратическое отклонение			
максимальной перегрузки (ед.), 6^*_n	0,684	0,755	выше на 10,38 %
конечного промаха (км), $6^*_{L_k}$	6,44	12,99	выше на 101 %
Коэффициент корреляции Пирсона (варьируется от –1 до +1)			
(степень взаимосвязей < $n^{\phi}_x, n^{п}_x$ >), $r_{n^{\phi},n^{п}}$	+ (0,65… 0,75)		высокий уровень корреляции
(степень взаимосвязей < $L^{\phi}_k, L^{п}_k$ >), $r_{L^{\phi}_k,L^{п}_k}$	– (0,04… 0,08)		полное отсутствие корреляции

При использовании рассматриваемых показателей необходимо учитывать следующее:

1) все показатели получены по результатам обработки серии экспериментов по РУС с участием космонавтов до и после полетов на МКС. Все ППЭ проводились космонавтами МКС в первые сутки после возвращения космонавтов на Землю после космического полета;

2) на моделирующих комплексах на базе центрифуг ЦФ-7, ЦФ-18 воспроизводился полет ТПК на этапах внеатмосферного и атмосферного спуска. На космонавта воздействовали реальные перегрузки, на величину которых он мог влиять при РУС. Программно-аппаратные средства РУС были адекватны штатным, имеющимся на ТПК типа «Союз», который рассматривался как прототип перспективного ППМ. В разных проектах ППМ имеют различные названия: модуль LM – в программе «Аполлон»; лунный взлетно-посадочный корабль (ЛВПК) – в лунной программе РФ; ВПК – в марсианском проекте РКК «Энергия» и другие. В данной статье рассматривается его обобщенное представление;

3) оценивание действий экипажа осуществлялось по максимальной перегрузке n_x, достигнутой при выполнении РУС и конечному промаху L_k;

4) после длительного полета на МКС космонавты сохраняют высокие операторские качества по управлению перегрузкой n_x, близкие к достигнутым непосредственно перед космическим полетом, что объясняется следующим:

– при РУС космонавты отдают приоритет управлению по максимальной перегрузке (n_x), поскольку она является более жизненно важной характеристикой, чем L_k;

– на пульте космонавта отображаются только текущие значения n_x, в то время как параметр L_k оценивается только по косвенным признакам.

Как видно из табл. 2, математические ожидания величин максимальных перегрузок n_x, достигнутые в до- и послеполетных экспериментах, близки к нормативному значению, а после длительного пребывания в космосе возрастают всего на 3,28 %.

Среднеквадратические отклонения, характеризующие рассеяние величин n_x, увеличиваются после длительного полета на 10,23 %.

Высокий уровень корреляции до- и послеполетных значений n_x + + (0,65… 0,75) говорит о четком следовании космонавтов методическим правилам подготовки – управлять РУС приоритетно по наиболее жизненно важному параметру;

5) операторские качества космонавтов при режиме РУС по конечному промаху L_k в длительном космическом полете существенно снижаются.

Математическое ожидание по L_k в до- и послеполетных экспериментах отличается более чем на 55 % в сторону увеличения после полета. Величина $M^*_{L_k}$ в послеполетных экспериментах в 16,6 раз выше, чем до полетов в космос. Причем почти в 25 % случаев промахи не укладываются в допустимые пределы.

Коэффициент Пирсона $r_{L_k^{\phi},L_k^{\text{г}}} = -0{,}06$ показывает, что корреляция между до- и послеполетными экспериментами практически отсутствует.

Одним из способов улучшения качества РУС на ПТК по параметру L_k может быть отображение на пульте космонавта текущего значения промаха. В перспективных проектах ПКК целесообразно предусмотреть общее эргономическое требование следующего содержания: все текущие значения параметров (характеристик), которыми космонавты пользуются при управлении ПКК или их бортовыми системами, должны отображаться на соответствующих пультах (дисплеях). Необходимость их определения только какими-либо косвенными способами должна быть исключена. Особую значимость это требование имеет для надежного обеспечения выполнения динамических операций при РУС.

В целях реализации данного способа улучшения качества РУС на ПТК целесообразно воспроизводить отображение формата с добавлением следующей важной дополнительной числовой и графической информации:

– дирéкторной кривой при движении индекса, вдоль которой спуск завершается с нулевым промахом;

– графиком опорной перегрузки как производной от графика опорной кривой;

– значением расстояния от индекса до дирéкторной кривой (со знаком «–», если индекс под кривой; «+» – если индекс над кривой) в единицах, позволяющих отслеживать малые отклонения индекса от кривой;

– величиной темпа изменения перегрузки;

– текущим значением дискретов – расстояние от индекса до опорной кривой.

Таким образом, в режиме РУС у оператора появляется возможность использовать дирéкторную кривую и график опорной перегрузки как ориентир, а величина расстояния от индекса до дирéкторной кривой и текущие значения дискретов и темпа изменения перегрузки позволят ему оценить отклонение от заданного (расчетного) значения.

Ранжирование работоспособности космонавтов экипажа при подготовке к РУС в ходе длительного полета

Урок 5. *Работоспособность космонавтов, как правило, снижается в течение длительных космических полетов, причем это происходит в разной степени. На борту ПКК (в том числе межпланетной или планетной базы) должны быть средства контроля (тестирования) работоспособности космонавта, что особенно важно при подготовке к ручной посадке пилотируемого модуля на планету. РУС и посадку на поверхность планеты должен выполнять подготовленный космонавт, обладающий на данном этапе наилучшей работоспособностью. Для контроля готовности экипажа к выполнению режима РУС рекомендуется способ, разработанный на основе критериально-ориентированных экспертных систем, защищенный патентом РФ.*

В кратковременных полетах продолжительностью до 12 сут снижение работоспособности космонавтов при выполнении режима РУС не отмечается. Каких-либо отклонений по управлению РУС не выявлено: ни по параметру n_x, ни по параметру L_k.

Под действием невесомости и других экстремальных факторов космического полета работоспособность космонавта снижается, о чем свидетельствует большое число исследований, в частности, работы [1, 2, 7, 10, 12, 17, 21, 22] и др. Данный факт подтверждается и практикой организации ППЭ в рамках работ по теме «Созвездие». При подготовке к ППЭ в ряде случаев космонавты, вернувшиеся с МКС, не допускались к проведению послеполетных экспериментов по медицинским показаниям. Снижение работоспособности ведет и к снижению надежности операторской деятельности [2, 11].

Условия космического полета неодинаково влияют на здоровье и работоспособность космонавтов, что объясняется целым рядом причин: различными индивидуальными физиологическими характеристиками, динамикой уровня физической тренированности в полете, соматическими, гендерными и психическими особенностями человека. В работе [22] и других публикациях этих авторов показано, в частности, что физические качества космонавтов зависят и от их соматотипов, а физическая тренированность в длительных полетах снижается в среднем в 1,6 раз. Динамика физической тренированности по месяцам полета также носит индивидуальный характер.

Различное влияние негативных факторов космического полета на человека отмечались и в полетах астронавтов НАСА. Так, в октябре 2024 г. после полета продолжительностью 235 сут на МКС и посадки экипажа Grew Dragon (в его составе был российский космонавт А. Гребёнкин и три астронавта НАСА) один из астронавтов был экстренно госпитализирован из-за плохого самочувствия [21]. В таком состоянии он был бы не способен выполнить РУС. В то же время работоспособность других членов экипажа была удовлетворительной.

Разное влияние условий полета на космонавтов подтверждается, в том числе и послеполетными обследованиями.

Гипотетически можно представить, что, например, космонавты экипажа Межпланетного орбитального комплекса (МОК) при подлете к Марсу, скорее всего, будут иметь не одинаковую работоспособность. Не исключено, что кто-то из них будет не способен выполнить (по крайней мере, с требуемым качеством) режим РУС при посадке ППМ на поверхность планеты. Должен быть разработан способ оперативного оценивания надежности космонавтов в экипаже с тем, чтобы выявить тех, кто может быть допущен (не допущен) к выполнению ручной посадки спускаемого модуля на поверхность планеты.

Такой способ в настоящее время предложен и запатентован с участием авторов данной работы [6].

Использование подобной технологии целесообразно не только на заключительных этапах длительного космического полета, но и на всем его

протяжении. Проводя периодическое тестирование космонавтов в полете, можно разрабатывать индивидуальные рекомендации по использованию средств профилактики здоровья, в том числе циклограмм бортовых физических упражнений. Предлагаемая экспертная система должна быть интегрирована, в том числе с бортовым тренажером РУС.

Технологии подготовки космонавтов к выполнению РУС

Урок 6. *При построении моделей подготовки космонавтов по РУС будущих ПКК целесообразно опираться на опыт, полученный при реализации программы полетов ТПК «Союз». Бортовую подготовку космонавтов по РУС необходимо рассматривать как обязательный элемент полетной деятельности космонавтов перспективных ППМ РОС, МОК, лунных орбитальных станций (ЛОС) и иных ПКК. Наземные и бортовые тренажеры для подготовки экипажей по РУС должны иметь подобные эргономические характеристики (рабочее место, органы управления, средства индикации и др.) и соответствующее программное обеспечение. Текущие доработки любых штатных бортовых аппаратных и программных средств РУС должны одновременно повторяться и на наземных средствах, независимо от способов их размещения (в составе ЦФ, специализированных, мобильных или комплексных тренажеров).*

Одним из обязательных элементов подготовки космонавтов к посадке ППМ на Луну должны стать легкие многоцелевые вертолеты типа «Ансат», «Робинсон» или их аналоги. Процесс освоения данной авиационной техники космонавтами с различной квалификацией апробирован при полетах по одному из вариантов лунной глиссады.

Необходимым средством для отработки посадки ППМ на Луну в ручном или автоматизированном режимах являются летные стенды-тренажеры с возможностью вертикального взлета и посадки. Такие средства должны создаваться с учетом современного развития цифровых и лазерных технологий, мультироторных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), авиационных средств вертикального взлета и посадки.

В рамках реализации программ полетов на околоземных орбитах накоплен значительный опыт подготовки космонавтов к выполнению режимов РУС на ТПК типа «Союз» [1, 2, 17]. Технологии подготовки космонавтов на различных технических средствах, таких как комплексные тренажеры, тренажеры РУС на базе ЦФ, компьютерные наземные и бортовые тренажеры, станут основой для создания соответствующих научно-технических заделов для перспективных пилотируемых экспедиций. Можно ожидать, что опыт бортовой подготовки космонавтов к режиму РУС будет востребован и в других пилотируемых программах [7, 9].

В связи с развитием современных лазерных технологий (технологий Lidar) для ряда космических аппаратов уже начата разработка систем

высокоточного управляемого спуска и посадки ППМ на поверхность планеты с построением ее трехмерной модели. Задачи и функции экипажа при использовании лидарных систем еще подлежат определению. Однако в силу наличия множества дополнительных рисков при посадке на Луну или Марс по сравнению с посадкой на Землю следует отдавать предпочтение автоматизированным либо ручным системам посадки, а не полностью автоматическим системам.

Одним из эффективных способов отработки космонавтами посадки на Луну должна быть вертолетная подготовка. Наиболее пригодными для ее осуществления являются легкие многоцелевые вертолеты типа «Ансат», «Робинсон» [13, 20]. Их летно-технические характеристики (скорость, высота, тяговооруженность и др.), надежность, высокая степень остекления кабины и комфортные условия в кабине в любое время года, хорошая приспособленность для обучения пилотов делают вертолеты вполне пригодными для отработки наиболее важных режимов в интересах РУС: спуск по заданной глиссаде; выбор безопасного места посадки [18] при лимите времени на принятие решения; посадка на выбранную поверхность ограниченного размера.

Для отработки режима РУС на начальных этапах освоения Луны космонавтами на вертолете рекомендуется использование глиссады с параметрами: высота в исходной точке глиссады 150 м; дальность до точки посадки 600 м; скорость 80 км/ч; вертикальная скорость 2 м/с; угол глиссады 33°; высота зависания над площадкой 5 м; четыре контрольные точки прохождения глиссады на высотах 150, 100, 50, 5 м; зависание на высоте 5 м со смещением в пределах 0,5–1 м. Моделирование режима РУС на вертолете включено в программу летной подготовки космонавтов. В последующем для траекторий спуска и посадки на Луну конкретных типов ЛВПК характер глиссады может быть уточнен.

Одними из ключевых средств подготовки космонавтов по РУС реальных лунных взлетно-посадочных кораблей (ЛВПК) на лунную поверхность должны стать летные стенды-тренажеры. В качестве их прототипов можно рассматривать средства, использовавшиеся в СССР и США при подготовке человека к первым полетам на Луну (в СССР – динамические вертолетные имитаторы лунного корабля типа «ВИ-ЛК» на базе серийного вертолета Ми-4, в США – летательные аппараты LLTV, LLRV с технологией вертикального взлета) [13, 14].

Медицинские и психологические показатели космонавтов при выполнении режимов РУС

Урок 7. *При моделировании режимов РУС в штатных и нештатных ситуациях (НшС) медицинские и психологические показатели космонавтов были близки к норме. Каких-либо отклонений, влияющих на работоспособность космонавтов, не отмечалось.*

При выполнении ДПЭ и ППЭ по РУС постоянно осуществлялись медицинское наблюдение, мониторинг и регистрация следующих параметров: электрокардиограмма по Нэбу, частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), частота дыхания (ЧД), температура тела (Т). Проводился контроль за состоянием космонавта по видеофиксации его лица, что позволяло оценивать как его общее, так и психоэмоциональное состояние, а также работоспособность.

Обобщая результаты медицинских и психологических исследований, можно сделать следующие основные выводы:

1. В процессе ДПЭ и ППЭ по РУС космонавты не предъявляли каких-либо жалоб на состояние здоровья. Нарушений сердечного ритма не отмечалось. Физиологические показатели (ЧСС, АД, ЧД, Т) находились в основном в пределах допустимых значений.

2. Изменения ряда показателей в ДПЭ и ППЭ (ЧСС, ЧД) носили индивидуальный характер. В ППЭ максимальные и средние значения ЧСС, ЧД не превышали показатели, которые отмечались при проведении ДПЭ. Показатели АД на пике перегрузок в отдельных случаях превышали физиологическую норму.

3. При моделировании спуска под действием перегрузок в режиме РУС на ЦФ и вертолете не было выявлено каких-либо изменений в медицинских данных, которые могли бы влиять на сдвиги в функциональных системах, влияющих на работоспособность космонавта. Отмечалась устойчивая реакция психики космонавтов на экстремальные режимы деятельности.

Прецедентный подход к использованию результатов экспериментов по РУС

Урок 8. *Результаты уникальных экспериментов по РУС с участием космонавтов РС МКС (фоновых и послеполетных) представляют собой наиболее достоверную информацию, на базе которой могут эффективно функционировать интеллектуальные системы поддержки принятия решений на основе прецедентов. Ее высокая достоверность определяется тем, что извлекаемые прецеденты формируются по итогам действия космонавтов, операторские и когнитивные качества которых наиболее близки к профессиональным качествам тех космонавтов, которым должна обеспечиваться поддержка в будущих миссиях, причем условия деятельности в извлекаемых и оцениваемых прецедентах максимально идентичны.*

Прецедентный подход – процесс решения новой задачи (например по оцениванию качества РУС при посадке на Марс) путем использования базы прецедентов, содержащей результаты до- и послеполетных экспериментов по РУС ПКА при посадках на Землю и Луну.

С помощью прецедентного подхода можно моделировать процессы РУС, планируемые на перспективных ПКК, что позволит не только оценить

возникающие риски, но и предложить меры по оптимизации систем и режимов РУС. Прецедентный подход может быть одним из эффективных способов поддержки принятия решений по реализации процедур РУС.

Методы поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов рассмотрены в ряде работ [15, 16]. Возможность их применения в интеллектуальной системе мониторинга профессиональной надежности космонавта предложена в работе [8].

На рис. 1 представлена общая структурная схема поиска решений с использованием библиотеки по РУС. В основу рассматриваемой структуры положен так называемый CBR-цикл исследований [15, 16], включающий определенные этапы процедур поиска:

1. Извлечение из библиотеки по РУС прецедента, наиболее соответствующего решаемой задаче.
2. Использование извлеченного прецедента.
3. Оценивание результатов использования прецедента и при необходимости его адаптация.
4. Сохранение пересмотренного прецедента в библиотеке прецедентов по РУС.

Рис. 1. Этапы поиска решений на основе прецедентов
(CBR-цикл и содержание библиотеки прецедентов по РУС)

Библиотека прецедентов содержит три ключевых компонента: *фоновые* (фактически дополетные) данные, которые могут включать как результаты экзаменационных тренировок, так и результаты наземной отработки средств и технологий РУС; *полетные*, полученные в реальных космических полетах при использовании космонавтами (астронавтами) режимов РУС;

послеполетные – содержащие результаты специально поставленных экспериментов с участием космонавтов на первый-второй день после возвращения из космического полета.

В библиотеке прецедентов данные могут представляться в различных видах и форматах: исходной информации по режиму РУС; областей допустимых значений по перезагрузкам, недолетам, перелетам относительно расчетной точки посадки; опыта космонавтов; фреймов медицинской и мультимедийной информации; записей в БД и другое.

В литературе приводятся примеры программной реализации прототипа CBR-комплекса на языке C# и среды программирования Microsoft Visual Studio 2010 [15].

О перспективных технологиях обеспечения посадки ППМ на поверхность Луны и планет

Урок 9. *Одной из наиболее перспективных технологий развития программно-аппаратных средств, обеспечивающих точную и безопасную посадку ППМ на поверхность Луны и планет, является лазерная сканирующая система – лидар.*

Лазерные лидары (LiDAR – Light Detection and Ranging, обнаружение света и определение дальности) реализованы и работают на принципе регистрации испускаемых ими волн оптического или инфракрасного диапазона (1550…200 нм). Они обладают большой разрешающей способностью и точностью [3, 8]. Лидар фактически сканирует поверхность планеты. Он обеспечивает ее трехмерную лазерную съемку, что позволяет получить актуальную пространственную цифровую модель местности и рельефа, а также осуществить выбор с ее помощью безопасной посадочной площадки для прилунения космического аппарата.

В программе «Аполлон» навигация и посадка на поверхность Луны модуля LM осуществлялись экипажами кораблей вручную [14]. Бортовые компьютеры играли вспомогательную роль, а самые ответственные динамические операции выполняли астронавты. Высокоточные лидары позволяют перейти от ручной к автоматизированной посадке ППМ, когда ведущая роль будет отводиться автоматике, а человек будет контролировать ее работу и включаться в процесс посадки космического аппарата только в случае каких-либо отклонений от нормы.

Автоматизированная посадка позволяет повысить безопасность миссии, что подтверждают уже имеющиеся случаи НшС с лидарными комплексами. Так, в апреле 2023 г. японский посадочный модуль Resiliens (Hakuto-R M2) разбился при посадке на Луну из-за того, что его бортовой компьютер не воспринял информацию от лазерного дальномера. Посадка началась раньше, и запасы топлива закончились преждевременно. Это типичная ситуация, когда космонавт мог бы надежно парировать НшС.

В настоящее время лидары тестируются для некоторых зарубежных пилотируемых проектов. В частности, их применение предусматривается программой «Артемида» (Human Landing Sistem) в модуле Starship HLS.

Высокоточную посадку с помощью лидаров отрабатывает и компания Blue Origin с использованием ракеты New Shepard в рамках проекта Splice [3]. Используемый здесь допплеровский лидар начнет работать на высоте около 6,5 км над поверхностью Луны. Система 3D-визуализации и формирования трехмерной карты лунного рельефа функционирует с высоты 500 м. Высокоскоростной компьютер обрабатывает полученные данные и выбирает безопасное место посадки лунного модуля. На рис. 2 укрупненно представлена принципиальная схема одного из вариантов автоматизированной системы посадки ППМ на основе лидара.

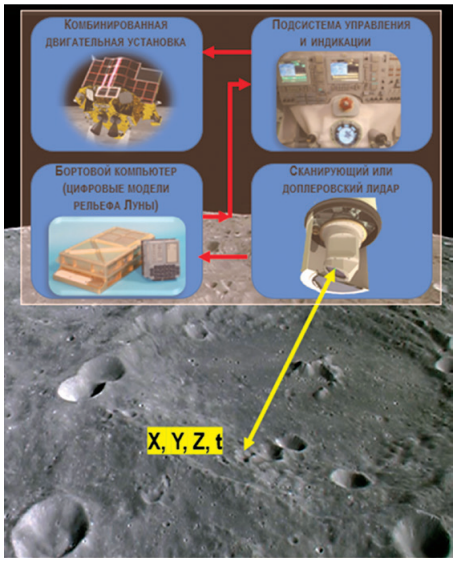

Рис. 2. Вариант схемы автоматизированной системы посадки ППМ на основе лидара

Новые знания

В результате теоретико-экспериментальных исследований режимов РУС, выполненных в условиях моделируемого на ЦФ спуска СА ТПК типа «Союз» с участием космонавтов МКС в первые сутки после их возвращения на Землю, получены ранее неизвестные сведения об особенностях взаимодействия космонавта с программно-аппаратными средствами РУС в экстремальных условиях космического полета:

1. Космонавт после выполнения длительного (многомесячного) полета *способен при определенных условиях* выполнить ручную посадку космического аппарата (посадочного модуля) на поверхность Земли, Луны, Марса.

Упомянутые условия определяются степенью совершенства программно-аппаратных средств РУС, а также профессиональными и индивидуальными качествами космонавта, особое значение имеют его подготовленность и работоспособность [2, 10, 12, 18, 22, 23]. Профессиональные качества космонавта формируются при подготовке к космическому полету и поддерживаются в ходе бортовых тренировок. Работоспособность космонавта определяется его индивидуальными физическими и психофизиологическими характеристиками. В полете она поддерживается за счет бортовой системы профилактики и индивидуальной программы физических тренировок, рационального режима труда и отдыха (РТО), обеспечения необходимых физиолого-гигиенических характеристик среды обитания в ПКК.

Контроль работоспособности и надежности космонавтов в полетах, особенно в условиях автономности и большой продолжительности, – одно из необходимых условий их допуска к осуществлению наиболее ответственных и опасных операций, к которым относится и РУС. Предложена технология оценивания работоспособности и надежности космонавта в полете, построенная на основе критериально-ориентированных экспертных систем [6].

2. Получены новые количественные данные в виде статистических показателей и характеристик, позволяющие оценить качество деятельности экипажей при выполнении режимов РУС, которые могут быть использованы как исходные данные в математических моделях и комплексах полунатурного моделирования при исследовании рисков и эффективности операторской деятельности в перспективных пилотируемых миссиях.

3. Получены эргономические и методические представления о построении режимов РУС для перспективных ПКК, в том числе с учетом многоканальности управления. Показано, что на практике при многоканальном управлении режимом РУС космонавты первоочередно ориентируются на управление по тому каналу, который в большей степени влияет на безопасность экипажа (полета).

4. Получен опыт по организации и порядку проведения послеполетных экспериментов с учетом гарантированной безопасности космонавтов при их выполнении [1, 10, 17, 18].

Разработана единая модель, включающая до- и послеполетные эксперименты с участием космонавтов РС МКС, обеспечивающая воспроизведение режимов РУС на модельных аналогах ТПК, позволяющая оценивать качество деятельности космонавтов.

Разработаны методы сравнительного оценивания фоновых (дополетных) и послеполетных экспериментов, позволяющие выявлять влияние космических полетов различной продолжительности, профессиональных и индивидуальных качеств космонавта на результаты операторской деятельности.

5. Получены сведения о принципах, способах и технологиях использования современных легких многоцелевых вертолетов в подготовке космонавтов к ручной посадке космического аппарата на поверхность Луны.

Разработаны и апробированы циклограммы деятельности экипажей вертолетов при натурном моделировании спуска по лунной глиссаде и посадке на подготовленную поверхность ограниченных размеров.

Апробирован и внедрен в программу летной подготовки космонавтов цикл учебных полетов по вертолетной подготовке.

6. По результатам экспериментов и соответствующих медико-биологических исследований специалистов установлен эффект пролонгированного космического полета, характеризующий физическое и функциональное состояние космонавта в первые сутки после возвращения на Землю из длительного космического полета. На этапе полета состояние космонавта адекватно его состоянию на борту ПКК перед спуском на Землю.

Выводы

Выполнен цикл до- и послеполетных наземных экспериментов с участием космонавтов РС МКС по РУС и посадке космического аппарата на поверхность планеты. Моделирование РУС выполнялось на комплексах полунатурного и натурного моделирования, включающего центрифуги ЦФ-7, ЦФ-18, в кабинах которых размещались программно-аппаратные средства РУС ТПК типа «Союз», а также с использованием легкого многоцелевого вертолета. Участие космонавтов в послеполетных экспериментах в первые сутки после возвращения на Землю с околоземной орбиты рассматривалось как пролонгированный космический полет, а СА ТПК «Союз» – в качестве прототипа перспективного посадочного модуля. Анализ и обобщение результатов экспериментов позволили извлечь полезные уроки и получить новые знания, которые целесообразно учитывать в дальнейших работах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крючков, Б.И. Статистическое описание экспериментов по моделированию профессиональной деятельности космонавтов до и после полетов на МКС / Б.И. Крючков, А.С. Кондратьев // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 2(39). – С. 60–77.
2. Крючков, Б.И. Профессиональная деятельность экипажей перспективных космических комплексов / Б.И. Крючков, М.М. Харламов, П.П. Долгов // Космоскоп. – 2024. – 281 с.
3. Безопасная и точная посадка – интегрированные возможности. Эволюция // Nasa: сайт. – URL: https://www.nasa.gov/Safe-and-precise-landing-integrated-capabilities-evolution-splice (дата обращения 17.12.2024).
4. Крючков, Б.И. Опыт СССР и США в подготовке космонавтов и астронавтов к осуществлению посадки на Луну / Б.И. Крючков, Б.В. Бурдин, А.В. Солодников // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 1(34). – С. 86–103.
5. Рожнов, В.Ф. Основы теории инженерного эксперимента. – Москва: МАИ, 2007. – 356 с.

6. Патент № 2825116 Российская Федерация, МПК A61B 5/16 (2006.01), G16H 50/00 (2018.01), G06V 10/00 (2022.01), G10L 15/00 (2013.01). Способ мониторинга профессиональной надежности: № 2022124599: заявл. 19.09.2022: опубл. 20.08.2024 / Б.И. Крючков, А.Е. Спирин, А.И. Крылов, М.М. Харламов [и др.]. – 17 с.: ил. – Текст: непосредственный.
7. О бортовой подготовке космонавтов / Б.И. Крючков, А.С. Кондратьев, А.Е. Маликов, А.А. Анисимов // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 2(47). – С. 45–56.
8. Kulikov, I.N. Interpretation of the moon probing signals during landing using laser scanning systems / I.N. Kulikov, B.I. Kryuchkov. – Text: electronic // Geocontext: an annual interdisciplinary peer-reviewed scientific almanac. – 2023. – Vol. 11, No 1. – P. 5–16. – URL: https:// www.geo-context.org/index.php/geocontext/issue/view/11 (accessed 17.12.2024).
9. Виртуальное прототипирование «слепой посадки» аппаратов вертолетного типа для изучения принятия космонавтами решения о посадке лунного модуля в ручном режиме / Ю.А. Бубеев, В.М. Усов, Б.И. Крючков, А.А. Обознов [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2022. – Т. 56, № 1. – С. 32–46.
10. Tasks of professional activities of cosmonauts on the moon and in deep space: working out methods and technologies / M.M. Kharlamov, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov, P.P. Dolgov // GLEX-2021,7,4,3,x62705. – URL: https://iafastro.directory/iac/paper/id/62705/abstract-pdf/GLEX-2021,7,4,3,x62705.brief.pdf?2021-02-23 (accessed 17.12.2024).
11. Надежность оператора и системы «человек – машина» / М.Ю. Манзин, В.А. Масляков, А.И. Винник, А.Ю. Смирнов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Технические науки. – 2014. – Т. VII. – С. 97–101.
12. Cosmonauts with orbital flight experience will be more successful in performing Mars mission tasks / E.V. Fomina, B.I. Kryuchkov, T.B. Kukoba, A.P. Grishin [et al.] // IAC-21,A1,2,10,x65993. – URL: https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-21/A1/2/65993/ (accessed 17.12.2024).
13. Возможности исследования операторских качеств космонавта с использованием вертолета в интересах перспективных пилотируемых программ / П.Н. Власов, В.Н. Кислицин, М.М. Харламов, Б.И. Крючков [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 1(38). – С. 42–60.
14. Бурдин, Б.В. Анализ опыта создания специализированных технических средств подготовки космонавтов для отработки посадки на лунную поверхность / Б.В. Бурдин, Б.И. Крючков, Н.С. Греков // Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 13–15 ноября 2019 г. – С. 47–49.
15. Варшавский, П.Р. Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки решений на основе прецедентов / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин. – Текст: электронный // International Journal Information Models and Analyses: электронный журал. – Том. 2, № 4. – 2013. – P. 385–392. – URL: https://www.foibg.com/ijima/vol02/ijima02-04-p09.pdf (дата обращения 17.12.2024).
16. Реализация прецедентного модуля для интеллектуальных систем / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин, А.К. Мьо, З.Л. Кханкг // Программные продукты и системы. – 2015. – № 2(110). – С. 26–31.

17. Эксперименты с участием экипажей МКС в интересах осуществления полета на Марс / С.К. Крикалёв, Б.И. Крючков, А.А. Курицын, М.М. Харламов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – Вып. 6, ч. 2. – С. 278–287.
18. Рабинович, Б.А. Безопасность космонавта при посадочном ударе спускаемого аппарата о грунт. – Москва, 2014. – 278 с. – ISBN 978-5-212-01301-7.
19. Левантовский, В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. – Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 512 с.
20. Чунтул, А.В. Человек в вертолете: психофизиология профессиональной деятельности экипажей современных и перспективных вертолетов / А.В. Чунтул. – Москва: Когито-Центр, 2018. – 320 с.
21. Астронавта NASA госпитализировали после возвращения с МКС // Ren.tv: сайт. – URL: https://ren.tv/news/v-mire/1274482 (дата обращения 07.11.2024).
22. Назин, В.Г. Оценка уровней развития физических качеств космонавтов разных соматотипов / В.Г. Назин, Т.Б. Кукоба, К.С. Киреев // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 3(48). – С. 80–89.
23. Сериков, А.Е. Человеческое состояние и формы поведения // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия «Философия. Филология». – 2015. – № 2(18). – С. 73–98.
24. Козарук, В.В. Навигационные эргатические комплексы самолетов / В.В. Козарук, Я.Ю. Ребо. – Москва: Машиностроение, 1986. – 288 с.

REFERENCES

1. Kryuchkov, B.I. Statistical description of experiments on the simulation cosmonauts' professional activity before and after space missions on the ISS / B.I. Kryuchkov, A.S. Kondratiev // Manned Spaceflight. – 2021. – No 2(39). – P. 60–77.
2. Kryuchkov, B.I. Professional activity of crews of promising space complexes / B.I. Kryuchkov, M.M. Kharlamov, P.P. Dolgov // Kosmoscope. – 2024. – 281 p.
3. Safe and precise landing – integrated features. Evolution // Nasa: website. – URL: https: //www.nasa. gov / Safe-and-precise-landing-integrated-capabilities-evolution-splice (accessed 12.17.2024).
4. Kryuchkov, B.I. The experience of the USSR and the USA in training cosmonauts and astronauts for landing on the Moon / B.I. Kryuchkov, B.V. Burdin, A.V. Solodniko // Manned Spaceflight. – 2020. – No 1(34). – P. 86–103.
5. Rozhnov, V.F. Fundamentals of the theory of engineering experiment. – Moscow: Publishing House of MAI. – 2007. – 356 p.
6. Patent No 2825116 Russian Federation, IPC A61B 5/16 (2006.01), G16H 50/00 (2018.01), G06V 10/00 (2022.01), G10L 15/00 (2013.01). Method of monitoring professional reliability: No 2022124599: application 09/19/2022: published 08/20/2024 / B.I. Kryuchkov, A.E. Spirin, A.I. Krylov, M.M. Kharlamov [et al.]. – 17 p.: ill. – Text: direct.
7. Cosmonauts' on-board training / B.I. Kryuchkov, A.S. Kondratiev, A.E. Malikov A.A. Anisimov // Manned Spaceflight. – 2023. – No 2(47). – P. 45–56.

8. Kulikov, I.N. Interpretation of the moon probing signals during landing using laser scanning systems / I.N. Kulikov, B.I. Kryuchkov. – Text: electronic // Geocontext: an annual interdisciplinary peer-reviewed scientific almanac. – 2023. – Vol. 11, No 1. – P. 5–16. – URL: https:// www.geo-context.org/index.php/geocontext/issue/view/11 (accessed 17.12.2024).
9. Virtual prototyping of "blind landing" of helicopter-type devices for studying cosmonauts' decision-making on landing the lunar module in manual mode / Yu.A. Bubeev, V.M. Usov, B.I. Kryuchkov, A.A. Oboznov [et al.] // Aerospace and Environmental Medicine. – 2022. – Vol. 56, No 1. – P. 32–46.
10. Tasks of professional activities of cosmonauts on the moon and in deep space: working out methods and technologies / M.M. Kharlamov, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov, P.P. Dolgov // GLEX-2021,7,4,3,x62705. – URL: https://iafastro.directory/iac/paper/id/62705/abstract-pdf/GLEX-2021,7,4,3,x62705.brief.pdf?2021-02-23 (accessed 17.12.2024).
11. Reliability of the operator and the man-machine system // Eurasian Union of Scientists (EU). Technical Sciences. – 2014. – Vol. VII. – P. 97–101.
12. Cosmonauts with orbital flight experience will be more successful in performing Mars mission tasks / E.V. Fomina, B.I. Kryuchkov, T.B. Kukoba, A.P. Grishin [et al.] // IAC-21,A1,2,10,x65993. – URL: https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-21/A1/2/65993/ (accessed 17.12.2024).
13. Possibilities of studying the operator qualities of a cosmonaut with the help a helicopter for the benefit of future manned space programs / P.N. Vlasov, V.N. Kislitsin, M.M. Kharlamov, B.I. Kryuchkov [et al.] // Manned Spaceflight. – 2021. – No 1(38). – P. 42–60.
14. Burdin, B.V. Analysis of the experience of creating specialized technical means of training astronauts to practice landing on the lunar surface. Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference / B.V. Burdin, B.I. Kryuchkov, N.S. Grekov // Manned Spaceflight, Federal State Budgetary Organization "Gagarin R&T CTC", Star City, November 13–15. – 2019. – P. 47–49.
15. Varshavsky, P.R. The method of finding solutions in intelligent decision support systems based on precedents / P.R. Varshavsky, R.V. Alyokhin // International Journal Information Models and Analyses: electronic journal. – 2013. – Vol. 2, No 4. – P. 385–392. – URL: https://www.foibg.com/ijima/vol02/ijima02-04-p09.pdf (accessed 17.12.2024).
16. Implementation of a precedent module for intelligent systems / P.R. Varshavsky, R.V. Alekhine, A.K. Myo, Z.L. Khankg // Software products and systems. – 2015. – No 2(110). – P. 26–31.
17. Experiments with the participation of ISS crews in the interests of a flight to Mars / S.K. Krikalev, B.I. Kryuchkov, A.A. Kuritsyn, M.M. Kharlamov // Izvestiya Tula State University "Technical Sciences". – 2013. – Issue 6, part 2. – P. 278–287.
18. Rabinovich, B.A. Cosmonaut safety during the landing impact of the lander on the ground. – Moscow, 2014. – 278 p. – ISBN 978-5-212-01301-7.
19. Levantovsky, V.I. Mechanics of space flight in an elementary presentation. The main editorial office of the physics and mathematics literature. – Moscow: Nauka, 1980. – 512 p.

20. Chuntul, A.V. A man in a helicopter: the psychophysiology of professional activity of crews of modern and promising helicopters / A.V. Chuntul. – Moscow: Kogito-Center, 2018. – 320 p.
21. A NASA astronaut was hospitalized after returning from the ISS // Ren.tv: website. – URL: https://ren.tv/news/v-mire/1274482 (accessed 07.11.2024).
22. Nazin, V.G. Evaluation of the levels of physical qualities of cosmonauts of different somatotypes / V.G. Nazin, T.B. Kukoba, K.S. Kireev // Manned Spaceflight. – 2023. – No 3(48). – P. 80–89.
23. Serikov, A.E. Human condition and forms of behavior // Bulletin of the Samara Humanitarian Academy. The series “Philosophy. Philology”. – 2015. – No 2(18). – P. 73–98.
24. Kozaruk, V.V. Navigational ergatic aircraft complexes / V.V. Kozaruk, Ya.Y. Rebo. – Moscow: Mashinostroenie, 1986. – 288 p.