



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАДЕЛ 1960-1970-Х ВНОВЬ АКТУАЛЕН ЧАСТЬ 2*

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОСАДКОЙ
ПИЛОТИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ПОВЕРХНОСТЬ ЛУНЫ

В следующие десятилетия не исключаются полеты лунного взлетно-посадочного корабля (ЛВПК) и других пилотируемых космических аппаратов (ПКА) к Луне и к планетам Солнечной системы. Ввиду этого вновь становятся актуальными вопросы о роли экипажа в управлении посадочными аппаратами на различных этапах полета за пределами сферы земного притяжения при их высадке на поверхность Луны и Марса. Присутствие человека на борту ПКА целесообразно в целях управления движением посадочных модулей, несмотря на то, что 50-летнее развитие космической техники в нашей стране позволило полностью автоматизировать такие сложные операции, как стыковку на орбите искусственного спутника Земли, посадку автоматических станций на поверхность Луны и возвращение капсул с пробами грунта обратно на Землю. Участие человека в управлении особенно важно, когда необходимо принимать решения в сложной и неопределенной обстановке нештатных и аварийных ситуаций полета.

Наиболее сложные задачи приходится решать экипажу ПКА, совершающего посадку на поверхность Луны и планет, что связано с выбором точки посадки, уточнением ее в процессе посадочного маневра при заключительной коррекции траектории аппарата. При ограниченных энергетических возможностях траектория посадки будет «жесткой». Наличие же достаточных запасов топлива на ПКА делает возможным более широкое вмешательство

пилотов в управление, допускает использование ручного контура управления в качестве резервного.

Неоспорим вклад американских ученых и инженеров в решение проблемы ручного способа посадки на поверхность Луны лунного экспедиционного модуля LEM при реализации программы «Аполлон». В наземных исследованиях для уточнения управляемости посадочного аппарата, окончательного выбора параметров системы

*Часть 1 – в №2-2018 журнала «Авианорама»

управления, проверки оборудования и отработки техники посадки на Луну использовались динамические летные стенды Lunar Landing Research Vehicle (LLRV), Lunar Landing Training Vehicle (LLTV) и Lunar Landing Research Facility (LLRF) [12].

В СССР близкие по задачам исследования были выполнены коллективом сотрудников ОКБ-1, которыми проведен анализ систем автоматического, полуавтоматического и ручного управления. В частности, предложена система ручного управления, позволяющая пилоту осуществлять многократную коррекцию заданной траектории полета на основе использования информации о прогнозируемой точке посадки, обозначаемой на иллюминаторе корабля [3, 9].

Исследования и отработка посадки ПКА на поверхность Луны с помощью системы ручного управления не могли пройти мимо Летно-исследовательского института (ЛИИ), т.к. к 1960 году в институте был накоплен большой опыт летных испытаний аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой (вертолетов, экспериментального летательного аппарата «турболет», самолетов вертикального взлета и посадки (СВВП). Важную роль играло наличие высококлассных летчиков-испытателей, методического обеспечения для проведения летных исследований и испытаний по оценке и совершенствованию характеристик устойчивости и управляемости таких аппаратов на режимах посадки, а также создание и развитие принципиально новых экспериментальных средств с помощью специалистов опытно-конструкторского производства. Область исследований была ограничена ручным управлением посадкой ПКА, под которым в данном случае понималось изменение посадочной траектории пилотом с целью осуществления посадки в заданную точку при непрерывном (в случае необходимости) воздействии на систему управления и использовании визуальной информации и данных об основных параметрах движения ПКА. Решение

данной проблемы даже в столь ограниченной постановке потребовало максимального использования накопленного научно-технического задела и потенциала ЛИИ. Такой потенциал в институте имелся в части создания и использования средств полунатурного моделирования с пилотом (оператором) в контуре управления и, главным образом, путем создания и развития методов применения летающих лабораторий с изменяемыми характеристиками устойчивости и управляемости.

Большой объем стендовых и летных исследований ручного управления при моделировании посадки на лунную поверхность был выполнен в ЛИИ в течение декады 1964-1974 гг. Экспериментальные исследования были начаты по инициативе ОКБ-1 (ЦКБЭМ, ныне – РКК «Энергия») в интересах отработки управления посадочным лунным кораблем (ЛК) и проводились с непосредственным участием специалистов ОКБ-1 В.Н. Бранц, Ю.П. Яблонько, В.Д. Николаева, а также научными сотрудниками ЛИИ и летчиками-испытателями Е.Ф. Милютчевым, О.Г. Кононенко, А.И. Муха, А.И. Грищенко и др. Возможность проведения данных исследований была обусловлена созданием в ЛИИ экспериментальной базы, включающей моделирующие стенды, летающие лаборатории на базе самолета Ту-104А и, так называемые, вертолетные имитаторы (ВИ). В том числе создан динамический летный тренажер ВИ-4-ЛК, на котором была установлена поворотная кабина. Для решения задач предварительного определения параметров системы ручного управления и сравнительной оценки различных законов управления, в целях расширения области исследуемых режимов посадки первоначально был создан лабораторный моделирующий телевизионный стенд. Он включал вычислительный комплекс, кабину с рабочим местом оператора, телевизионную систему имитации визуальной обстановки на основе макета лунной поверхности и подвижной каретки с установленной на ней телевизионной камерой (рис. 1).

Рис. 1. Моделирующий телевизионный стенд и конструктивная схема прилунения посадочного ЛК, где: 1- подвижная каретка с телекамерой; 2-телевизионная система имитатора визуальной обстановки макета лунной поверхности

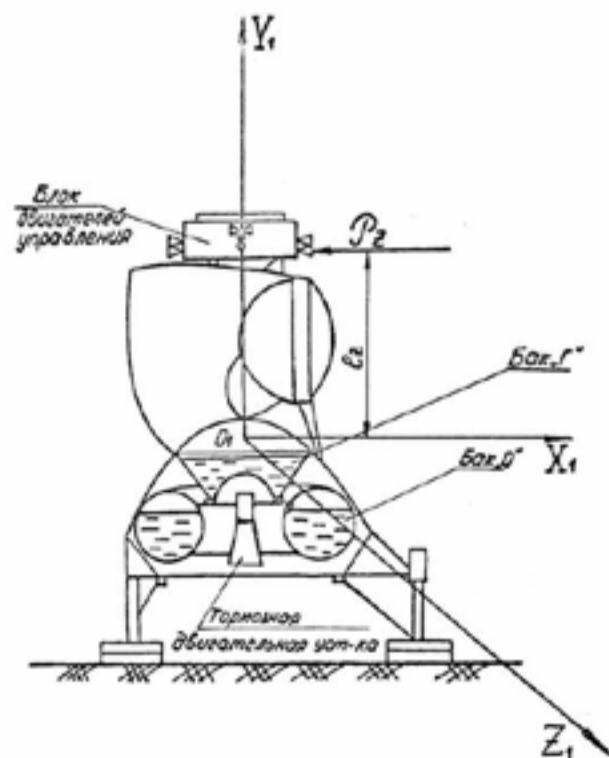
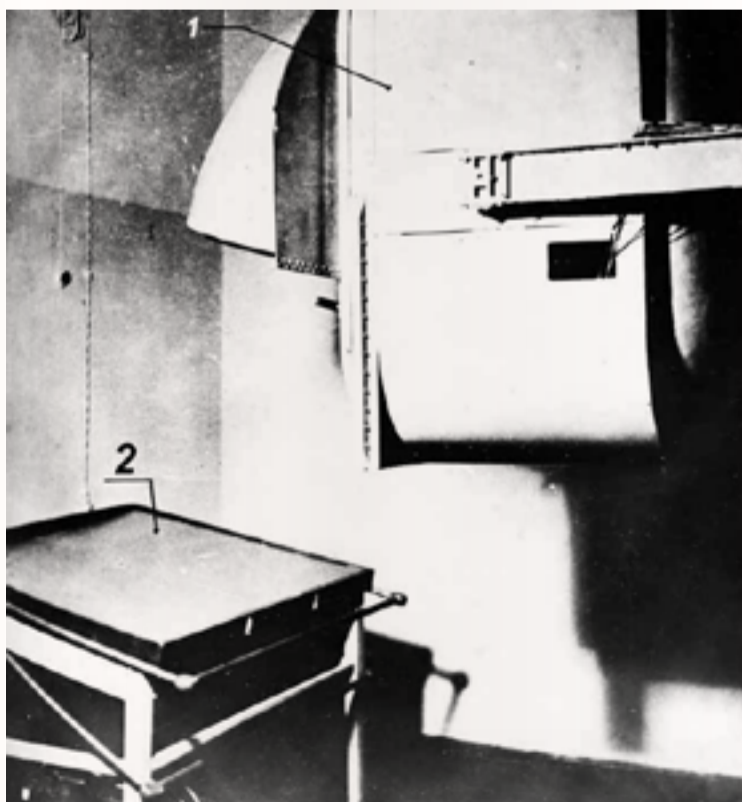




Рис. 2. На групповом фото справа налево: в первом ряду – конструктор «Турболета» А.Н. Рафаэлянц, летчик-испытатель Ю.А. Гарнаев, ведущий инженер по летным испытаниям А.И. Квашнин, во втором ряду инженеры Г.И. Кобец, Г.М. Лапшин

В создание данного статического стенда творческий вклад внесли ведущие специалисты института В.В. Горин, И.В. Потоцкий, Г.Н. Фаворова. Моделирование на телевизионном стенде позволило успешно сопровождать летные эксперименты и дать ответ на ряд принципиальных вопросов. Выполненные работы позволили получить значительный объем научных результатов по исследованию возможностей и отработке методов ручного управления посадкой ПКА на заключительном этапе посадки [1-5]. Успешному началу работ в значительной мере способствовал теоретический и практический опыт, накопленный специалистами ЛИИ (А.И. Квашнин, Ю.И. Снешко) при исследовании управляемости СВВП [6,7], изучении вертикально взлетающего аппарата типа «Турболет», испытанного в 1957-1960 гг. (рис.2 и 3). Как известно, проект «Турболета» был разработан ЛИИ в 1956 г.

Группой конструкторов-разработчиков динамического

Рис. 3. Вертикально взлетающий «Турболет» в Тушине и динамический стенд-тренажер разработки ЛИИ на базе турболета



стенда «Турболет» руководил начальник конструкторского бюро А.Н. Рафаэлянц, работавший в ЛИИ с 1948 г. К созданию и изготовлению «Турболета» были привлечены следующие специалисты ЛИИ: ведущий летчик-испытатель, Герой Советского Союза Ю.А. Гарнаев; ведущий инженер А.И. Квашнин; конструктор Г.М. Лапшин; инженер по эксплуатации Г.И. Кобец. Испытания «Турболета» как экспериментального летательного аппарата проводились в ЛИИ (1956-1959 гг.) летчиками-испытателями Ю.А. Гарнаевым, С.Н. Анохиным, Ф.И. Бурцевым, Г.Н. Захаровым (рис. 2). «Турболет» – это первый экспериментальный аппарат, который был создан ЛИИ для отработки принципов и определения требований к устойчивости и управляемости летательных аппаратов вертикального взлета и посадки, а также отработки принципиальных элементов системы управления СВВП: первой раздвижной тяги, струйных и газовых рулей.

Динамический летный стенд «Турболет» прошел все наземные и летные испытания, а также был продемонстрирован в полете летчиком-испытателем Ю.А. Гарнаевым на военно-воздушном параде в Тушине в 1958 г.

На первоначальном этапе исследований параметров системы ручного управления посадкой пилотируемого космического аппарата на лунную поверхность «Турболет» использовался для изучения динамики полета и управления пилотируемого спускаемого аппарата, имитирующего посадку на Луну. Однако также, как и его американские аналоги – динамические летные стенды LLRV и LLRF, «Турболет» имел плохую управляемость по крену и тангажу (рис. 3). Только высочайшее мастерство летчика-испытателя ЛИИ Юрия Александровича



Основные весовые и геометрические данные

Взлетный вес, кг	2340
Вес топлива, кг	340
Длина стенда, м	10
Размах стенда, м	10
Высота стенда, м	38
Двигатель турбореактивный	РД-9БЛ
Тяга двигателя на максимальном режиме, л.с.	2835

Гарнаева позволило провести в более чем 100 летних экспериментах необходимые исследования управления пилотируемым спускаемым аппаратом при имитации посадки без потери управляемости. Между тем, в 1968 г. американскому астронавту Нейлу Армстронгу в 21-м тренировочном полете на LLRV пришлось катапультироваться с высоты 60 м, после того как динамический летный стенд вошел в неуправляемое вращение. Аппарат LLRVN^{№1} разбился, и вместо него использовался другой учебный аппарат Lunar Landing Training Vehicle [12].

Наибольшие возможности для исследования системы ручного управления ПКА в условиях, приближенных к реальным, предоставляли вертолетные летающие лаборатории (ЛЛ) с изменяемыми динамическими характеристиками. В 1964-1966 гг. Л.М. Берестовым были разработаны теоретические и методические основы моделирования динамики полета аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой (прежде всего перспективных вертолетов) с помощью ЛЛ на базе серийных вертолетов [1]. Появился устойчивый термин – «вертолетный имитатор» (ВИ), под которым понимался серийный вертолет, оборудованный экспериментальной системой управления и рабочим местом второго пилота-испытателя.

В создание и применение вертолетных имитаторов значительный вклад внесли специалисты института Л.М. Берестов, Т.П. Шаповал, В.В. Горин, Н.И. Карпов [2]. Развитие и реализация метода моделирования динамики объектов с помощью вертолетных ЛЛ применительно к задаче посадки ПКА на лунную поверхность позволили создать два вертолетных имитатора на базе вертолетов Ми-4 (рис. 4). Именно для задач моделирования ручного управления ПКА и оценки точности десантирования космонавта на поверхность Луны летчики использовали вертолетные имитаторы лунного корабля «ВИ-ЛК», созданные на базе Ми-4. Отличительной особенностью ВИ были макеты лунных кабин, установленные в хвостовой части фюзеляжа. При этом в вертолетном имитаторе, получившем наименование «ВИ-4-ЛК», кабина была установлена в карданном подвесе (рис. 4 А и Б), обеспечивающем ее поворот относительно двух взаимно перпендикулярных осей (рис. 5). Поворот кабины был необходим для установления соответствия между углом отклонения моделируемого объекта от вертикальной оси и составляющими ускорения в горизонтальной плоскости, т.е. для моделирования лунной силы тяжести.

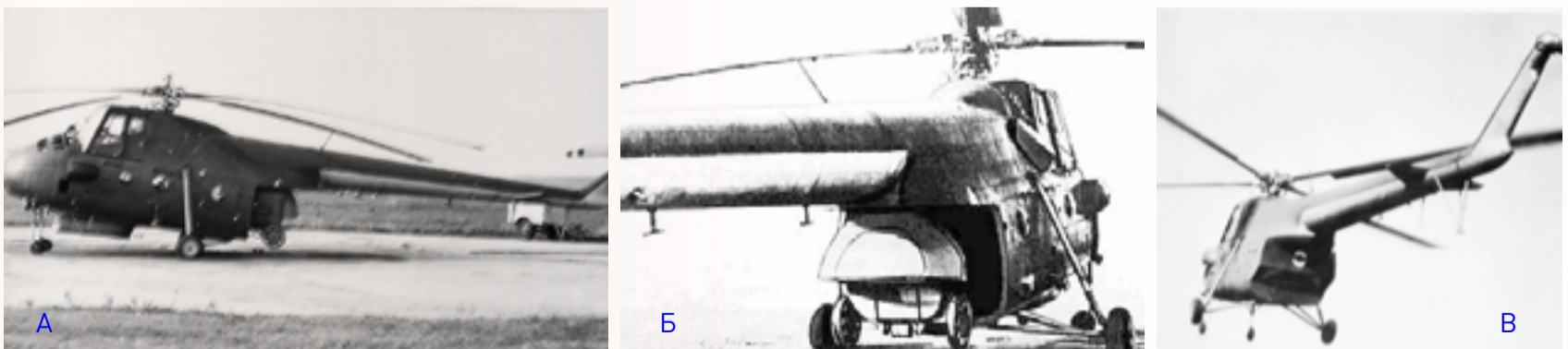


Дальнейшие исследования СВВП на летающей лаборатории Як-38ЛЛ в последующие годы (1983 г.)

Экспериментальная система обеспечивала управление вертолетом пилотом-экспериментатором, находящимся в поворотной кабине. Принципиальное значение здесь имело использование автоматической системы управления не только для моделирования характеристик ПКА, но и для управления движением вертолета. Система управления была отработана в наземных условиях и обеспечила полностью возложенные на нее функции в полетах. Сравнительные стендовые и летные исследования, в которых принимали участие летчики-испытатели института Е.Ф. Милютичев, О.Г. Кононенко, А.И. Грищенко, А.И. Муха и др., позволили получить и обобщить значительный объем научной информации в интересах создания системы ручного управления посадкой ПКА на поверхность Луны. Следует отметить, что практически на всех этапах проводимых исследований имело место тесное взаимодействие с головной организацией ОКБ-1.

Это позволило при создании экспериментальной базы использовать фактические конструктивные параметры проектируемого ПКА и проектные данные, необходимые для построения математической модели динамики полета экспериментального аппарата-имитатора лунного корабля «ВИ-4-ЛК». При выполнении наиболее сложных этапов работы, связанных с определением влияния динамики жидкости в баках на управление ПКА, а также с конструктивной проработкой приборов и органов управления для лунной кабины с использованием моделирующего телевизионного стенда, специально привлекались технические данные аппарата «ЛК-ЛЗ», предоставленные разработчиками из ЦКБЭМ. Сотрудники ЦКБЭМ (ОКБ-1) В.Н. Бранец, Ю.П. Яблонько, В.Д. Николаев активно

Рис. 4. Динамические вертолетные имитаторы лунного корабля «ВИ-ЛК» на базе серийного вертолета Ми-4 с подвижной (А, Б) и неподвижной (В) кабиной пилота.



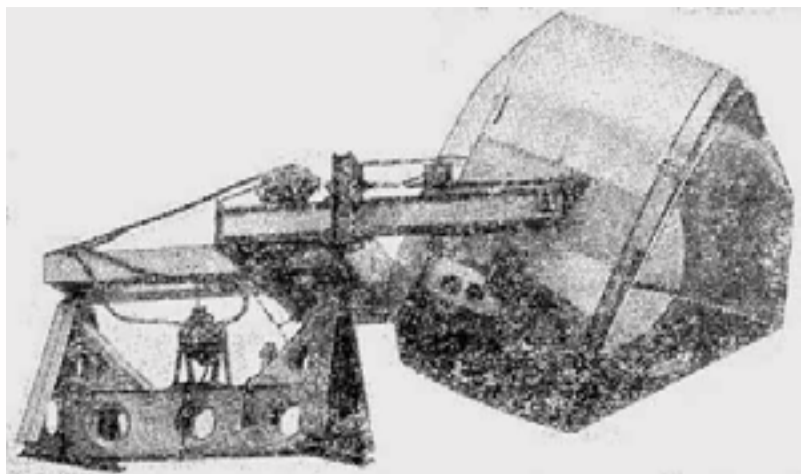


Рис. 5. Кабина в карданном подвесе для ВИ-4ЛК и блок-схема системы управления



участвовали в постановке летных экспериментов и анализе их результатов [3].

Среди работ, выполненных в тот период, можно также отметить разработку системы управления, позволяющей пилоту осуществлять многократную коррекцию траектории полета на основе использования информации о прогнозируемой точке посадки, обозначаемой на иллюминаторе корабля. Выполняемые в ЛИИ работы проводились в условиях отсутствия первоначальной информации о точных параметрических характеристиках системы управления лунного взлетно-посадочного корабля и, по этой причине, носили характер широких параметрических исследований.

Большое внимание уделялось параметрическим исследованиям, обобщение которых с детальным описанием результатов исследований на вертолетном имитаторе, проведенных под руководством Л.М. Берестова [1, 2], так же, как и целого ряда психофизиологических экспериментов, выполненных летчиками-испытателями с целью выбора оптимальных параметров системы ручного управления посадкой на поверхность Луны, представлены в диссертации В.В. Горина [4]. В настоящем докладе, приводятся основные результаты выполненных этими авторами экспериментов по выбору параметров системы ручного управления посадкой на поверхность Луны. При этом под ручным управлением понимается изменение пилотом траектории полета аппарата с целью осуществления посадки в выбранную точку путем непрерывного воздействия на систему управления с использованием информации о визуальной обстановке и основных

параметрах движения аппарата. Исследуемый заключительный этап траектории посадки ПКА (рис. 6) был наиболее близок к фазе вертикального спуска и прилунения американского аппарата LEM ($H \leq 150$ м, $X \leq 350$ м).

Угловое ускорение аппарата относительно оси Z_1 , развиваемое двигателями управления, является функцией управляющего воздействия X_v и параметров движения в плоскости X_1, O_1, Y_1 (рис. 6). В основном исследовались маневры в вертикальной плоскости, совпадающей с продольной осью аппарата, и режимы, близкие к висению относительно точки. Представление о параметрах, подлежащих варьированию, дает общий вид закона управления по каналу тангажа:

$$\varepsilon_z^{упр} = f(X_{B'}, \omega_z, \vartheta, V_x)$$

Основной оценкой рассматриваемых вариантов являлась субъективная оценка летчиков-экспериментаторов на основании шкалы, близкой к известной шкале Купера-Харпера. Задачей было определение областей удовлетворительных характеристик управляемости аппарата с выделением в них, при возможности, близких к оптимальным областей. В качестве характерного примера приведены данные из совместного исследования Л.М. Берестова, Т.П. Шаповал, В.В. Горина, Н.И. Карпова по оценке характеристик управляемости аппарата для закона управления, включающего только параметр ω_z (рис. 7). Стоит отметить достаточно хорошее совпадение результатов стендовых и летных исследований, наличие области оптимальных, по оценке летчиков, характеристик управляемости, а также существенно

Рис. 6. Лунный взлетно-посадочный корабль программы «ЛК-ЛЗ»



меньшие допустимые значения управляющего углового ускорения при моделировании лунных условий по сравнению с аппаратами вертикального взлета и посадки в условиях Земли. Последний результат связан с различием ускорения силы тяжести на Земле и Луне. Количественную оценку влияния фактора гипогравитации иллюстрируют результаты сравнительных исследований из диссертации В.В. Горина, приведенные на рис. 8.

Как следует из графиков на рис. 7 и рис. 8, нижняя граница управляющего углового ускорения для условий Луны примерно в 4 раза меньше, чем для земных условий. Физический смысл этого результата в достаточной степени был объяснен путем анализа замкнутого контура «пилот – объект управления» для задачи отслеживания координаты X. Были исследованы также другие виды закона управления и определены параметры системы управления, при которых пилоты-экспериментаторы давали наиболее высокую оценку характеристикам управляемости аппарата на рассмотренных режимах. Таким образом, проведенные в ЛИИ исследования показали эффективность принятой технологии, позволили определить вид оптимальных, в смысле взаимодействия с пилотом, законов управления, дали возможность оценить некоторые особенности, связанные с меньшим ускорением силы тяжести на Луне, и доказали возможность успешного выполнения посадки ПКА с использованием ручного управления.

Летными экспериментами была практически доказана эффективность принятой технологии и методов исследований ручного управления, а также проведена оценка особенностей полета, связанных с меньшим ускорением силы тяжести на Луне, определен вид близких к оптимальным, в смысле взаимодействия с пилотом, законов управления для систем автоматической стабилизации ПКА [2-5]. Экспериментальные исследования управления на режиме висения показали, что в условиях лунной силы тяжести потребуются меньшие управляющие угловые ускорения. Исследования параметров управления ПКА

для пропорциональной характеристики органов управления двигателей и закона управления по угловой скорости показали, что управление в лунных условиях может быть обеспечено при в 3 раза меньших управляющих угловых ускорениях, чем в условиях Земли на СВВП и в полете на «Турболете». Для системы управления угловым движением необходимой автоматизацией, обеспечивающей удовлетворительные характеристики управляемости ПКА на присущих посадочному маневру режимах полета, является использование в законе управления угловой скорости. Наиболее приемлемыми параметрами системы управления являются:

$$8 \leq \varepsilon_{z \max} \leq 15 \text{ град/с}^2; \omega_{z \max} = 15 \text{ град/с}; 3 \leq k_{\omega z} \leq 5 \text{ мм/(град/с)}.$$

Использование в системе управления сигнала угла улучшает характеристики управляемости ПКА, облегчая выполнение посадочного маневра. Управление по углу позволяет снизить управляющие ускорения и может считаться наиболее приемлемым из рассмотренных законов управления при следующих рекомендуемых параметрах системы управления:

$$5 \leq \varepsilon_{z \max} \leq 10 \text{ град/с}^2; k_{\omega z}^* = 2 \text{ с}; 2 \leq k_v \leq 4 \text{ мм/град}.$$

Использование в системе управления сигнала вертикальной составляющей скорости полета дает удовлетворительные характеристики управляемости аппарата при выполнении посадочного маневра, но этот закон управления значительно уступал управлению по углу как при моделировании на стендах, так и при пилотировании в летных испытаниях «ВИ-4-ЛК». Наилучшие характеристики управляемости в данном случае получены при параметрах:

$$5 \leq \varepsilon_{z \max} \leq 10 \text{ град/с}^2; k_{\omega z}^* = 2 \text{ с}; k_{v_x}^* = 4 \dots 6 \text{ град/(м/с)}; 2 \leq k_v \leq 4 \text{ мм/град}.$$

Исследование влияния возмущающих факторов на управление ПКА показывает, что возмущающие моменты от эксцентриситета вектора тяги тормозной двигательной установки не оказывают отрицательного влияния в слу-

Рис. 7. Области характеристик управляемости для закона управления с ω_z

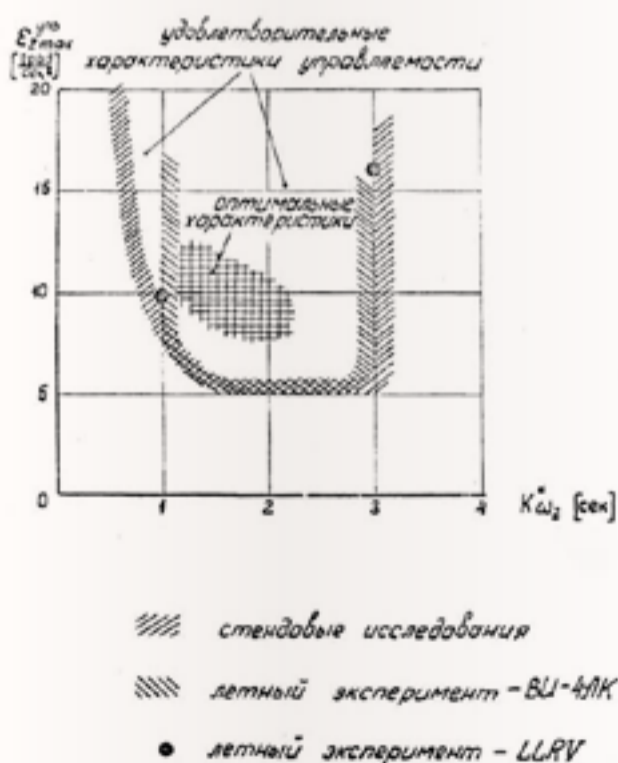
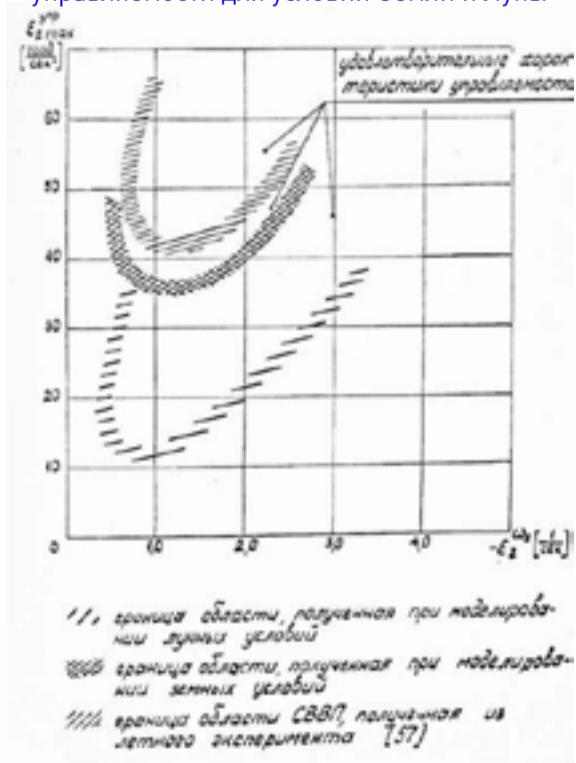


Рис. 8. Сравнительная оценка областей характеристик управляемости для условий Земли и Луны



чае, когда разность $|\varepsilon_{z \max}^{\text{упр}} - \varepsilon_{z0}^{\text{экс}}|$ не ниже допустимой для данного закона управления величины потребного углового ускорения, определенного для условий управления без возмущений. Влияние возмущений от движения жидкости в баках на управление посадкой при характерных для проекта «ЛК-ЛЗ» значениях коэффициентов, практически не сказывалось при $\varepsilon_{z \max}^{\text{упр}} \geq 8$ град/с² [5].

Выполнение посадки при ручном управлении вертикальным движением ПКА, обеспечивается при тяговооруженности тормозной двигательной установки (ТДУ) проекта «ЛК-ЛЗ», позволяющей получить максимальное вертикальное ускорение $a_{y \max} = 0,65$ м/с². Это значение было близко к минимуму, необходимому для СВВП в земных условиях тяготения. Использование в системе управления тягой ТДУ сигнала вертикальной скорости существенно улучшает управление вертикальным движением аппарата, позволяя также снизить $a_{y \max}$ до 0,32 м/с². Вполне удовлетворительное управление вертикальным движением ПКА обеспечивается при параметрах:

$$0,65 \leq a_{y \max} \leq 0,8 \text{ м/с}^2; \quad 0,2 \leq a_y^{\text{vy}} \leq 0,4 \text{ 1/с} \quad [5].$$

Маневренные возможности при ручном управлении ПКА и максимальном угле отклонения продольной оси ПКА от вертикали в 200 выше возможностей автоматической системы и обеспечивали допустимый перелет относительно заданной точки посадки, в диапазоне $50 \leq X_m \leq 200$ м [5].

Результаты психологических исследований летчиков-испытателей целиком подтвердили управляемость имитатора лунного корабля на заключительном этапе посадки в ручном режиме. Субъективные оценки пилота, характеризующие качество управления «ВИ-4-ЛК» с точки зрения удобства и легкости освоения пилотирования и сложности выполнения отдельных маневров, проводили по следующей пятибалльной шкале оценок: 1 – неприемлемо, аппарат на грани потери управляемости; 2 – неудовлетворительно, выполнение основной задачи невозможно; 3 – приемлемо в крайних случаях, неприятные ощущения при пилотировании; 4 – удовлетворительно, могут иметь место некоторые отрицательные характеристики; 5 – хорошо, включая оптимальные характеристики пилотирования. Психологические исследования различных законов управления ПКА на

режиме висения показали, по оценкам летчиков-испытателей, хорошую управляемость, т.к. в условиях моделирования лунной силы тяжести требуются меньшие управляющие угловые ускорения, чем в условиях Земли [5-7]. Однако операторская деятельность летчиков-испытателей при управлении была психологически крайне напряженной, с достижением предельной частоты пульса до 190 ударов в минуту, частоты дыхания – до 36-50 циклов в минуту, но полетное задание успешно выполнялось [7,8,10,11].

Более комфортными были эксперименты на динамическом летном тренажере на базе летающей лаборатории «Ту-104А», использовавшейся для моделирования десантирования космонавта из лунного корабля на поверхность в условиях гипогравитации, создаваемой в полете по параболической траектории Кеплера (рис. 9).

При полетах «Ту-104А», имитировавших рабочие операции по выходу на Луну из взлетно-посадочного корабля «ЛК-ЛЗ» в скафандре «Кречет-94» с массой в 106 кг в условиях имитации лунной силы тяжести, составляющей 1/6 от земной. В полетах удалось выполнить запланированные рабочие операции по отбору проб грунта и осуществить пешее перемещение по пересеченному рельефу со средней скоростью 2 км/ч, в том числе, кратковременно в течение 25-28 с бегом со скоростью до 5 км/ч.

При десантировании частота сердечных сокращений не превышала 160-180 ударов в минуту, а частота дыхания не превышала 30-36 дыханий в минуту [10,11]. Тяжелыми операциями по затратам сил, энергии и по психоэмоциональному напряжению испытателей являлись спуск с трапа макета лунной кабины «ЛК» и вставание с поверхности после падения. Для облегчения этих задач были предложены средства страховки из поручней по бокам трапа и крепившегося к ним, а также к скафандру двух фалов с карабинами для фиксации к поручням трапа, что не позволяло упасть при выходе из корабля [7,8,10]. Для устойчивого передвижения в пределах нескольких метров от «ЛК-ЛЗ» было рекомендовано использовать третью точку опоры в виде альпенштока. Также рекомендовалось применить луноход в качестве дублирующего транспорта для спасения, на случай необходимости перемещения космонавта со скоростью 2-4 км/ч к резервному кораблю на расстояние в 1-5 км [7,8,10]. Выполненные психофизио-

Рис. 9. Отработка устойчивой позы и бега при десантировании на поверхность Луны в скафандре «Кречет-94» на Ту-104А в условиях моделирования гипогравитации 1/6g при полете по параболической траектории Кеплера



логические летные эксперименты убедили, что большинство профессиональных летчиков, успешно адаптируясь к условиям гипогравитации, сможет вручную управлять посадкой на другое небесное тело, а затем десантироваться из корабля и передвигаться по поверхности в массивном скафандре в условиях лунной гравитации.

При испытаниях на «ВИ-4-ЛК» психофизиологическая стоимость операций управления посадкой имитатора лунного корабля приближалась к предельной величине и для достижения оптимальных параметров пилотирования потребовались многократные тренировочные полеты.

Проведенные исследования позволили:

- произвести выбор параметров, определяющих требования к энергоустановкам ПКА на заключительном этапе посадки:

- углового ускорения, развиваемого двигателями управления,

- вертикального ускорения, обеспечиваемого тормозной двигательной установкой.

- Определить параметры систем автоматической стабилизации, используемых для управления угловым и вертикальным движением аппарата.

- Определить маневренные возможности при ручном управлении посадкой ПКА.

- Оценить психофизиологическую стоимость операций ручного управления прилунением и десантирования космонавта из лунного корабля на поверхность.

При испытаниях на летающей лаборатории «Ту-104А»

было показано, что основные операции внекорабельной деятельности на лунной поверхности после десантирования из лунного корабля вполне выполнимы и являются менее напряженными, чем операции ручного управления имитатором лунного корабля «ВИ-4-ЛК». При испытаниях «ВИ-4-ЛК» было показано, что даже при ограниченных энергетических возможностях ТДС лунного корабля программы «ЛК-ЛЗ» траектория посадки не будет «жесткой», а вмешательство пилотов в управление должно быть минимальным.

Вместо заключения

Научно-технический задел исследований ЛИИ в 1960-1970-х по-прежнему актуален, поэтому недавно в своем выступлении перед журналистами начальник ЦПК Павел Власов сообщил следующее: «Планируем готовить космонавтов к посадке на Луну и Марс... Более востребованным может оказаться управление вертолетной техникой. Если мы планируем посадки на другие небесные тела, ту же Луну, Марс, то спуск и посадка будут происходить не по-самолетному, а вертикально. В этой связи мы подумываем о том, чтобы добавить в программу летной подготовки космонавтов тренировки на вертолетах» (<https://ria.ru/interview/20180410/1518207458.html?share-img=1518064537>).

Сергей ФИЛИПЕНКОВ,
редактор журнала «Авиапанорама»,
кандидат медицинских наук

Список литературы

1. Берестов Л.М. Два метода обеспечения подобия динамики движения летающего вертолетного имитатора и модели летательного аппарата. Труды ЛИИ №177, Жуковский, 1969, с.5-21.
2. Берестов Л.М., Горин В.В., Потоцкий И.В., Фаворова Г.Н., Филипенков С.Н. Исследования по выбору параметров системы ручного управления посадкой пилотируемого космического аппарата на поверхность Луны. Сборник тезисов первой совместной конференции Международной академии астронавтики – Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского «Космос для человечества». Королёв, 2008, с. 137-138.
3. Бранец В.Н., Яблонько Ю.П. Построение системы ручного управления посадкой космического корабля на безатмосферную планету. Информационный сборник АН СССР «Проблемы навигации и автоматического управления». Вып. 6, 1972, с. 15-34.
4. Горин В.В. Исследования по выбору некоторых параметров системы ручного управления посадкой космического аппарата на поверхность Луны. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., ЛИИ МАП, Жуковский, 1972, с. 4-161.
5. Горин В.В., Потоцкий И.В., Китаев-Смык Л.А., Филипенков С.Н. Применение летающих лабораторий в психофизиологических исследованиях управляемости летательного аппарата при динамическом моделировании космических операций. Шестой Международный Аэрокосмический Конгресс IAC'09. Тезисы докладов. 23-27 августа 2009 г. Москва, Россия. М., 2009, с. 194-195.
6. Квашин А.И., Снешко Ю.И. Обеспечение устойчивости и управляемости самолетов вертикального взлета и посадки на режимах висения и переходных режимах. Труды ЛИИ №164, Жуковский, 1969.
7. Клочков А.М. Физиологические исследования. Научно-технический сборник «Летные исследования и испытания». М.: «Машиностроение», 1993, с.337-342.
8. Мокеев В.Д., Филипенков С.Н. Физиологические исследования влияния измененной гравитации на организм летчика в лаборатории авиакосмической медицины ЛИИ им. М.М. Громова. (К 60-летию ГНЦ «Летно-исследовательский Институт им. М.М. Громова»). Очерки по истории авиакосмической медицины и космической биологии /под ред. академика О.Г. Газенко. Выпуск 2. М., Фирма «Слово», 2002, с. 161-166.
9. Скворцов М.М. Исследование вопросов оптимальности ручного управления летательным аппаратом при посадке на Луну. Дисс. к.т.н. ИМБП МЗ СССР, М., 1970.
10. Филипенков С.Н. Обзор физиологических и медицинских экспериментов по подготовке межпланетной экспедиции, выполненных в ЛИИ им. М.М. Громова с 1960 по 1974 годы. Труды XXX академических чтений по космонавтике. Москва, 25-27 января 2006 г. /Под общей редакцией А.К. Медведевой. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2006, с. 456-457.
11. Филипенков С.Н., Горин В.В., Потоцкий И.В., Рыков Г.А., Китаев-Смык Л.А. Применение летающих лабораторий в психофизиологических исследованиях космических операций. «Актуальные проблемы российской космонавтики» Материалы XXXIV академических чтений по космонавтике. Москва, 26-29 января 2010 г. /Под общей редакцией А.К. Медведевой. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2010, с. 597.
12. Шнобельман И.Я. Летающая кровать для лунной гонки. Новости космонавтики №4 (327), 2010, с. 62-65.