

ОПЫТ СССР И США В ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ И АСТРОНАВТОВ К ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ПОСАДКИ НА ЛУНУ

Б.И. Крючков, Б.В. Бурдин, А.В. Солодников

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; канд. техн. наук Б.В. Бурдин;
А.В. Солодников (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье анализируется опыт СССР и США по организации подготовки космонавтов и астронавтов к осуществлению посадки на Луну. Рассмотрены основные специализированные технические средства, с помощью которых решались задачи обучения и проведения тренировок экипажей. Показаны особенности создания и использования имитаторов лунного корабля для отработки посадки на поверхность Луны.

Ключевые слова: летающие тренажеры с технологией вертикального взлета и посадки, тренажер визуализации, вертолетные имитаторы лунного корабля, факторы космического полета, динамические тренажеры ручного управляемого спуска.

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. Solodnikov

The paper analyzes the experience of the USA and the USSR in organization of astro/cosmonaut training for landing on the Moon and considers the primary dedicated technical facilities to tackle tasks of instructing and training crews. The features of the creation and use of the lunar module simulators to train for lunar surface landing are shown.

Keywords: flying simulators with vertical take-off and landing technology, visualization simulator, helicopter type simulators of the lunar landing module, dynamic simulators of manual controlled descent.

В 60-е годы прошлого столетия две ведущие космические державы СССР и США разрабатывали проекты посадки пилотируемого космического корабля (ПКА) на Луну. В рамках этих проектов было необходимо решить целый ряд новых задач [1, 2, 6].

Реализация процесса посадки на Луну была сопряжена с рядом трудностей, вызванных, прежде всего, недостаточным знанием целого ряда факторов, непосредственно влияющих на процесс и безопасность посадки, в частности, таких, как рельеф и физико-механические свойства поверхности на месте посадки, освещенность и др. [2]. Кроме того, для обеспечения успешной посадки лунного модуля было необходимо выполнить ряд нестандартных требований, предъявляемых к процессу посадки: ограничение нагрузок на экипаж и конструкцию, обеспечение минимально допустимого клиренса между корпусом аппарата и посадочной поверхностью, устойчивость на поверхности и др. [3–11].

Ниже рассматриваются способы отработки технологий посадки на лунную поверхность и подготовки экипажей космических аппаратов в СССР и США.

Динамический исследовательский стенд для отработки лунной посадки LLRF

В наземных исследованиях, проводимых Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) США, для уточнения управляемости посадочного аппарата, окончательного выбора параметров системы управления, проверки оборудования и отработки техники посадки на Луну использовались динамические летные стенды Lunar Landing Research Facility (LLRF), Lunar Landing Research Vehicle (LLRV) и Lunar Landing Training Vehicle (LLTV).

Большая часть времени подготовки астронавтов к посадке на Луну прошла в Исследовательском центре Лэнгли на стендах LLRF, LLRV и LLTV. Этот исследовательский центр изначально создавался как исследовательский центр лунной посадки LLRF [12]. На LLRF проводились также исследования различных технических средств перемещения по Луне (ранцевого и платформенного типа) и отработка систем управления этими средствами [2].

Динамический исследовательский стенд LLRF состоял из стальной портальной конструкции с А-образной рамой высотой 73 метра, длиной 122 метра и шириной в основании 81 метр (рис. 1). В состав портальной мостовой схемы исследовательского стенда входила тросовая подвеска с системами сервоприводов. Вес системы равнялся примерно 590 кг. Она была рассчитана на грузы весом до 5444 кг и предназначалась для частичной компенсации (5/6) веса закрепленной на ней кабины лунного посадочного модуля LM или



Рис. 1. Исследовательский комплекс LLRF

другого исследуемого средства перемещения по Луне. Лунная гравитация имитировалась за счет смещения троса подвески относительно вертикали на угол, соответствующий углу наклона кабины, при котором вес ее равнялся примерно 1/6 части от общего веса кабины [12, 14].

Из-за отсутствия атмосферы на Луне, освещение на ее поверхности было необычным, астронавты почти не имели возможности видеть области, закрываемые поверхностными тенями. Чтобы обучить астронавтов справляться с этим световым эффектом, на базе исследовательского стенда LLRF НАСА создало динамический тренажер лунного посадочного модуля LM. Модуль крепился к порталной конструкции с помощью тросов.

Поверхность под ним была стилизована под лунный ландшафт. Часть тренировок проводилась в темное время суток при имитации фактических условий освещения во время посадки на Луну. Фотографии макета посадочного модуля, спускающегося на моделируемую лунную поверхность на комплексе LLRF, показаны на рисунке 2.

Данный комплекс был оснащен двумя сменными кабинами (вес кабины около 5400 кг): в одной пилот размещался сидя (примерно как в LLRV), в другой он стоял на месте командира, как в пилотируемом отсеке лунного модуля Apollo.

Методика моделирования была представлена двумя режимами работы. В первом режиме основные подъемные реактивные двигатели не задействовались. Их исключение позволяло использовать все бортовое топливо для отработки системы управления положением посадочного модуля. Непрерывная работа этих двигателей превышала 20 минут. Во втором режиме основные подъемные реактивные двигатели использовались для отработки заключительной части спуска, зависания и вертикальной посадки. Время полета в этом режиме, равное 2 минутам, превышало время, необходимое для того, чтобы лунный модуль выполнил заключительную фазу своего приземления с высоты около 150 футов (45,7 метра).

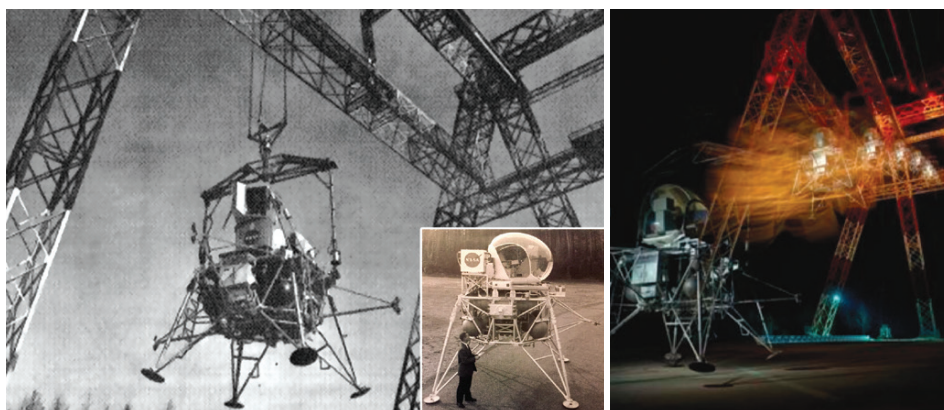


Рис. 2. LLRF с кабинами лунного посадочного модуля

Стенд LLRF имел некоторые недостатки, связанные с влиянием тросовой системы. Например, по реакции системы управления на выдачу команд астронавтом по изменению угла наклона кабины. Кроме того, не обеспечивалась полная свобода передвижения LM во всех трех направлениях.

Несмотря на это, стенд использовался для тренировок пилотов лунного модуля [14].

Летательные аппараты LLRV/LLTV с технологией вертикального взлета и посадки

В распоряжении командиров и пилотов лунного модуля основного и дублирующего экипажей главной задачей была отработка посадки на Луну [14]. Пилоты тренировались на модели лунного модуля исследовательского комплекса LLRF. В распоряжении командиров были более совершенные тренажеры, так называемые летательные аппараты для отработки лунных посадок.

В апреле 1964 года два экспериментальных летательных аппарата LLRV были испытаны в стационарном состоянии на устойчивую работу двигателей на специально предназначенном для этого стенде (без реального полета). После этого они были переправлены на авиабазу Эдвардс для проведения летных испытаний [15].

К середине 1966 года НАСА получило достаточно много информации по проведенным экспериментальным полетам и заключило контракт с фирмой Bell Aircraft Corporation на производство трех дополнительных тренажеров LLTV. В декабре 1966 года первый LLTV был доставлен в Хьюстон, в январе 1967 года – второй. Второй борт был модифицирован. В нем уже были установлены аналоги средства управления (включающие, в частности, трехосевой джойстик), которые впоследствии использовались в реальных посадочных лунных модулях. Кроме того, эргономика кабины также соответствовала штатной.

Все пять аппаратов (два испытательных – LLRV и три тренировочных – LLTV) применялись НАСА в качестве летающего тренажера лунного модуля [1]. Особенность этих машин заключалась в том, что их двигатели были настроены таким образом, чтобы можно было имитировать полет и посадку в условиях окололунного пространства с учетом гравитации. Для компенсации $1/6$ веса на земле летный тренажер должен быть наклонен на 28° . С помощью обычных вертолетов это сделать невозможно (рис. 3), поскольку многотонную машину было опасно накрывать при низкой высоте. А имитация посадки на Луну проводилась именно на небольшой высоте – около 60–90 метров над землей.

Конструкция летательного аппарата была выполнена из алюминиевых рам треугольной формы и имела четыре стойки шасси. Кабина пилота располагалась между двумя передними стойками, бортовая система управления – напротив, между двумя задними (рис. 4).

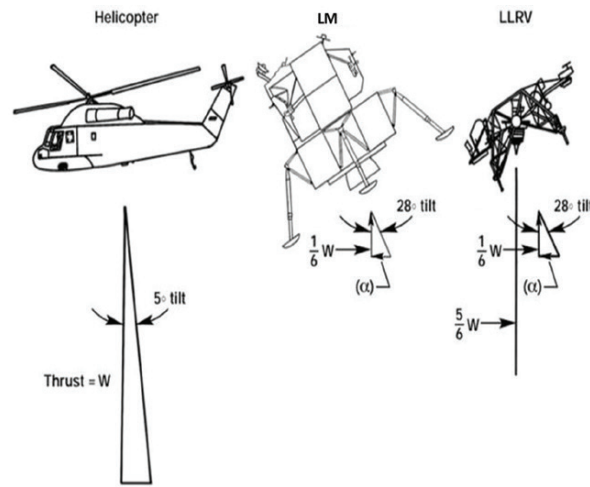


Рис. 3. Имитация лунной посадки на земле



Рис. 4. Общий вид аппарата LLRV

Для того чтобы достоверно воспроизвести условия, с которыми астронавтам придется столкнуться у поверхности Луны, летательные аппараты оснащались турбореактивными двигателями General Electric CF700-2V, способными развить тягу в 1,9 тонны. Двигатель был установлен вертикально в кардановом подвесе в центре летательного аппарата. Во время полета гироскопы удерживали реактивный двигатель вертикально независимо от положения летательного аппарата. Двигатель поднимал аппарат на необходимую высоту (потолок – 1,8 км), а затем во время спуска и мягкой посадки создавал постоянную тягу. Вектор тяги турбореактивного двигателя был ориентирован строго вниз в направлении земли, что позволяло компенсировать 5/6 веса всего тренажера и моделировать лунную силу тяжести.

Остальная часть веса конструкции тренажера при имитации лунного режима полета удерживалась в воздухе за счет двух реактивных ЖРД, работающих на перекиси водорода и развивавших тягу в 225 килограмм, что было эквивалентно тяге двигателей, устанавливаемых на лунном посадочном модуле. Управление креном, тангажом и рысканьем осуществлялось при помощи 16 небольших маневренных двигателей Нуро, связанных с кабиной пилота через электронную систему управления полетом. Для создания необходимого давления в топливной системе на основе пероксида водорода в двух основных и 16 рулевых двигателях использовался гелий под высоким давлением, находящийся в баках, установленных на шасси тренажера.

Кабина пилота находилась приблизительно на высоте 1,8 м над землей и на первых образцах летательного средства LLRV была открытой спереди, сверху и сзади. В модифицированной версии аппарата LLTV кабину изменили так, чтобы обеспечить пилоту такой же обзор, как и в реальном лунном модуле. Ручка использовалась для управления по крену и тангажу, а педали – для управления по рысканью. На небольшую панель управления был вынесен трекбол – средство управления работой реактивного двигателя, а также индикаторы вертикальной, горизонтальной и угловых скоростей, связанные с радиолокационным блоком. Простая система измерительных приборов передавала режимы работы двигателей, положение аппарата и данные по скорости на наземную приемную станцию для отслеживания параметров полета и последующего их изучения. Все органы управления – ручки, рычаги и другие элементы полностью повторяли элементы управления штатным лунным посадочным модулем. Максимальная длительность одного полета тренажера составляла 10 минут.

Для аварийного покидания летный тренажер был оснащен катапультируемым креслом. Катапульта могла выбросить пилота с поверхности земли на безопасную для раскрытия парашюта высоту 75 метров. Пилоту при этом приходилось испытывать перегрузку в 14 g.

6 мая 1968 года, тренируясь в качестве командира дублирующего экипажа «Аполлона-8», Н. Армстронг при выполнении своего 21 тренировочного полета едва не потерпел катастрофу на LLRV № 1. Аппарат вышел из-под контроля, когда произошел сбой в топливной системе маневровых двигателей Нуро. Армстронгу пришлось катапультироваться с 60-метровой высоты. Он отделался легкими ушибами, а LLRV разбился и сгорел [28] (рис. 5, 6).

Ниже приводятся основные летно-технические характеристики аппарата LLTV.

Летные характеристики LLTV:

- Максимальная скорость: 64 км/ч
- Практический потолок: 1800 м
- Скороподъемность: 18,3 м/с
- Тяговооруженность: 1,07

- Продолжительность полета: 10 мин

Технические характеристики:

- Экипаж: 1 человек
- Длина: 6,85 м
- Ширина: 4,6 м
- Высота: 3,05 м

Масса:

- пустого: 1138 кг
- нормальная взлетная: 1712 кг
- max взлетная: 1780 кг

Двигатель подъема: 1×ТРД General Electric CF-700-2V

- Тяга: 1 × 1905 кгс.

Основные двигатели: 2 × пероксид-водородных двигателя

- Тяга (регулируемая): 2 × 45,6 – 226,8 кгс.

Рулевые двигатели: 16 × пероксид-водородных двигателей.

Двигатели аварийной посадки: 6

- Тяга: 6 × 226,8 кгс.

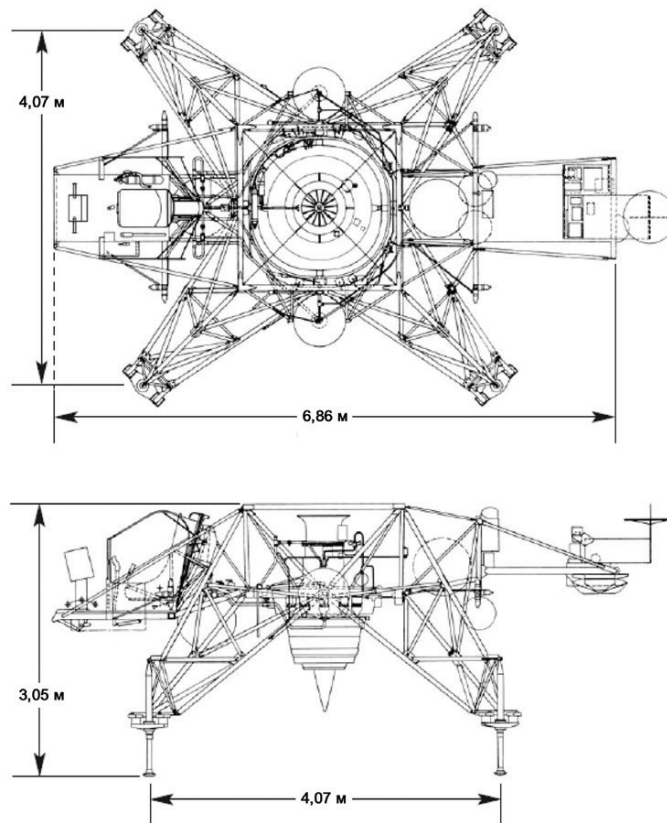


Рис. 5. Летящий тренажер с технологией вертикального взлета и посадки



Рис. 6. Летные испытания аппарата LLRV-1(вверху);
летчики-испытатели Маллик и Валкер, 1965 г. (слева)
и Армстронг перед LLRV-1, 1967 г. (справа)

На рисунке 7 показана типовая схема моделирования лунной посадки на LLRV. Пилот осуществлял набор до высоты 60 м, а затем выполнял спуск по заданной глиссаде, используя органы управления аппарата.

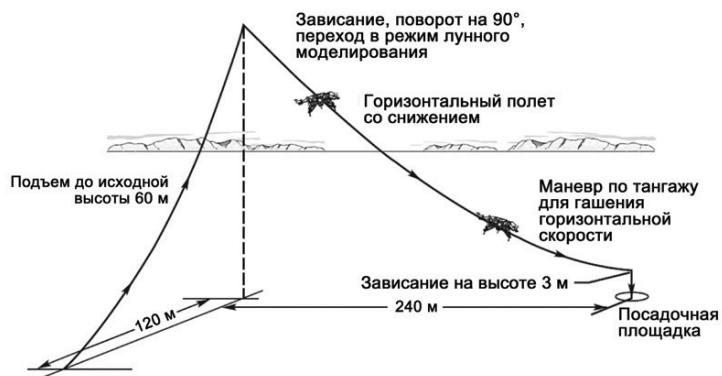


Рис. 7. Типовой профиль полета LLRV в режиме лунного моделирования

Режим лунного моделирования (последовательность операций):

- Специальной ручкой пилот запускал два ЖРД подъема.
- Компьютер определял текущий вес аппарата, и автомат снижал тягу ТРДД до 5/6 веса LLRV.
- Управляя тягой ЖРД и ориентацией аппарата, пилот выполнял заход на посадку.
- На высоте примерно 3 метра он гасил вертикальную и горизонтальную скорости, на секунду зависал и выполнял вертикальную посадку.
- Пилот вручную выключал двигатель.

Программа обучения астронавтов включала следующие этапы:

1. 100 часов налета на вертолете (отрабатывались в т.ч. навыки зависания, незнакомые пилотам обычных самолетов);
 2. 10 полетов на стационарном лунном посадочном исследовательском средстве LLRF, в котором на тросах была вывешена модель LM (отрабатывалась заключительная часть спуска, зависания и вертикальной посадки);
 3. 10 часов занятий на наземном аналоге LLTV (изучалась конструкция летающего тренажера и особенности его эксплуатации);
- Затем астронавты командировались на завод фирмы Weber для изготовления индивидуальной подушки (ложемента) на кресло. После этого выполнялись наземные тренировки на LLTV, в том числе с включением ТРДД и управляющих ЖРД;

4. Реальные полеты:

4.1 Первый этап обучения заканчивался за три месяца до старта к Луне. Первые восемь тренировок выполнялись в кабине без передней стенки с включением режима лунного моделирования, а следующие пять – с закрытой кабиной;

4.2 На втором этапе проводились 11 полетов для поддержания полученных навыков с таким расчетом, чтобы последний из них состоялся за 2–4 недели до начала лунной экспедиции.

Дублиеры командиров также обучались на LLTV, но их приоритет был ниже из-за недостатка аппаратов и финансовых средств. Дублер Армстронга Джеймс Ловелл вообще не летал на LLRV или LLTV, пока сам не стал готовиться в качестве командира Apollo 13.

Пилоты лунного модуля тренировались на LLRF, в полетах на LLTV они не участвовали.

Следует отметить, что подготовка к миссии Apollo включала в себя перекрестную подготовку астронавтов и пилотов-испытателей на летательных аппаратах типа LLRV и LLRF. Астронавты использовали для подготовки оба тренажера к посадке LM. По их мнению, они оба были необходимы для тренировок, поскольку LLTV обеспечивал большую высоту в начале маневра, а LLRF имел более реалистичные условия по моделированию местности и освещения.

Во время первой посадки на Луну 20 июля 1969 года Н. Армстронг обнаружил, что автоматика ведет корабль «в кратер размером с футбольное поле», усыпанный крупными камнями. На высоте 140 м он взял управление на себя и, перелетев кратер, выполнил посадку на ровном участке. Это был маневр, который отрабатывался на LLTV. После посадки топлива оставалось всего на 18 секунд полета на номинальной тяге. Все последующие высадки на Луну также выполнялись в ручном режиме.

Н. Армстронг, как и другие астронавты, являлся горячим сторонником обучения на свободнолетающем тренажере. Такие тренировки он называл «страховым полисом», который необходимо приобретать для обеспечения безопасности.

Во время тренировочных полетов 3 из 5 летных тренажеров разрушились: LLRV № 1 в мае 1968 года и два LLTV в декабре 1968 года и январе 1971 года. Два происшествия, возникшие в 1968 году, примерно за год до будущего прилунения первых астронавтов, не помешали руководителям проекта продолжить подготовку к высадке на Луну. Последние два оставшихся летательных аппарата (LLRV № 2 и LLTV № 3) находятся в настоящее время в музеях США.

Тренажер визуализации Lunar Orbit and Let-Down Approach Simulator

Одним из важных этапов подготовки посадки на Луну явилось использование НАСА специального тренажера визуализации Lunar Orbit and Let-Down Approach Simulator (LOLA). Проект LOLA или проект перехода с лунной орбиты на посадку был реализован в Научно-исследовательском центре Лэнгли.

Имитатор кабины лунного посадочного модуля был оборудован внутренней системой телевидения и четырьмя большими масштабными фрагментами части лунной поверхности (рис. 8, 9).

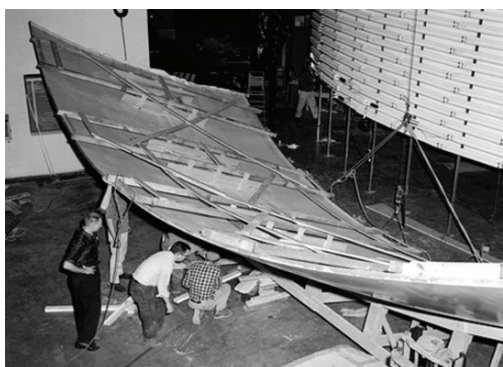


Рис. 8. Монтаж деталей поверхности симулятора LOLA

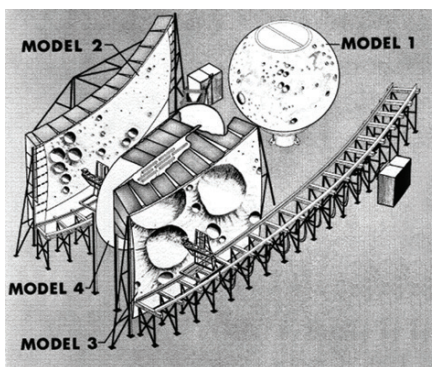


Рис. 9. Масштабные фрагменты части лунной поверхности

Лунные поверхности были воспроизведены путем тщательной ручной росписи и аэрографии с использованием подробных фотографий, сделанных ранее в рамках различных лунных миссий (рис. 10). На тренажере визуализации астронавты могли видеть место посадки с различных высот по мере сближения с Луной [13]. Программа обучения астронавтов на тренажере LOLA составляла 100 часов (рис. 11). Каждый из астронавтов провел на тренажерах (LLRF, LLTV и LOLA) более 400 часов, отрабатывая все возможные нюансы миссий и нештатные ситуации [16].

9 июня на мыс Канаверал была доставлена уточненная фотомозаика района посадки с тем, чтобы Армстронг и Олдрин могли на тренажере отрабатывать заход на посадку и прилунение. Геология поверхности была второстепенным фактором при выборе посадочных площадок для LM, первостепенное внимание уделялось безопасности экипажа. Все места посадки планировались в узкой экваториальной полосе, в районе лунных базальтовых равнин.

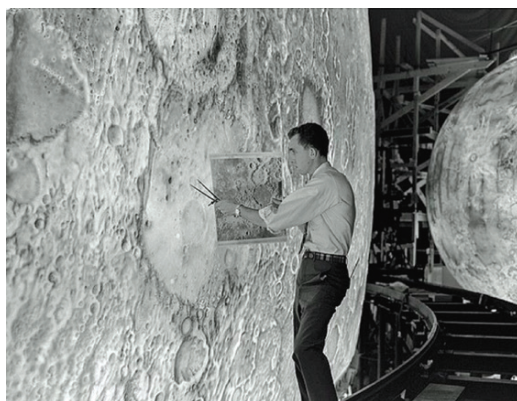


Рис. 10. Ручная роспись макета поверхности



Рис. 11. Астронавты часами изучали особенности поверхности Луны на тренажере LOLA

Подготовки космонавтов к осуществлению посадки на Луну

В СССР также имелись разработки летающих тренажеров с технологией вертикального взлета и посадки. Официально советские аппараты назывались турболетами (рис. 12). Причем, появились они гораздо раньше, чем в США. В нашей стране они были разработаны в 1955 году, а в США – только в 1963 году. В отличие от американских тренажеров, которые использовались для подготовки людей к высадке на Луну, отечественные турболеты применялись для отработки технологий вертикального взлета и посадки штурмовика ЯК-38 на палубу авианосца [17].



Рис. 12. Динамический стенд-тренажер разработки ЛИИ МАП СССР на базе турболета (слева), ведущий летчик-испытатель Ю.А. Гарнаев (справа)

В 1965 году в Центре подготовки космонавтов (ЦПК) был образован отдел подготовки космонавтов для полета на корабле 7К-Л1. В мае 1966 года Военно-промышленная комиссия утвердила первую группу гражданских космонавтов при Центральном конструкторском бюро экспериментального машиностроения (ЦКБЭМ), а в феврале 1967 года в ЦПК была окончательно сформирована группа для облета Луны.

К 1960 году в Летно-исследовательском институте (ЛИИ) МАП СССР был накоплен большой опыт летных испытаний аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой. В течение 1964–1974 гг. в этом институте по инициативе ОКБ-1 (ЦКБЭМ, ныне – ПАО «РКК «Энергия») были проведены экспериментальные исследования в интересах отработки управления посадочным лунным кораблем (ЛК). Подготовка на реальных тренажерах корабля 7К-Л1 началась только в январе 1968 года. Позже в рамках программы «Л-3» командиры отрабатывали управление посадкой на Луну на динамическом тренажере, созданном на базе вертолета.

В сентябре 1966 года по приказу генерала Н.П. Каманина была сформирована группа Л-3, в которую вошли: А. Леонов (командир группы), Ю. Гагарин, А. Николаев, В. Горбатко, Е. Хрунов и В. Шаталов. С октября по декабрь 1966 года А. Леонов и В. Шаталов на динамическом тренажере на базе вертолета Ми-4 отрабатывали процесс посадки ЛК на поверхность Луны (рис. 13).

Методика тренировки заключалась в следующем: полет выполнялся с инструктором, вслепую для космонавта, поскольку иллюминаторы перед ним были закрыты шторкой. Инструктор выбирал площадку для посадки, после чего снижал вертолет в режиме авторотации по кривой, близкой к той, по которой должен был спускаться лунный корабль. На высоте около 70 метров инструктор открывал шторку, и космонавт должен был выбрать место, на которое можно было произвести посадку. В распоряжении космонавта было всего 30–40 секунд, исходя из запасов топлива у штатного лунного

корабля. В. Шаталов выполнил 6 посадок, А. Леонов – 9. По программе занятий предполагалось выполнить 40–50 посадок. Однако из-за высокой опасности тренировок их вскоре прекратили.

Для решения задач определения параметров системы ручного управления и сравнительной оценки различных законов управления, в целях расширения области исследуемых режимов посадки был специально создан лабораторный моделирующий телевизионный стенд (рис. 14).



Рис. 13. А. Леонов в кабине Ми-4

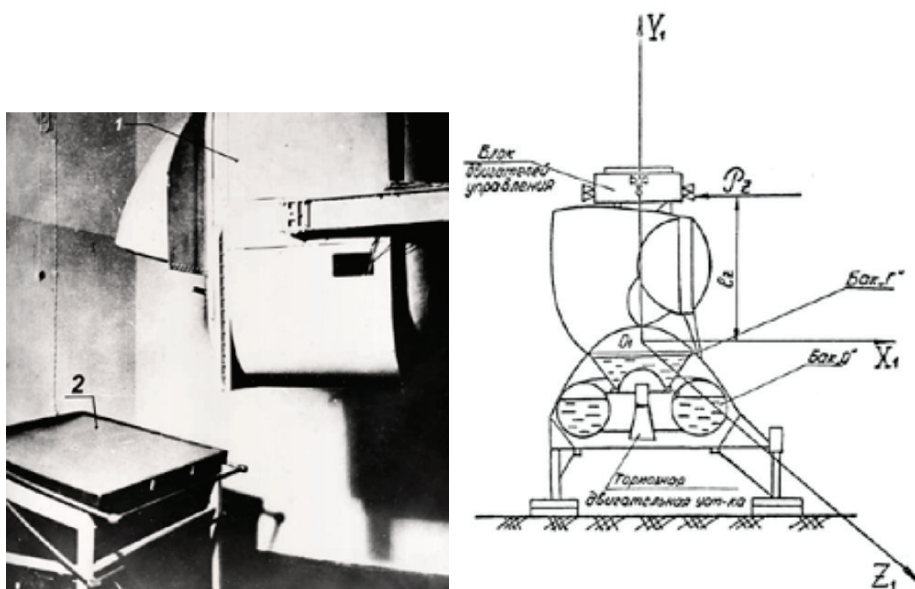


Рис. 14. Моделирующий телевизионный стенд и схема прилунения посадочного ЛК:
 1 – подвижная каретка с телекамерой; 2 – телевизионная система имитатора визуальной обстановки макета лунной поверхности

Стенд включал: вычислительный комплекс, кабину с рабочим местом оператора, подвижную каретку с установленной на ней телевизионной камерой (1) и телевизионную систему имитации визуальной обстановки на основе макета лунной поверхности (2).

Следующим шагом стало создание динамических имитаторов посадки на Луну на базе вертолетов Ми-4 [19]. Для моделирования ручного управления ПКА и оценки точности десантирования на поверхность Луны использовались вертолетные имитаторы лунного корабля «ВИ-ЛК», в которых кабина устанавливалась в хвостовой части фюзеляжа вертолета в кардановом подвесе, обеспечивающим ее поворот относительно двух взаимно перпендикулярных осей (рис. 15) для моделирования лунной силы тяжести.

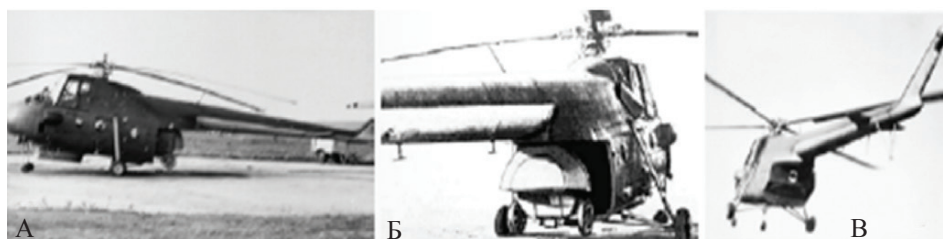


Рис. 15. Динамические вертолетные имитаторы лунного корабля «ВИ-ЛК» на базе серийного вертолета Ми-4 с подвижной (А, Б) и неподвижной (В) кабинами пилота

Экспериментальная система обеспечивала управление вертолетом пилотом-экспериментатором (космонавтом), находящимся в поворотной кабине, размещенной в кардановом подвесе. Принципиальное значение в данной схеме имело использование автоматической системы управления не только для моделирования характеристик ПКА, но и для управления движением вертолета (рис. 16).

Проведенные в ЛИИ исследования показали эффективность принятой технологии, позволили определить вид оптимальных, в смысле взаимодействия с пилотом, законов управления, дали возможность оценить некоторые особенности управления, связанные с меньшим ускорением силы тяжести на Луне. Была подтверждена возможность успешного выполнения посадки ПКА на Луну с использованием ручного управления [18–22].

Успешное взаимодействие с головной организацией ОКБ-1 позволило ЛИИ при создании экспериментальной базы использовать в качестве исходных данных фактические характеристики проектируемого ПКА для построения математической модели динамики полета экспериментального аппарата-имитатора лунного корабля «ВИ-4ЛК». При выполнении работ, связанных с разработкой приборов и органов управления для имитатора лунной кабины, использовались технические данные аппарата «ЛК-ЛЗ», предоставленные разработчиками из ЦКБЭМ.



Рис. 16. Кабина в кардановом подвесе для «ВИ-4ЛК» и блок-схема системы управления

Среди работ, выполненных в тот период, можно также отметить разработку системы управления, позволяющей пилоту осуществлять многоразовую коррекцию траектории полета на основе использования информации о прогнозируемой точке посадки, обозначаемой на иллюминаторе корабля.

О возможности использования современных вертолетов для отработки навыков посадки на Луну в режиме ручного управления

Как показывает опыт подготовки космонавтов СССР и астронавтов США, вертолеты являются необходимым техническим средством для получения навыков управления спуском посадочного аппарата (модуля) на лунную поверхность. К наиболее важным тренируемым навыкам можно отнести: спуск по заданной глиссаде; выбор безопасного места посадки в условиях ограниченного времени для принятия решения; посадку на поверхность.

В настоящее время в целях отработки задач посадки на Луну могут быть использованы легкие многоцелевые вертолеты типа «Робинсон», «Еврокоптер».

Они легко и непринужденно управляются (имеют двойное управление – для испытателя или обучаемого и инструктора). Являются всепогодными, комфорт в кабине обеспечивается как летом, так и зимой. Летно-технические характеристики (скорость, высота полета и др.), надежность делают их привлекательными для использования в экспериментах и обучения. Высокая степень остекления кабины и компактность фюзеляжа обеспечивают удобство приземления на поверхность в условиях ограниченной посадочной площади.

Выводы

1. При реализации лунных программ в нашей стране (Л1, Л3) и за рубежом («Аполлон») получен большой опыт создания специализированных средств для отработки посадки человека на Луну. Этот опыт целесообразно учитывать при реализации отечественной перспективной программы пилотируемых полетов.

2. Ключевыми специализированными компонентами, обеспечивающими отработку посадки человека на Луну, являются: специальные вертолетные имитаторы лунного корабля; летательные аппараты для отработки посадки с учетом пониженной гравитации; имитаторы кабины лунного посадочного модуля с визуализацией лунной поверхности на всем участке спуска.

3. Новые специализированные технические комплексы для подготовки космонавтов к посадке на Луну должны включать как летательные аппараты, так и наземные тренажеры, построенные с учетом современных достижений науки и техники (применение современных вертолетных имитаторов, электронных мобильных тренажеров, современных технологий обезвешивания, имитаторов моделирования посадки с учетом физиологических факторов космического полета, высокоточных карт лунной поверхности, новых информационных технологий визуальной и дополненной реальности и др.).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Под науч. ред. В.П. Легостаева и В.А. Лопоты. – М.: РКК «Энергия», 2011. – 584 с.
- [2] Arslan H., Batiste S., Sture S. Engineering properties of lunar soilsimulant // *Journal Aerospace Engineering*. – 2010. V. 23. No 1. – pp. 70–83.
- [3] Desai P.N., Lyons D.T. Entry, descent and landing operations analysis for the genesisentry capsule // *Journal Spacecraft and Rockets*. – 2008. V. 4. No 1. – pp. 27–32.
- [4] Sun Z., Zhung H., Wu X., Ma J. Mission analysis of a lunar soft lander // *Spacecraft-Engineering*. – 2010. V. 19. No 5. pp. 12–16.
- [5] Антонова Н.П., Брюханов Н.А., Четкин С.В. Средства посадки пилотируемого транспортного корабля нового поколения // *Космическая техника и технологии*. – 2014. – № 4(7). – С. 21–30.
- [6] Баженов В.И., Осин М.И. Посадка космических аппаратов на планеты. – М.: Машиностроение, 1978. – 159 с.
- [7] Geller D.K., Christiansen D.R. Linear covariance analysis for powered lunar descent and landing // *Journal Spacecraft and Rockets*. – 2009. V. 46. No 6. pp.1231–1248.
- [8] Laurenson R.V., Melliere R.a., McGchee J. analysis of legged landers for the survivable soft landing of instrument payloads // *aala Paper*. – 1983. No 72–371. p. 6.
- [9] Leonard H.W., Walton W.C., Herr R.W. Studies of touchdown stability jf lunar landing vehicles // *Journal of Spacecraft and Rockets*. – 1964. V. 1. No 5. pp. 552–556.
- [10] Lin Qing, Kang Zhiyu, Ren Jie, Zhao Qilo, Nie Hong Investigation on soft landing impact test of scale lunar lander model // *Journal Vibroengineering*. – 2014. V. 16. No 3. pp. 1114–1139.
- [11] Zeng F., Yang J., Zhu W., Chen T. etc. Research of landing impact attenuation performance of lunar lander // *Spacecraft Engineering*. – 2010. V. 19. No 5. pp. 43–49.
- [12] Donald E. Hewes. Studies of piloting problems of one-man flying units operated in simulated lunar grclvity.// Presented at the Second National Conference on Space Maintenance and Extravehicular Activities Las Vegas, Nevada August 6–8, 1968.
- [13] By A.W. Vogeley. Piloted space-flight simulation at langley research center.// Presented at the American Society of Mechanical Engineers 1966 Winter Meeting. New York, New York November 27 – December 1, 1966.

- [14] 1968.05.06 – Apollo Lunar Landing Research Vehicle No. 1 Crashed at Ellington Air Force Base Encyclopedia Astronautica.
- [15] Compton, William David Where No Man Has Gone Before: A History of Apollo Lunar Exploration Missions. – p. 139. NASA (1989).
- [16] Lindsay, Hamish Apollo 11. The First Men On The Moon. A Tribute to Honeysuckle Creek Tracking Station.
- [17] Берестов Л.М. Два метода обеспечения подобия динамики движения летающего вертолетного имитатора и модели летательного аппарата. Труды ЛИИ № 177, Жуковский, 1969. – С. 5–21.
- [18] 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». Королев. – 2008. – С. 137–138.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Бурдин Б.В., Крючков Б.И., Греков Н.С. Анализ опыта создания специализированных технических средств подготовки космонавтов для отработки посадки на лунную поверхность. Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», ФГБУ «НИИ ЦПК», Звездный городок, 13–15 ноября 2019 г. – С. 47–49.

REFERENCES

- [1] The Moon as a step to technologies for Solar system exploration / Edited by V.P. Legostaev and V.A. Lapota. – Moscow: RSC Energia, 2011. – p. 584.
- [2] Arslan H., Batiste S., Sture S. Engineering properties of lunar soil simulant // Journal Aerospace Engineering. – 2010. – V. 23. No 1. – pp. 70–83.
- [3] Desai P.N., Lyons D.T. Entry, descent and landing operations analysis for the genesis entry capsule // Journal Spacecraft and Rockets. – 2008. V. 4. No 1. pp. 27–32.
- [4] Sun Z., Zhung H., Wu X., Ma J. Mission analysis of a lunar soft lander // Spacecraft Engineering. – 2010. V. 19. No 5. pp. 12–16.
- [5] Antonova N.P., Bryukhatov N.A., Chiotkin S.V. Landers for new-generation manned spacecraft // Space Engineering and Technology. – 2014. – No 4(7). – pp. 21–30.
- [6] Bazhenov V.I., Osin M.I. Spacecraft's landing on planets. – Moscow: Mashinostroyeniye, 1978. – p. 159.

- [7] Geller D.K., Christiansen D.R. Linear covariance analysis for powered lunar descent and landing // *Journal of Spacecraft and Rockets*. – 2009. V. 46. No 6. pp.1231–1248.
- [8] Laurenson R.V., Melliere R.a., McGhee J. analysis of legged landers for the survivable soft landing of instrument payloads // *aaIa Paper*. – 1983. No 72–371. p. 6.
- [9] Leonard H.W., Walton W.C., Herr R.W. Studies of touchdown stability of lunar landing vehicles // *Journal of Spacecraft and Rockets*. – 1964. V. 1. No 5. pp. 552–556.
- [10] Lin Qing, Kang Zhiyu, Ren Jie, Zhao Qilo, Nie Hong Investigation on soft landing impact test of scale lunar lander model // *Journal Vibroengineering*. – 2014. V. 16. No 3. pp. 1114–1139.
- [11] Zeng F., Yang J., Zhu W., Chen T. etc. Research of landing impact attenuation performance of lunar lander // *Spacecraft Engineering*. – 2010. V. 19. No 5. pp. 43–49.
- [12] Donald E. Hewes. Studies of piloting problems of one-man flying units operated in simulated lunar gravity.// Presented at the Second National Conference on Space Maintenance and Extravehicular Activities Las Vegas, Nevada August 6–8, 1968.
- [13] By A.W. Vogeley. Piloted space-flight simulation at Langley research center.// Presented at the American Society of Mechanical Engineers 1966 Winter Meeting. New York, New York November 27 – December 1, 1966.
- [14] 1968.05.06 – Apollo Lunar Landing Research Vehicle No. 1 Crashed at Ellington Air Force Base Encyclopedia Astronautica.
- [15] Compton, William David Where No Man Has Gone Before: A History of Apollo Lunar Exploration Missions p. 139. NASA (1989).
- [16] Lindsay, Hamish Apollo 11. The First Men On The Moon. A Tribute to Honeysuckle Creek Tracking Station.
- [17] Berestov L.M. Two methods for ensuring the similarity of the dynamics of motion of a flying helicopter simulator and a model of the aircraft. *Proceedings of LII № 177, Zhukovsky, 1969*. – pp. 5–21.
- [18] Berestov L.M., Gorin V.V., Pototsky I.V., Favorova G.N., Filipenkov S.N. Studies on selection of some parameters of the system of manually controlled landing on the lunar surface. // *Abstracts of the First Joint Conference of the International Academy of Astronautics – Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky: “Space for humanity”*. Korolyov, 2008. – pp. 137–138.
- [19] Branets V.N., Yablonko Yu.P. System of manually controlled landing on the surface of an atmosphereless planet. *Information kit of the Academy of Sciences of the USSR “Problems of Navigation and Automatic Control”*. – Issue. 6, 1972. – pp. 15–34.
- [20] Gorin V.V. Studies on selection of some parameters of the system of manually controlled landing on the lunar surface. Thesis for the degree of Ph.D., LII MAP, Zhukovsky, 1972. – pp. 4–161.
- [21] Gorin V.V., Pototskiy I.V., Kitaev-Smyk L.A., Filipenkov S.N. Application of flying laboratories in psychophysiological studies of vehicle controllability in dynamic modeling of space operations. *The 6th International Aerospace Congress IAC’09. Abstracts. August 23–27, 2009. Moscow, Russia. Moscow. 2009*. – pp. 194–195.
- [22] Burdin B.V., Kryuchkov B.I., Grekhov N.S. Analyzing the experience of creating specialized training facilities for practicing landing on the lunar surface / *Proceedings of the XIII International Research-to-Practice Conference “Manned Space Flights” Yu.A. Gagarin Research&Test CTC, Star City, November 13–15. 2019* – pp. 47–49.