

ПОДАРОК ОТ «ЛУННОЙ ПРИНЦЕССЫ»

ЛИСОВ Игорь Анатольевич

DOI: 10.7868/50044394821010047

В ночь с 16 на 17 ноября 2020 г. в холодной гобийской степи совершил посадку возвращаемый аппарат китайского комплекса «Чанъэ-5» с герметичной капсулой, в которой было 1.73 кг лунного грунта. Такая «посылка» пришла адресатам на Земле в первый раз после 44-летнего перерыва.

ИСТОРИЯ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ

На протяжении 16 лет Китай последовательно реализует хорошо продуманную программу изучения Луны беспилотными космическими аппаратами. Изначально она состояла из трех этапов: изучение Луны с орбиты, посадка, доставка грунта. В настоящее время к ним добавлен четвертый: углубленное изучение отдельных районов Луны, представляющих большой научный интерес.

Первый этап лунной программы был утвержден Госсоветом (правительством) КНР 23 января 2004 г. Были спроектированы на базе типовых спутников связи и изготовлены два орбитальных аппарата – основной «Чанъэ-1» (嫦娥一号) и резервный «Чанъэ-2» (嫦娥二号), названные именем лунной принцессы из китайских легенд.

Первый из них был успешно запущен 24 октября 2007 г. (см. ЗиВ, 2008, №2) и 7 ноября после довольно сложных маневров вышел на рабочую селеноцентрическую орбиту высотой 200 км. «Чанъэ-1» выполнил сплошную съемку Луны с разрешением 120 м,

но главным результатом полета была не обзорная лунная карта, а бесценный опыт управления дальним КА. «Чанъэ-1» проводил и незапланированные эксперименты, включая съемку с высоты 100 км и снижение перицентра до 15 км. Полет завершился 1 марта 2009 г. падением на лунную поверхность.

Второй этап был одобрен правительством страны 15 февраля 2008 г. «Чанъэ-2» переоснастили камерой более высокого разрешения и запустили 1 октября 2010 г. (см. ЗиВ, 2011, № 2) с заданием съемки Луны с разрешением 7 м, а перспективных районов посадки – с метровым разрешением. 9 октября аппарат сформировал рабочую орбиту высотой 100 км над Луной и вел съемку в течение нескольких месяцев. Завершив основную программу и выполнив



Группа спасателей обследует возвращаемый аппарат



Эмблема полета «Чанъэ-5»

нив дополнительное задание по съемке с 15-километровой высоты, 9 июня 2011 г. «Чанъэ-2» покинул окололунную орбиту, временно «завис» вблизи точки либрации L_2 системы «Земля – Луна» и провел измерения параметров космической среды в этой области.

Покинув 15 апреля 2012 г. окрестности L_2 , китайский аппарат произвел успешный перехват и съемку астероида Тутатис, промчавшись 13 декабря на расстоянии всего в 3 км от его поверхности. После этого «Чанъэ-2» еще долго использовался для тестирования средств вновь созданного в Китае комплекса дальней космической связи на межпланетных расстояниях.

1 декабря 2013 г. стартовал «Чанъэ-3» (嫦娥三号) (см. ЗиВ, 2014, № 2), спроектированный уже «с нуля» и оснащенный посадочным двигателем переменной тяги. 6 декабря он вышел на окололунную орбиту, а 14 декабря выполнил успешную посадку в Заливе Радуги в точке 44.12° с.ш., 19.50° з.д. С посадочного аппарата сошел на поверхность ровер «Юйту» (玉兔) массой около 140 кг, названный в честь лунного кролика – спутника принцессы Чан Э в ее лунном дворце. Луноход, оснащенный радиоизотопной «печкой» и научными инструментами для дистанционных

и контактных исследований, благополучно пережил первую лунную ночь, но 15 января, во второй лунный день, потерял подвижность из-за повреждения кабельной сети. Ему удалось пройти всего 114.8 м – полетное задание было выполнено не полностью, хотя удалось получить ценный опыт и интересные научные данные о составе лунного вещества и подповерхностной структуре грунта.

В результате в Заливе Радуги остались две стационарные китайские научные станции, и если ровер в августе 2016 г. утратил способность «просыпаться» лунным утром, то посадочный аппарат все еще работает в качестве обсерватории с ультрафиолетовым телескопом LUT и аппаратурой для низкочастотных радиоастрономических наблюдений.

ЗАМЫСЕЛ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Успех «Чанъэ-3» подтвердил возможность реализации **третьего этапа**, утвержденного, ввиду особой сложности, заранее, в январе 2011 г. Главной задачей стала доставка 1–2 кг лунного грунта, причем как с поверхности, так и с глубины до 2 м. Идею и схему проекта научный руководитель первых двух этапов академик Е Пэйцзянь впервые озвучил в марте 2011 г. и добавил, что он может быть реализован «примерно в 2017 году».

Китайские специалисты решили построить экспедицию за лунным грунтом по баллистической схеме со стыковкой на окололунной орбите, то есть повторить американскую программу «Аполлон», но в беспилотном варианте. Китайский комплекс получил название «Чанъэ-5» (嫦娥五号). Можно провести точную аналогию: орбитальный и возвращаемый модули «Чанъэ-5» – это служебный и командный модули «Аполлона», а посадочный и взлетный модули – аналоги соответствующих

ступеней американского лунного модуля. Весь комплекс выходит на окололунную орбиту, половина его идет на посадку, взлетный модуль возвращается и стыкуется с орбитальным, а после перегрузки грунта сбрасывается. Наконец, орбитальный модуль обеспечивает доставку возвращаемого модуля с грунтом в земную атмосферу. Основная разница – в массе комплекса: 45 т у американцев и 8250 кг у китайцев.

Конечно, китайская схема с 11 этапами полета, 23 коррекциями, шестью разделениями и одной стыковкой оказалась значительно сложнее, чем в советском проекте Е8-5, где вся межпланетная станция («изделие КТ») садилась на Луну, а взлетная ракета с ее поверхности шла непосредственно к Земле. Платой за простоту была малая масса доставляемого грунта – максимум 170 г – и ограниченный район посадки, из которого можно было попасть на Землю после неуправляемого вертикального старта взлетной ракеты.

В китайском проекте теоретическая доставляемая масса могла быть до 10 кг, однако в реальности планировалось взять около 2 кг. При этом одну четвертую часть лунного вещества должна была составить двухметровая колонка грунта, а три четверти – реголит, собранный с поверхности.

Место посадки и забора образцов было выбрано вблизи горы Рюнкера, расположенной в северо-восточной части Океана Бурь в координатах 41° с. ш., 58° з. д. Эта формация диаметром 70 км и высотой до 1300 м представляет собой комплекс из примерно 20 древних вулканов, окруженных полями молодой по лунным меркам лавы – ее возраст составляет 1.2 и 1.5 млрд лет. Столь молодые образцы представляют собой большую ценность, так как не доставлялись ни американскими «Аполлонами», ни советскими «Лунами».

Перед полетом китайские специалисты опубликовали границы посадоч-



Возвращаемый аппарат «Чанъэ-5» – масштабная копия советского «Зонда»

ной зоны в Океане Бурь – от 41° до 45° по широте и от 49° до 79° по долготе, в пределах которой назывались многие потенциальные точки.

Комплекс «Чанъэ-5» проектировался в расчете на новый носитель «Чанчжэн-5» и полностью использовал его возможности по грузоподъемности на траекторию полета к Луне – 8250 кг. Разработка нового носителя шла не просто, с отставанием от сроков, и в итоге именно ракета предопределила отсрочку экспедиции с 2017 на 2020 г.

Впрочем, сложность проекта «Чанъэ» продиктовала необходимость предварительной летной отработки отдельных его этапов. Для этого было изготовлено экспериментальное изделие, известное под техническим обозначением СЕ5-Т1 и личным именем «Сяофэй». В его состав входили легкий орбитальный аппарат, аналогичный «Чанъэ-2», и возвра-

щаемый аппарат, представляющий собой копию спускаемого аппарата пилотируемого корабля «Шэньчжоу» в масштабе 1:2. «Шэньчжоу» унаследовал форму и аэродинамику от «Союза», а тот от «Зондов», которые облетали Луну в 1968–1970 гг. Правда, масштабирование в космической технике работает плохо (масса в норме пропорциональна кубу линейного размера, а площадь – квадрату, так что получить нужный баллистический коэффициент нетривиально), но китайцы взяли за основу то, что у них было.

Аппарат CE5-T1 стартовал 23 октября 2014 г. и 27 октября облетел Луну на расстоянии около 12 000 км с гравитационным маневром и выходом на «правильную» траекторию, соответствующую штатному возвращению от Луны. При подлете на высоте 5000 км возвращаемый аппарат отделился, затормозился в атмосфере и 31 октября успешно приземлился на территории Внутренней Монголии, в хошуне Сыцзыван – там же, где осуществлялись и все посадки космических кораблей «Шэньчжоу».

Сам же CE5-T1 сразу после отделения возвращаемого аппарата выполнил маневр увода, прошел над Землей и оказался на эллиптической орбите с апогеем 540 000 км. 27 ноября он вышел в район точки L_2 системы «Земля – Луна», находящейся в 65 000 км за Лунной по отношению к Земле, где имитировал работу будущего спутника-ретранслятора «Цюэцяо». 4 января 2015 г. CE5-T1 был уведен из ее окрестностей, а 11 января выполнил маневр торможения и вышел на начальную орбиту вокруг Луны. В результате двух коррекций 13 января была сформирована круговая селеноцентрическая орбита наклонением 43.7° и высотой 200 км, аналогичная основной рабочей орбите «Чанъэ-5».

В феврале и марте 2015 г. CE-5T1 провел серию маневров, имитировавших снижение посадочного аппарата

перед сходом с орбиты и встрече орбитального аппарата со взлетным аппаратом, несущим образцы лунного грунта. В апреле планировалось фотографирование предполагаемых районов забора лунного грунта с разрешением 0.97 м, но в итоге было опубликовано сообщение о том, что такая съемка была проведена в период с 30 августа по 2 сентября 2015 г. Тогда же опубликовали два снимка участка лунной поверхности северо-западнее горы Рюмкера, сделанные широкоугольной и узкоугольной камерами аппарата. Конечно, это не означало, что выбран именно он – ученые рассматривали целый ряд точек на лавовых полях в северо-восточной части Океана Бурь.

Наконец, проверялась возможность навигации на окологрунтовой орбите по сигналам земных навигационных спутников. Как оказалось, по ним можно определять местоположение лунного аппарата с ошибкой порядка 100 м по координатам и 0.05 м/с по скорости.

НУЖНО ЗИМНЕЕ СОЛНЦЕСТОЯНИЕ

Из теории многоступенчатых ракет известно, что любое увеличение массы последней ступени влечет кратное увеличение массы предыдущих. Это применимо и к «многоступенчатым» космическим комплексам, таким как «Чанъэ-5». Поэтому начальная масса всего комплекса задается массой объекта перед последним маневром, то есть перед стартом с окологрунтовой орбиты к Земле. При заданной массе конструкции и возвращаемого аппарата единственная возможность для оптимизации – свести к минимуму массу остающегося топлива, а для этого нужен как можно меньший по величине отлетный импульс скорости.

Так как единственным удобным местом для посадки и поиска возвращаемого

мого аппарата являются степи Северного Китая, в момент старта к Земле Луна должна находиться как можно южнее относительно земного экватора. Таким образом, этот момент должен совпадать с минимумом склонения Луны.

Далее, операции по посадке и забору грунта оптимально проводить при низком утреннем Солнце, когда еще не слишком жарко, а предметы отбрасывают длинные тени. Как стало известно в сентябре 2014 г., в качестве района посадки «Чаньэ-5» был выбран северо-восточный «угол» Океана Бурь. Солнце там восходит за 2–3 дня до полнолуния, так что садиться нужно как раз в полнолуние или чуть раньше.

Два этих требования не так просто совместить, поскольку склонение Луны меняется с периодом в 27.3 сут (сидерический месяц), а лунные фазы – с циклом 29.5 сут (синодический месяц). Эта проблема хорошо известна специалистам по истории календаря, и они знают, что оптимальное сочетание условий повторяется, как правило, через 354 дня. Есть и другие баллистические соображения, которые в итоге диктуют необходимость выбора для посадки на Луну последнего полнолуния перед зимним солнцестоянием, а для отлета к Земле – следующего за ним новолуния. Между ними остается достаточно времени для забора грунта, старта с Луны, поиска взлетного аппарата и перегрузки образцов, измерений орбиты и расчета отлетного импульса.

Именно поэтому «Чаньэ-5» оказался так чувствителен к проблемам носителя CZ-5. Разработка самого лунного комплекса шла по плану. Эскизное проектирование с необходимыми исследованиями и демонстрациями завершилось к декабрю 2012 г. После защиты проект вступил в стадию изготовления опытных изделий, а в июле 2015 г. его перевели на этап полномасштабной разработки. Изделие для ста-

тических испытаний в сентябре 2015 г. отправили на Вэньчан для примерки к носителю и совместных испытаний. В декабре началось изготовление летного экземпляра.

После того, как 3 ноября 2016 г. первая CZ-5 выполнила успешный испытательный полет, руководители программы подтвердили, что полет за грунтом состоится в конце ноября 2017 г. Действительно, «посадочное» полнолуние в этом году было 3 декабря, а «отлетное» новолуние – 18 декабря.

Летный экземпляр лунного комплекса был готов к январю 2017 г. По состоянию на 1 марта планировалось доставить «Чаньэ-5» на космодром в августе, чтобы уже там провести испытания четырех компонентов по отдельности, попарно и в целом. В апреле началась финальная сборка носителя с номером Y3, а в июне было объявлено, что подготовка его на космодроме начнется в конце сентября.

Итак, уже три года назад «Чаньэ-5» находился на финишной прямой к старту, но... 2 июля 2017 г. из-за отказа одного двигателя YF-77 на центральном блоке погибла CZ-5 № Y2. И как только стал понятен масштаб проблемы, очередной старт к Луне сразу «сехал» на два года – на 5 декабря 2019 г. Но и эта дата оказалась нереальной, так как «лечение» ракеты затянулось более чем на два года, и CZ-5 реабилитировала себя лишь пуском 27 декабря 2019 г. Это позволило провести затем два важнейших межпланетных старта подряд – марсианского комплекса «Тяньвэнь-1» на четвертой ракете 23 июля и лунного «Чаньэ-5» на пятом летном носителе 24 ноября 2020 г.

К счастью, с каждым сдвигом баллистические условия старта к Земле улучшались: если в 2017 г. минимальное склонение Луны составляло -20° , то в 2019 г. оно достигло -23° , а в 2020 г. – -25° . Соответственно росли и оценки резерва топлива, которое может

остаться в баках орбитального модуля после выполнения программы.

Трехлетняя задержка с осуществлением проекта «Чанъэ-5» привела к тому, что стоявший в планах после него полет «Чанъэ-4» (嫦娥四号) состоялся раньше. «Чанъэ-4» был изготовлен как дублер «Чанъэ-3», но после первой успешной посадки получил новое назначение в рамках уже третьего этапа лунной программы. Он был запущен 7 декабря 2018 г. (см. ЗИВ, № 1, 2019), вышел на окололунную орбиту 12 декабря, а 3 января произвел успешную посадку на обратной стороне Луны, в пределах огромного ударного бассейна «Южный полюс – Айткен», а конкретно в кратере фон Карман в точке 45.46° ю. ш., 177.59° в. д.

Так как Луна непроницаема для радиосигналов, для посадки и исследований на обратной стороне требовался ретранслятор. Специализированный аппарат «Цюэцяо» был запущен 20 мая 2018 г., 14 июня он вышел на орбиту вокруг точки L2 системы Земля – Луна, и с декабря 2018 г. в течение уже двух лет обеспечивает работу лэндера «Чанъэ-4» и ровера «Юйту-2» (玉兔二号) в кратере фон Карман.

ЛУННЫЙ КОМПЛЕКС

За осуществление проекта «Чанъэ-5» отвечали главный конструктор лунной программы У Вэйжэнь (吴伟仁), главный конструктор ее 3-го этапа Ху Хао (胡浩), руководитель и главный конструктор комплекса Ян Мэнфэй (杨孟飞). Орбитальный аппарат был спроектирован и изготовлен в Шанхайской исследовательской академии космической техники SAST, а остальные части комплекса – в Китайской исследовательской академии космической техники CAST в Пекине. Оба учреждения входят в состав Китайской корпорации космической науки и техники CASC.

Подробное официальное описание «Чанъэ-5» пока не опубликовано, поэтому его приходится собирать из деталей, разбросанных по многочисленным публикациям разных лет. Известна даже точная массовая сводка. Насколько можно судить по баллистической схеме, орбитальный аппарат вместе с возвращаемым имели массу около 4700 кг, а посадочный вместе со взлетным – примерно 3500 кг. Масса возвращаемого аппарата была близка

Составные части комплекса «Чанъэ-5». Слева направо: орбитальный аппарат, возвращаемый аппарат, стыковочное устройство, конический переходник, посадочный аппарат, взлетный аппарат



к 320 кг, а масса взлетного перед стартом с Луны – к 800 кг.

Основной и самый тяжелый **орбитальный аппарат** обеспечивает перелет от Земли к Луне, маневрирование на окололунных орбитах и возвращение к Земле. Он выполнен в форме плоского цилиндра («шайбы») диаметром около 3.1 м. Для установки его на второй ступени носителя пришлось разработать специальную систему фиксации и отделения. С нижней стороны слегка выступают четыре сферических бака с компонентами топлива, между которыми расположен основной двигатель YF-37 тягой 3000 Н. Сверху установлен возвращаемый аппарат, а еще выше, на переходнике конической формы, – посадочный комплекс. Система электропитания использует две ориентируемые панели солнечных батарей, разворачиваемых вдоль оси Y.

Для поиска взлетного аппарата и сближения с ним орбитер оснащен системой измерения параметров относительного движения с микроволновым радиолокатором, разработанным в 25-м институте Китайской корпорации космической науки и промышленности CASIC, и лидаром Института оптики и электроники Китайской АН в Чэнду.

Орбитер имеет три пары «лапок», которыми захватывает три штыря в верхней части взлетного аппарата после касания.

Посадочный аппарат имеет большое сходство с использованным в проекте «Чанъэ-3», но несет более массивную полезную нагрузку. Корпус лэндера выполнен в виде восьмиугольной призмы и оснащен четырьмя посадочными опорами, которые переводятся из стартового положения в рабочее уже в полете. Система электропитания использует две ориентируемые панели солнечных батарей, разворачиваемых вдоль оси Z. Запас топлива для спуска и посадки размещен в четырех сферических баках.

Снизу вдоль осевой линии установлен ЖРД YF-36A с регулируемой тягой в пределах от 7500 до 1500 Н, сверху имеется посадочное место для взлетного аппарата. На одном из боковых ребер смонтирован кронштейн с государственным флагом КНР.

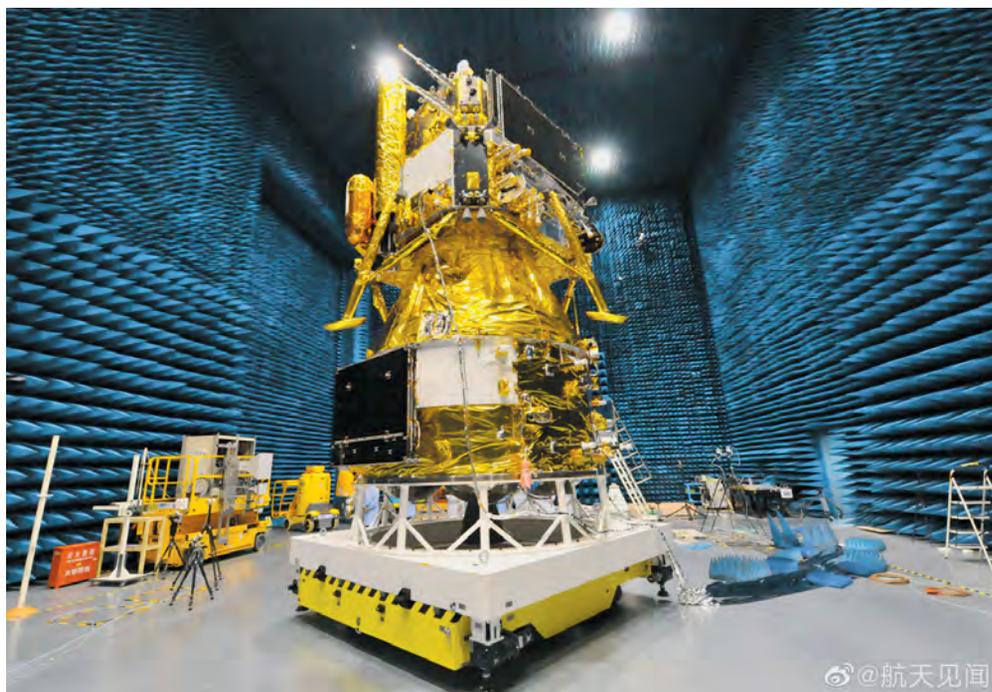
На верхней плоскости лэндера смонтированы манипулятор длиной 3.7 м для забора грунта с поверхности, созданный совместными усилиями специалистов Института системного проектирования КА в Пекине, Харбинского технологического института и Гонконгского политехнического университета, и второй манипулятор с камерой для контроля загрузки образцов в контейнер взлетного аппарата.

Буровое устройство в корпусе цилиндрической формы установлено на боковой поверхности лэндера. Мощность привода составляет 600 Вт, а развиваемый момент – до 20 Н·м. При скорости вращения рабочей части 12 175 об/мин бур погружается в грунт со скоростью до 100 мм/мин. Разработчик этого механизма – Харбинский технологический институт, изготовитель – 529-й завод CASC в Пекине.

Контейнер для лунных образцов с механизмами загрузки и герметизации создан в 510-м институте CASC.

Взлетный аппарат напоминает посадочный, но в масштабе 1:2. На восьмиугольном корпусе смонтированы две панели солнечных батарей, под ним – четыре сферических бака, между ними – двигатель тягой 3000 Н, аналогичный маршевому ЖРД орбитального аппарата. Старт взлетного аппарата обеспечивает пружинный толкатель, а его двигатель включается уже на подъеме, чтобы свести к минимуму риск включения двигателя непосредственно на лэндере.

Возвращаемый аппарат выполнен в виде «фары» (коническая конструкция со сферическим днищем с теплозащитой) и имеет высоту 1236 мм при



Весь лунный комплекс на испытаниях в безэховой камере

наибольшем диаметре 1258 мм. Контейнер с образцами загружается через люк в верхней части капсулы и закрывается поворотной-прижимной крышкой. Посадка производится на однокупольном парашюте, выводимом из контейнера на боковой поверхности изделия.

Всего на четырех компонентах комплекса «Чангэ-5» имеется три маршевых двигателя и 74 двигателя ориентации и направленного перемещения четырех номиналов тяги (150, 120, 25 и 10 Н). Все они разработаны и изготовлены 801-м институтом Исследовательской академии ЖРД («6-я академия»). Три двигательные установки имеют суммарную массу 590 кг, в баки модулей заправлено свыше 5450 кг топлива.

Аппараты лунного комплекса более чем на 90% состоят из компонентов китайского производства.

В декабре 2013 г. сообщалось, что на «Чангэ-5» будет установлен обширный комплект приборов, включая посадочную камеру, панорамную камеру для съемки лунной поверхности, спектрометр LMS для определения минерального состава, анализатор газовой выделения лунной поверхности, инструмент для изучения структуры лунного грунта, измеритель профиля температуры образца. Позднее к этому списку добавили импульсный радар для изучения подповерхностных структур. К сожалению, описание приборов и информация об их разработчиках пока не опубликовано.

ЗАПУСК

После испытаний осенью 2017 г. компоненты «Чангэ-5» перевели в режим хранения. Испытания в Пекине возобновились в марте 2020 г., когда появилась определенность со сроком запуска. Тогда же в Тяньцзине началась сборка ракеты с номером Y5.

9 июля 2020 г. контейнеры с составными частями «Чанъэ-5» были доставлены самолетом Ан-124 российской компании «Волга–Днепр» в аэропорт Мэйлань на Хайнане, а оттуда – автотранспортом на космодром. 23 июля, в день старта экспедиции «Тяньвэнь-1» к Марсу, была названа точная дата запуска к Луне: 23 ноября.

6 сентября специализированные сударакетовозы «Юаньван-21» и «Юаньван-22» вышли из порта Цзяньинь и 9 сентября ошвартовались в Тяньцзине. 11 сентября состоялась погрузка контейнеров со ступенями CZ-5. Утром 15 сентября корабли вышли в море курсом на остров Хайнань. Поскольку пришлось пережить непогоду на подходе к Гонконгу, на место они пришли 21 сентября с опозданием на двое суток. Подготовка носителя в монтажно-испытательном корпусе на Вэньчане началась 23 сентября.

17 ноября в торжественной обстановке ракета «Чанчжэн-5» (CZ-5 № Y5) была вывезена на стартовый комплекс № 101. Пуск был назначен на 24 ноября в пределах стартового окна с 04:30:12 до 05:15:07 пекинского времени, то есть 23 ноября между 20:30 и 21:15 по Гринвичу. Старт с внутренним обозначением «операция 07-W7» состоялся в заданное время, в 20:30:22 UTC, и был показан китайским телевидением в прямом эфире.

Выведение по схеме с двумя включениями двигателей второй ступени – для выхода на опорную орбиту высотой около 270 км и для набора отлетной скорости – прошло успешно. На 2184-й секунде полета, в 21:06:50, лунный комплекс отделился от носителя, на орбитальном и посадочном модулях прошло развертывание солнечных батарей. Измерения показали, что бортовые системы работают нормально, орбита близка к расчетной, высотой 200 км в перигее и около 400 000 км в апогее.

Параметры орбиты КА, по данным Космического командования США, составили:

- наклонение – 21.3°;
- минимальная высота – 201 км;
- максимальная высота – 392 981 км.

За выводением КА наблюдали наземные станции китайского командно-измерительного комплекса, корабли «Юаньван-6» и «Юаньван-5» и спутник-ретранслятор «Тяньлянь-2» № 01. Начальную фазу полета обеспечивала также наземная станция ЕКА в Куньмине.

ПОСАДКА

На траектории полета к Луне было запланировано три коррекции. Состоялись первые две из них: 24 ноября в 14:06, то есть через 17 часов после начала полета, и 25 ноября в это же время. В первом случае использовался маршевый двигатель YF-37 орбитального аппарата тягой 3000 Н, который был включен на 2 секунды: помимо выдачи необходимого импульса нужно было проверить его в работе до использования в критически важном маневре торможения у Луны. Проверка прошла успешно, и для второй коррекции применили два двигателя тягой по 150 Н каждый, которые проработали 6 секунд. Третья коррекция не потребовалась.

28 ноября в 12:58:54 на высоте около 400 км над Луной был включен маршевый двигатель YF-37. Примерно через 17 минут он выключился, израсходовав около 1000 кг топлива и снизив скорость комплекса примерно на 400 м/с. «Чанъэ-5» вышел на начальную селеноцентрическую орбиту с апоцентром на высоте около 5700 км и с периодом обращения более 8 часов.

На первом витке была проведена небольшая необъявленная коррекция с целью снижения перицентра примерно до 200 км. Китайские официальные органы сообщали далеко не о всех маневрах,

предусмотренных полетным планом, но очень ценную дополнительную информацию давали радиолюбительские наблюдения. Скотт Тилли, Эдгар Кайзер и другие «слухачи» обнаружили сигналы разных передатчиков комплекса на частотах 8463.7, 8467.3, 8471.2, 8478.7 и 8486.3 МГц, а также широкополосный телевизионный сигнал на 8455 МГц. Последний даже удалось расшифровать и увидеть солнечные батареи КА, снимаемые бортовой камерой!

За сутки «Чанъэ-5» сделал три витка по своей восьмичасовой орбите. 29 ноября в 14:23 маршевый двигатель был включен еще раз и снизил скорость еще на 410 м/с. В результате была сформирована круговая орбита наклоном около 44° и высотой примерно 196×198 км с периодом обращения 127.3 мин и средней скоростью 1592 м/с.

29 ноября в 20:40:15 состоялась расстыковка орбитального и посадочного комплексов. Далее полетным планом предусматривались два маневра посадочного комплекса – 30 ноября в 14:23

и в 18:22. Официальных сообщений о них не было, но опубликованные радиолюбителями доплеровские кривые позволяют заключить, что после первого была достигнута орбита 86×184 км, а после второго – 15.5×183 км с периодом 117.8 мин.

Тем временем 30 ноября в 23:59 орбитальный комплекс выполнил первый маневр фазирования, поднявшись на орбиту высотой 196×234 км. С каждым витком посадочный комплекс уходил вперед по отношению к орбитальному и к моменту торможения обогнал его на виток.

1 декабря в 14:57:18 был включен на торможение двигатель YF-36A посадочного аппарата. Это произошло примерно в 600 км от расчетной точки посадки (43.1° с. ш., 51.8° з. д.) вблизи перигенцентра орбиты, на высоте 15 587 м и при начальной скорости 1709.8 м/с. Двигатель успешно погасил орбитальную и вертикальную скорость движения и примерно через 14 минут на высоте около двух метров выключился. В 15:11:21 пекинского времени поса-

Полупанорама местности к югу от посадочного аппарата. На горизонте по центру – холм Лувилль-Омега





Развертка полупанорамы

дочный аппарат опустился на лунную поверхность.

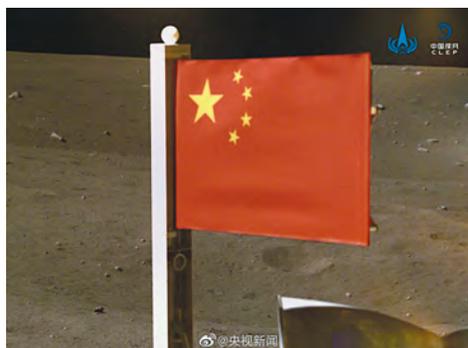
Посадка произошла в северо-восточной части Океана Бурь, примерно в 160 км к востоку от горы Рюмкера и в 10 км к северу от холма Лувиль-Омега. Координаты места посадки, объявленные первоначально, несколько раз уточнялись; последние китайские данные соответствовали точке 43.062° с. ш., 51.916° з. д.

Китайское телевидение и сетевые СМИ не показали прилунение в прямом эфире, но репортаж о нем запустили буквально через пару минут после касания. Вскоре был представлен фильм, снятый на спуске десантной камерой посадочного модуля, а также половина лунной панорамы к югу от посадочного аппарата, составленной из 120 отдельных снимков панорамной камеры. С левой стороны был замечен свежий кратер, на гладкой в целом поверхности лежали камни различного размера. На вид поверхность была моложе, чем в районах посадки «Чанъэ-3» и «Чанъэ-4».

1 декабря в 20:53 завершился первый этап взятия образцов – бурение лунного грунта и взятие колонки с глубины до 2 метров. Операция затянулась примерно на час по сравнению



Манипулятор посадочного аппарата и следы его работы



Флаг КНР над Луной

с планом, потому что грунт оказался слоистым, похожим на сланец, и довольно твердым. Развивая мощность до 1000 Вт, лунный бур благополучно углублялся, однако специалисты опасались, что твердая порода не позволит изогнуть трубу, да и время поджимало. В результате бурение остановили, не дойдя до отметки 1 метр. Гибкую трубу с грунтом аккуратно намотали на барабан внутри контейнера для образцов.

Бортовой радар для зондирования подповерхностной структуры грунта указал наиболее интересные места, и «Чаньэ-5» приступил к сбору образцов при помощи манипулятора с поверхности к югу от себя. Это был очень медленный процесс: на то, чтобы опустить манипулятор на грунт, зачерпнуть и закрыть крышечкой немного реголита, поднять «руку» и пересыпать материал в центральную часть контейнера, уходило не менее 50 минут. Спектрометр LMS использовался для определения минерального состава грунта с поверхности и залегавшего на глубине. Панорамная камера продолжала съемку и в конечном итоге передала примерно 700 кадров.

Программой предусматривалось взять 15 проб лунного материала, но после 12-го специалисты увидели, что контейнер почти полон, и остановили процесс. В результате все работы по

забору и упаковке грунта завершились 2 декабря в 14:00 – на пять с лишним часов раньше плана. Контейнер был герметически закрыт, чтобы доставить лунные образцы в вакуумной «таре» и не допустить загрязнения земным воздухом и влагой.

Тем временем орбитальный комплекс после третьего маневра фазирования, который в плане стоял на 2 декабря в 14:46, вернулся на орбиту ожидания высотой 197 км. На 21:46 намечался сброс переходника, на котором во время запуска стоял посадочный модуль, а под ним размещались возвращаемый аппарат и элементы стыковочного устройства. Никаких сообщений об этих операциях китайские СМИ не дали, хотя они были очевидным образом необходимы для стыковки.

ВЗЛЕТ И СТЫКОВКА

Старт с Луны планировался ровно через двое суток после прилунения, когда вследствие медленного вращения Луны плоскость орбиты «Чаньэ-5» вновь пройдет через место посадки. Непосредственно перед этим на посадочном аппарате был выставлен из горизонтального положения в вертикальное флашток с государственным флагом КНР. Сам флаг имел массу всего 12 граммов, а весь блок для его хранения и вертикализации – около килограмма. Панорамная камера немедленно сделала снимки красного знамени над Луной.

Старт с Луны был произведен 3 декабря в 15:10:21. Израсходовав около 400 кг топлива, через шесть минут с небольшим, в 15:17:28, взлетный аппарат успешно вышел на окологлунную орбиту высотой 15×180 км – в первый раз после «Аполлона-17» в декабре 1972 г. Орбитальный аппарат в этот момент находился практически в противоположной точке орбиты высотой примерно 196×207 км.

Как и раньше, китайские СМИ не сообщали подробностей орбитального маневрирования. Западные радиолюбители фиксировали орбитальный аппарат на орбите со средней высотой 203 км, а взлетный в ходе маневров фазирования поднимался, уменьшая угловую скорость сближения. После второго маневра, выполненного 4 декабря примерно в 08:04, его средняя высота была близка к 180 км, и он отставал от цели примерно на 14 минут. После третьего маневра (по плану в 21:46) высота достигла 191 км, а отставание сократилось до трех минут. Судя по данным радиомониторинга, 5 декабря около 12:30 взлетный аппарат сократил отставание до нуля и даже вышел немного вперед. В итоге он оказался на орбите высотой примерно 210 км на расстоянии в несколько десятков километров от орбитального комплекса.

5 декабря в 18:14 началась фаза сближения и захвата, за которую отвечал уже орбитальный аппарат, оснащенный необходимыми средствами автономного наведения. Массы двух участников процесса оценивались в 2300 и 400 кг соответственно. Контрольные точки на участке сближения находились на отметках 50 км, 5 км, 1 км и 100 м, причем на сближение от 5 км и до касания отводился весь последний виток. Специалисты в Пекинском центре управления полетом отслеживали подход и последующие операции по кадрам бортовых видеокамер. В 21:42, на две минуты позже плана, на высоте 210 км был выполнен захват взлетного аппарата за три радиальных штыря стыковочного устройства. Это была первая в истории автоматическая стыковка на окололунной орбите.



Группа спасателей у приземлившегося возвращаемого аппарата

Сразу после этого была инициирована перегрузка контейнера в возвращаемый аппарат, которая завершилась в 22:12 с отставанием от графика на 11 минут. Отклонения не имели значения для выполнения задачи экспедиции, так как до старта к Земле оставалась целая неделя.

Отделение взлетного аппарата вместе с элементами стыковочного устройства состоялось 6 декабря в 04:35 в строгом соответствии с планом. 7 декабря в 22:59 китайские операторы включили двигатель взлетного аппарата на торможение, и в 23:30 он разбился о поверхность Луны в районе 30° ю. ш., 0° в. д.

По непонятным причинам китайские информационные агентства сообщили об этом как о посадке, хотя взлетный аппарат не предназначался для этого и не имел запаса топлива, необходимого для повторного гашения орбитальной скорости. Зато обоснование для этой операции было дано вполне грамотное: не стоит оставлять на окололунной орбите космический мусор, который в будущем может помешать какой-нибудь другой лунной миссии.

ВОЗВРАЩЕНИЕ «ЧАНЪЭ-5»

Как мы помним, момент отлета к Земле был выбран вблизи зимнего новолуния, когда Луна имеет наиболее отрицательное склонение. Поэтому еще шесть суток аппарат находился в режиме ожидания на круговой орбите высотой около 210 км.

12 декабря в 01:54 был выдан первый отлетный импульс величиной около 400 м/с, который превратил орбиту «Чанъэ-5» в эллиптическую с перигентром 230 км и апоцентром около 5730 км.

13 декабря в 01:51 вблизи перигентра аппарат включил на 22 минуты четыре двигателя тягой по 150 Н. В результате он увеличил свою скорость еще примерно на 420 м/с и покинул окололунную орбиту, направившись к Земле.

На этапе перелета к Земле состоялись две из трех запланированных коррекций – 14 декабря в 03:13 и 16 декабря в 01:15. В обоих случаях использовались два двигателя тягой по 25 Н, которые проработали 28 и 8 с соответственно.

На заключительном этапе полета над южной частью Индийского и Атлантического океанов и над Африкой с «Чанъэ-5» по договору с китайской стороной работала наземная станция ЕКА Маспаломас на Канарских островах. Сначала она отслеживала подлетную траекторию, а 17 декабря около 01:00 через нее на борт заложили последние уставки с условиями входа в атмосферу. Станция Куру работала только на прием в качестве дублера.

16 декабря в 17:13:19 на высоте около 5000 км над Южной Атлантикой прошло разделение орбитального и возвращаемого модулей. Первый сразу после этого сманеврировал, чтобы избежать попадания в земную атмосферу – у китайских

специалистов есть планы его дальнейшего использования в межпланетном полете.

Возвращаемый модуль продолжил снижение и в 17:33 на высоте 120 км к востоку от берегов Сомали вошел в атмосферу со второй космической скоростью. Частично погасив ее в ходе первого погружения над Аравийским морем, где дежурил корабль «Юаньван-3», возвращаемый модуль поднялся над краем атмосферы за счет подъемной силы, действующей на его фарообразный корпус с теплозащитой. Пройдя апогей новой баллистической траектории над Гималаями, он погрузился во второй раз над западной частью Китая и окончательно затормозился в плотных слоях атмосферы. В 17:51 на высоте 10 км была введена парашютная система.

16 декабря в 17:59 UTC возвращаемый аппарат успешно приземлился на посадочном полигоне в хошуне Сыцзыван Автономного округа Внутренняя Монголия. Точка посадки с координатами 42°20'19" с. ш., 111°26'20" в. д. находилась всего в 1,5 км от расчетной.

В ночной степи Сыцзывана была отвратительная погода – температура ниже –20 °С при сильном ветре. Тем не менее поисково-спасательный комплекс уверенно вел аппарат до касания, и уже через 20 минут после приземления люди были около него.

Впрочем, одна любопытная лиса появилась на месте событий еще раньше.

Около трех часов ночи председатель КНР Си Цзиньпин выступил с поздравлением в адрес всех участников китайской экспедиции за лунным грунтом. И есть за что – ведь лунное вещество доставлено на Землю в первый раз после 44-летнего перерыва! Напомним, что в 1969–1976 гг. это удалось сделать шести американским лунным экспедициям и трем советским автоматическим станциями типа Е8-5.

Возвращаемый аппарат «Чанъэ-5» зачехлили и вывезли с места посадки. Вечером 17 декабря китайский военной-транспортный самолет Юнь-9 поднялся с военного полигона Чжурихэ, чтобы доставить ценный груз на предприятие CAST в Пекине. Утром 19 декабря там в контролируемых условиях из возвращаемого аппарата был извлечен контейнер с лунным грунтом. Измерение показало, что внутри находятся образцы суммарной массой 1731 грамм – неудивительно, если учесть проблему с бурением. После этого руководитель Китайской национальной космической администрации Чжан Кэцзянь и президент Китайской академии наук Хоу Цзяньго подписали акт о передаче контейнера для научных исследований.

Доставленный лунный материал будет изучаться в Пекине в специализированной Лаборатории лунных образцов при Национальной астрономической обсерватории Китая. Вопрос о возможности передачи части образцов для изучения учеными за пределами Китая находится в стадии обсуждения.

Часть материала будет храниться отдельно – в городе Шаошань, на родине Мао Цзэдуна.

Между прочим в возвращаемом аппарате «Чанъэ-5» имеются и другие грузы. Пока известно, что он доставил семена растений (риса, овса, люцерны и орхидей), совершившие полет по маршруту «Земля – Луна» и обратно.

Продолжение следует!

На лунной поверхности продолжают работать китайские аппараты «Чанъэ-3» и «Чанъэ-4» и ровер «Юйту-2», преодолевший за два года 600 метров пути. На окололунной орбите трудится CE5-T1, а в точке L_2 за Луной – спутник-ретранслятор «Цюэцяо».



Станция Цзямусы системы дальней космической связи КНР

Новый аппарат «Чанъэ-7» планируется запустить в 2023 г. с посадкой в южной полярной области Луны с целью исследования местных условий и ресурсов. Помимо лунохода, «Чанъэ-7» доставит на Луну прыгающий зонд.

«Чанъэ-6» – оставшийся не у дел дублер «Чанъэ-5» – должен стартовать в 2024 г. и доставить лунные образцы либо с обратной стороны, либо из полярной области. Предусмотрена установка на «Чанъэ-6» иностранной научной аппаратуры на конкурсной основе.

Запуск «Чанъэ-8» также намечен на 2024 год. На этом аппарате планируется отработка ключевых технологий добычи и использования лунных ресурсов.

Решение о переходе к пилотируемым лунным экспедициям пока не принято. Этот вопрос будет рассмотрен после окончания сборки китайской орбитальной станции «Тяньгун» в 2022 г.