

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОРАЗОВЫХ ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Сапрыкин О.А.

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН),
ул. Косыгина, 19, Москва, 119991, Россия
e-mail: oleg.sapr@gmail.com*

Статья поступила в редакцию 29.08.2020

Проводится сравнительный анализ известных способов исследования планет Солнечной системы автоматическими межпланетными станциями (АМС): исследований с пролётных траекторий, исследований с околопланетной орбиты, исследований планет с высадкой зондов (стационарных либо мобильных) непосредственно на поверхность планеты. В качестве критериев сравнения выбраны условия обеспечения глобальной съёмки планеты, контактных исследований (анализ грунта и т.д.), возможности посещения нескольких районов планеты (удалённых друг от друга на глобальные расстояния, для которых обеспечиваются контактные исследования), максимизации протяженности маршрутов детальных исследований на планете, применимости способа для пионерских миссий (при минимальных начальных знаниях о космическом объекте), возможности многократного использования космических средств и научных приборов, возможности использования однотипных (в том числе одних и тех же) космических средств для исследования различных космических объектов. В процессе анализа делается вывод, что ни один из практикуемых способов не решает научные задачи одновременно и комплексно (в глобальных масштабах исследуемой планеты) и детально (на уровне контактных зондов). Вместе с тем предложено рассмотреть четвёртый, практически не изученный способ исследований – с использованием орбитальных танкеров-заправщиков (ОТЗ) и многоразовых взлётно-посадочных комплексов (МВПК). Показано, что при использовании нового способа исследований возможна реализация наукоёмких сценариев научных миссий, сочетающих и масштабность (например, исследование в рамках одной миссии нескольких удалённых районов планеты или даже нескольких планет-спутников у планет-гигантов), и контактность исследований (взятие проб грунта, бурение и т.д.).

Ключевые слова: многоразовый взлётно-посадочный комплекс; орбитальный танкер-заправщик, автоматическая межпланетная станция, космический аппарат, способ исследования, локальный перелёт, прыжок, комплекс научных инструментов, маршрут, межпланетный комплекс.

Введение

Развитие космических средств открывает новые возможности и в области способов их использования, новых сценариев реализации космических миссий. Если в развитии средств выведения наметилась явная тенденция к использованию многоразовых ракет-носителей [1], то в плане развития научных космических станций, исследующих планеты Солнечной системы, всё остаётся пока на прежних позициях. А именно: это, как правило, разовые уникальные объекты, создаваемые для конкретных планет, используемые однократно либо попутно – при пролёте рядом с планетами (малыми планетами, астероидами, кометами). А ведь стоимость такого типа косми-

ческих аппаратов – автоматических межпланетных станций (АМС) – многократно превышает стоимость запуска ракетой-носителем. Например, стоимость АМС «Кассини» составила 3,6 млрд долл. США [2], в то время как стоимость её запуска РН Titan IVB составляет порядка 523 млн долл. [3]. При этом пока задача многократного использования АМС или входящих в их состав научных приборов, оборудования даже не ставится в программах космических агентств. Тем не менее решение такой задачи представляется возможным и целесообразным. Создание многоразовых АМС неизбежно приведёт к новому качеству научных исследований небесных тел, в разы (воз-

можно, на порядки) увеличит информативность научных космических миссий.

Практикуемые способы исследований планет автоматическими межпланетными станциями

Для задач сравнительной планетологии важны, как правило, большие масштабы исследований – на маршрутах от сотен километров до нескольких тысяч километров (в идеале – на маршрутах, покрывающих всю поверхность планеты). Само исследование состоит, как правило, в детальной фотосъёмке (реже – видеосъёмке, в частности когда на поверхности планеты или в её атмосфере имеется динамика, активность каких-либо объектов), дистанционных замерах температуры, радиоактивности, микрометеорной активности. Исследование поверхности планеты на больших расстояниях может дать много важной информации для понимания истории формирования планеты, её происхождения, состава формирующего её вещества, скорости тех или иных природных процессов и т.д.

До настоящего времени использовались следующие три способа проведения такого рода исследований.

Первый и наиболее широко опробованный способ – исследования планет с пролётных траекторий (рис. 1). Так были получены первые снимки обратной стороны Луны (с борта АМС «Луна-3» в 1959 г.), снимки Меркурия (с борта АМС «Маринер-10» в 1973 г., «Мессенджера» в 2004 г.), Венеры (с борта АМС «Маринер-2» в 1962 г., «Маринер-5» в 1967 г. и нескольких других аппаратов, направлявшихся к другим объектам назначения), Марса (с борта АМС «Маринер-4» в 1964 г.),

Юпитера (пролёты АМС «Пионер-10», «Пионер-11», «Вояджер-1», «Вояджер-2», «Улисс», «Кассини», «Новые горизонты» с 1973 по 2006 г.), Сатурна (пролёты АМС «Пионер-11», «Вояджер-1», «Вояджер-2» в 1979–1981 гг.), Урана (пролёт АМС «Вояджер-2» в 1986 г.), Нептуна (с борта американской станции «Вояджер-2» в 1989 г.) и Плутона (с борта АМС «Новые горизонты» в 2015 г.) [4].

Второй способ – исследования планет с околопланетной орбиты. В рамках таких миссий космический аппарат (КА) выводится на орбиту исследуемой планеты и изучает её поверхность, а также поверхности её спутников, других объектов (например, колец) дистанционно с расстояния высоты орбиты либо с межорбитальных расстояний (пример на рис. 2). Здесь также накопился уже достаточно большой опыт космических полётов. Это и исследования Луны с борта АМС «Луна-10» (1966 г.), «Лунар орбитер-1,2,3,4,5» (1966–1967 гг.), «Клементина» (1994 г.), «Лунар проспектор» (1998 г.), «Кагуя» (2007 г.), «Чанъэ-1, 2» (2007 г., 2010 г.), «Чандраян-1» (2008 г.), Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (LCROSS, 2009 г.), Gravity Recovery and Interior Laboratory (2011 г.), Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer (LADEE, 2013 г.); исследования Венеры с борта АМС «Пионер-Венера-1» (1978 г.), «Венера-15, 16» (1983 г.), «Магеллан» (1989 г.), «Венера-Экспресс» (2005 г.); исследования Марса с борта АМС «Маринер-9» (1971 г.), Mars Global Surveyor (1996 г.), Mars Одиссей (2001 г.), «Марс-экспресс» (2003 г.), Mars Reconnaissance Orbiter (2005 г.), Mangalyaan (2013 г.), Mars Atmosphere and Volatile Evolution (2013 г.), Трейс Гас Орбитер (2016 г.); исследования Юпитера с борта АМС

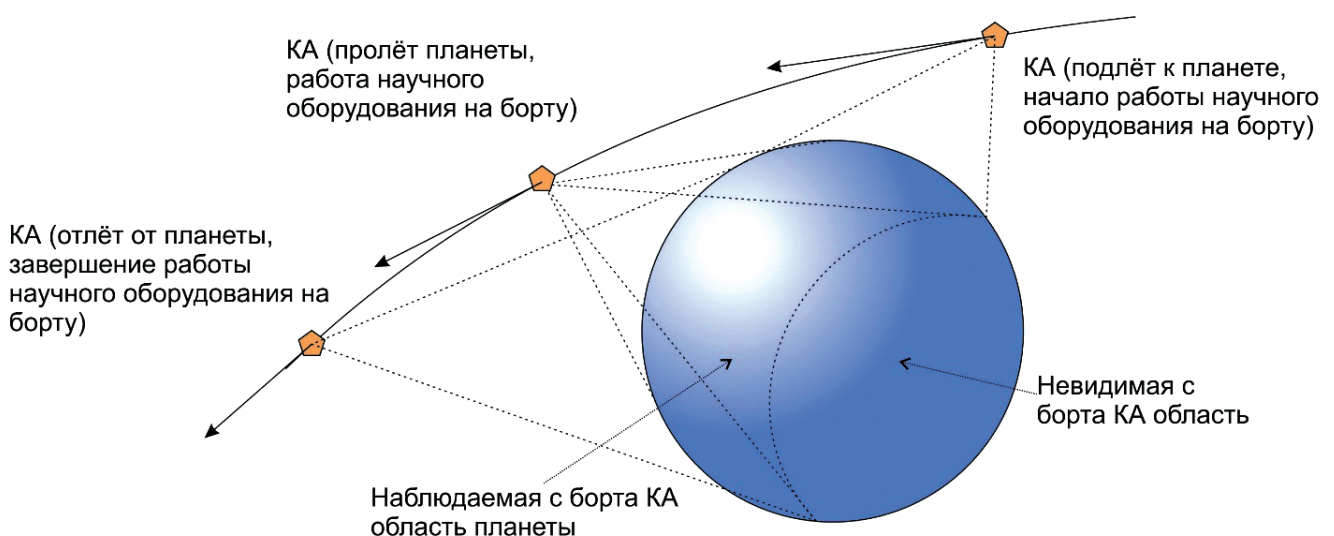


Рис. 1. Исследования планет с пролётных траекторий

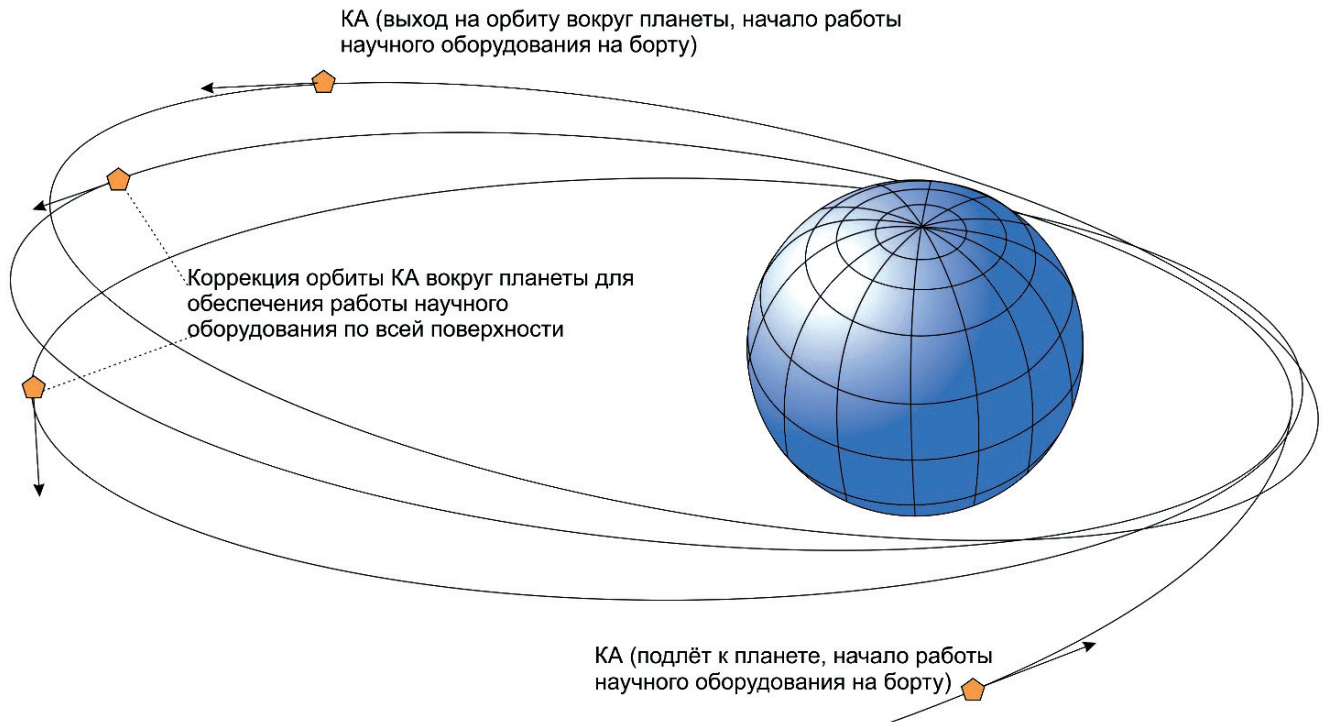


Рис. 2. Исследования планет с орбиты спутника

«Галилео» (1989 г.), «Юнона» (2011 г.); исследования Сатурна с борта АМС «Кассини-Гюйгенс» (1997 г.) [4].

Третий способ – исследования планет с высадкой зондов (либо напланетных автоматических станций – стационарных либо мобильных) непосредственно на поверхность планеты (рис. 3). Здесь

также накопилось уже достаточно много примеров, хотя их значительно меньше, чем в предыдущих способах исследований (в силу того что эти миссии объективно на порядок сложнее, дороже). Для исследований Луны это станции «Луна-9» (1966 г.), «Сервейер-1,3,5,6,7» (1966–1968 г.), «Луна-16,17» (1970 г.), «Луна-20, 21» (1972–

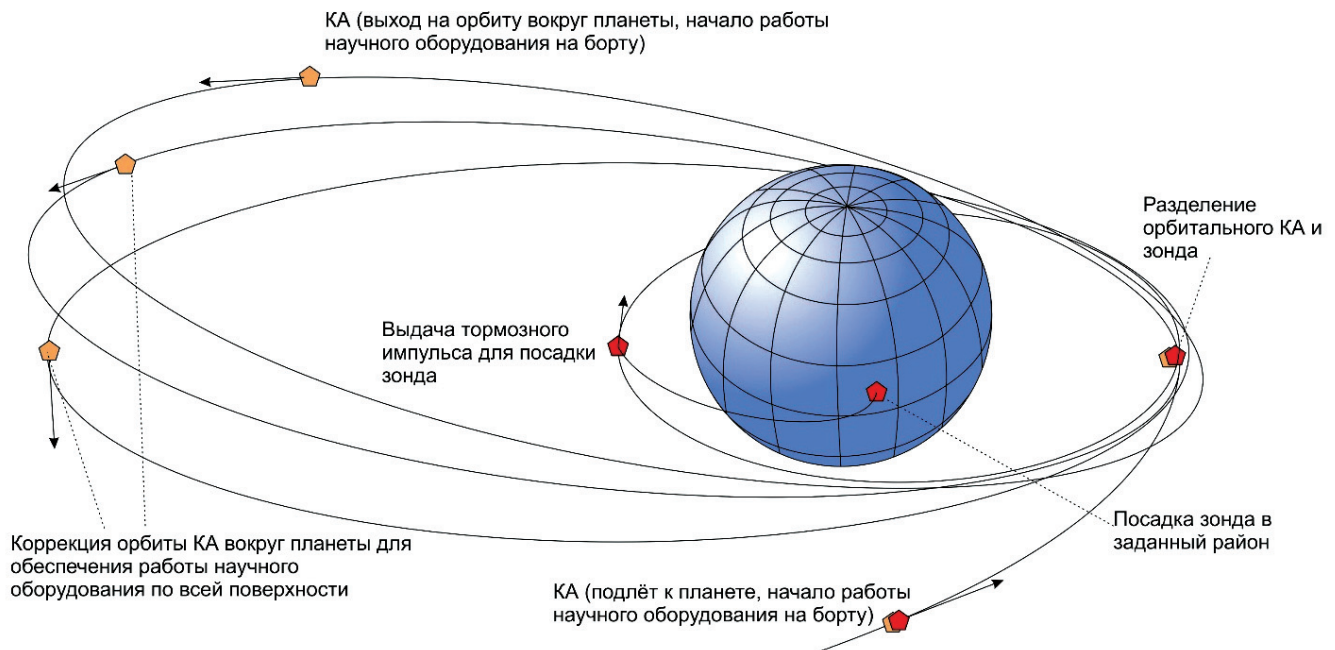


Рис. 3. Исследования планет с высадкой зондов

1973 г.), «Луна-24» (1976 г.), «Чанъэ-3» (2013 г.), «Чанъэ-4» (2018 г.); для исследований Венеры АМС «Венера-4,5,6,7,8,9,10,11,12» (1967—1978 гг.), «Венера-13-14» (1981 г.), «Вега-1,2» (1984 г.); для исследований Марса АМС «Викинг-1,2» (1976 г.), Mars Pathfinder (с марсоходом Sojourner, 1996 г.), марсоход «Спирит» (2003 г.), марсоход «Оппортьюнити» (2003 г.), АМС «Феникс» (2007 г.), марсоход «Кьюриосити» (2011 г.), АМС InSight (2018 г.). Есть даже пример исследований в рамках третьего способа в системе Сатурна — АМС «Кассини» и зонд «Гюйгенс» (1997—2017 г.) [4].

Третий способ имеет развитие — когда требуется вернуть пробы грунта на Землю. Это проекты типа «Луна-16», «Луна-20», «Луна-24», в которых зонд представляет собой самостоятельную ракету, способную вернуть образцы грунта на Землю (или на околопланетную орбиту). Это наиболее сложные и дорогостоящие проекты автоматических КА. На сегодняшний день реализованы единицы таких проектов. Они имеют свою нишу научной значимости, сопоставимой с научной значимостью пилотируемых полётов на планеты.

Преимущества и недостатки известных способов исследований планет

Все три способа имеют свои преимущества и недостатки. Однако если отталкиваться от задач сравнительной планетологии, использовать, например, критерий потенциальной научной информативности, то, во-первых, все три варианта с точки зрения решения научных задач совершенно неравновесные. Наименьшей информативностью обладает первый способ. Что касается второго и третьего способов, то здесь ответ не совсем очевиден. Да, посадка на поверхность планеты зонда (в рамках третьего способа) даёт очень много детальной научной информации. Однако эту информацию можно считать достоверной лишь для конкретного района посадки — за пределами местного горизонта картина, считываемая автоматом, может оказаться совершенно иной. Именно поэтому в рамках третьего способа разработчики космической техники пытаются оснастить посадочные зонды средствами перемещения — использовать роверы, аэростаты, дроны и т.д. Это расширяет считываемую детальную картину. Однако оценим — насколько?

Использование дронов, аэростатов, крылатых машин априори требует наличия атмосферы на планете. Причём относительно плотной — атмосферу Марса, например, можно считать уже критической по плотности для использования назван-

ных средств перемещения. Далеко не для всех объектов Солнечной системы это применимо. Пожалуй, напротив, количество таких естественных тел в Солнечной системе — порядка нескольких десятков, вряд ли больше (даже с учётом неизученности небесных тел в поясе Койпера и облаке Оорта). Кроме того, атмосфера этих небесных тел должна быть в некоторой степени изученной — в достаточной мере, чтобы проектировать такого рода летательные аппараты. А это уже ставит под вопрос применимость этих средств в пионерских миссиях.

Что касается роверов — всевозможных луноходов, марсоходов и т.д., то для их использования также необходимы некоторые апостериорные оценки физико-механических свойств грунтов, поверхностной температуры, радиации и т.д. Кроме того, применимость данного ровера на маршруте, его ресурс существенно зависят от пересечённости местности, ландшафта, направления движения. При этом, как правило, наиболее интересные в геологическом смысле районы обладают крайне неблагоприятными условиями передвижения — это расселины, горные образования, склоны кратеров и т.д. К тому же длина маршрута роверов ограничена — это максимум несколько сотен километров даже для самой современной робототехники. Необходимо обеспечивать энергоснабжение ровера, температурный режим, его управление, высоконадёжную связь (как правило, через орбитальный космический аппарат) и т.д. По сравнению с масштабами поверхностей планет и известных спутников такие расстояния маршрутов в сотни километров можно считать крохотными. Скорости перемещения роверов также крайне невелики — скорость советских «Луноходов» составляла значение до 2 км/ч [5]. Скорость марсоходов («Кьюриосити») сегодня составляет значение до 144 м/ч на ровных участках [6]. Получаемая ими научная информация практически всегда будет носить локальный характер. Поэтому сегодня разработчики космической техники пытаются решить научные задачи за счёт массовости применения роверов, полагая, что крохотными маршрутами постепенно можно покрыть большую часть исследуемой планеты. То есть к пионерским миссиям данный вариант опять же неприменим.

Поиск новых способов исследований

Существует ли техническое решение, в рамках которого можно обеспечить:

1) глобальный охват исследованиями (в том числе и контактными) поверхности планеты за одну миссию космического аппарата;

2) проведение исследования при условии минимального априорного знания условий функционирования космической техники на поверхности (т.е. обеспечить пионерские исследования, зная лишь астрономические данные);

3) получение в рамках одной миссии непосредственной (контактной) информации о веществе не из одного, а из нескольких районов планеты, удалённых друг от друга на значительные расстояния (от сотен до нескольких тысяч километров);

4) обеспечить фото- и видеосъёмку поверхности по заданному маршруту в течение считанных минут (а не дней, месяцев, лет);

5) использовать это техническое решение многократно — в рамках исследований как конкретной планеты (спутника), так и для других планет Солнечной системы — как реальный инструмент научных исследований, с минимальным набором собственно научных приборов на борту?

Ни один из названных трёх способов исследований не отвечает этим требованиям. Однако существует ещё один способ исследований, который можно также назвать развитием третьего способа. Если учесть, что в рамках этого способа все перечисленные выше требования становятся выполнимыми, его можно позиционировать как самостоятельный — четвёртый — способ исследований планет.

Описание способа исследований планет с использованием танкеров-заправщиков и многоразовых взлётно-посадочных комплексов

Суть способа состоит в том, что создаётся комплекс из двух космических аппаратов — орбитального танкера-заправщика (ОТЗ) и многоразового взлётно-посадочного комплекса (МВПК). При полёте к месту назначения — к планете — оба КА составляют единое целое — межпланетный комплекс (МК). После прибытия в сферу тяготения планеты КА отделяются друг от друга: ОТЗ переходит на околопланетную орбиту (например, полярную, обеспечивающую наблюдение всех районов планеты — глобальную фотосъёмку, картографирование, радиолокационную съёмку), МВПК осуществляет спуск в заранее или оперативно выбранный район планеты и высадку. В процессе высадки МВПК использует комплекс научных инструментов для контактных и бесконтактных исследований вещества, а также для панорамной

съёмки с высоким разрешением. МВПК, имея некоторый запас топлива на борту, может совершать локальные перелёты на расстояния от сотен до нескольких тысяч километров (т.н. «прыжки»). В процессе каждого такого прыжка осуществляется фото- и видеосъёмка по маршруту (направлению) прыжка. Высота прыжка может регулироваться за счёт глубокого дросселирования (изменения тяги) двигателей МВПК. В зонах радиовидимости орбитального танкера-заправщика с борта МВПК передаётся необходимая научная и служебная информация на борт ОТЗ для последующей передачи на Землю (в составе ОТЗ предусмотрен мощный радиокомплекс). Использование прыжков МВПК позволяет отказаться от использования роверов и других мобильных средств (планеров, дронов, аэростатов), управление которыми на больших расстояниях от Земли требует, по сути, создания автономных интеллектуальных систем. Использование же реактивной тяги — универсального способа передвижения — имеет очевидные преимущества перед другими способами передвижения на планетах. Такой способ детального (и при этом контактного) изучения планеты:

1) практически не зависит от наличия атмосферы на планете;

2) не зависит от сложности (пересечённости) местного рельефа;

3) позволяет преодолевать протяжённые маршруты в сотни и тысячи километров;

4) позволяет преодолевать маршруты в течение считанных минут (а не месяцев и не лет), что значительно повышает надёжность миссии;

5) не требует большого объёма априорных знаний о планете — по сути, требуются лишь астрономические знания об объекте (его размерах и гравитации), то есть способ подходит для реализации пионерских миссий;

6) по сути, превращает МВПК в непосредственно научный инструмент, работающий и контактно (во время после посадок на грунт), и дистанционно — с высоким разрешением (во время перелётов по маршрутам на регулируемой высоте).

При размерах планет менее 2000 км в диаметре, за пять-шесть прыжков МВПК может контактно исследовать пять-шесть районов, а также передать детальные съёмки маршрутов между этими районами, что позволяет получить достаточно полную и объективную научную информацию об исследуемом объекте. Для получения аналогич-

ного объёма информации потребовалось бы, например, не менее пяти-шести отдельных миссий в рамках третьего способа исследований. Первые описанные два способа исследований не способны представить научную информацию (в частности, о результатах контактных исследований) вне зависимости от количества миссий.

При размерах планет менее 500 км количество прыжков может быть увеличено – составлять десятки «прыжковых» маршрутов, поскольку расходы на транспортные операции для таких небесных тел значительно – в разы – снижаются. Это актуально, например, для исследований спутников планет-гигантов (таких, как Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).

При этом МВПК может использоваться многократно – с дозаправкой от ОТЗ. Последовательность операций представляется, например, следующей (рис. 4):

1) при выходе межпланетного комплекса на орбиту около планеты-гиганта бортовой комплекс управления выполняет сближение с одним из крупных спутников планеты (№1);

2) МВПК отделяется от ОТЗ и выполняет цикл посадок на крупный спутник (№1), исследуя пять-шесть маршрутов;

3) ОТЗ выполняет маневры вокруг спутника №1, находясь на гало-орбите возле него – орбите ожидания МВПК. Выполняется глобальная съёмка спутника, по полученной информации корректируются маршруты прыжков. С борта ОТЗ осуществляется связь и с Землёй, и с МВПК;

4) после завершения исследований спутника №1 МВПК стыкуется с ОТЗ;

5) выполняется дозаправка МВПК рабочим телом от ОТЗ;

6) межпланетный комплекс (МК, включая ОТЗ и МВПК) осуществляет переход на новую гало-орбиту рядом со спутником №2;

7) МВПК отделяется от ОТЗ и выполняет цикл посадок на спутник №2;

8) ОТЗ осуществляет орбитальную поддержку исследований МВПК и связь с Землёй;

9) МВПК завершает исследования спутника №2 и стыкуется с ОТЗ;

10) циклы исследований могут продолжаться с другими спутниками планеты до тех пор, пока на борту ОТЗ имеется топливо.

Таким образом, в рамках одной миссии ограничивающим фактором является лишь запас рабочего тела (компонентов топлива) на борту ОТЗ. Этот вопрос подлежит отдельному исследованию.

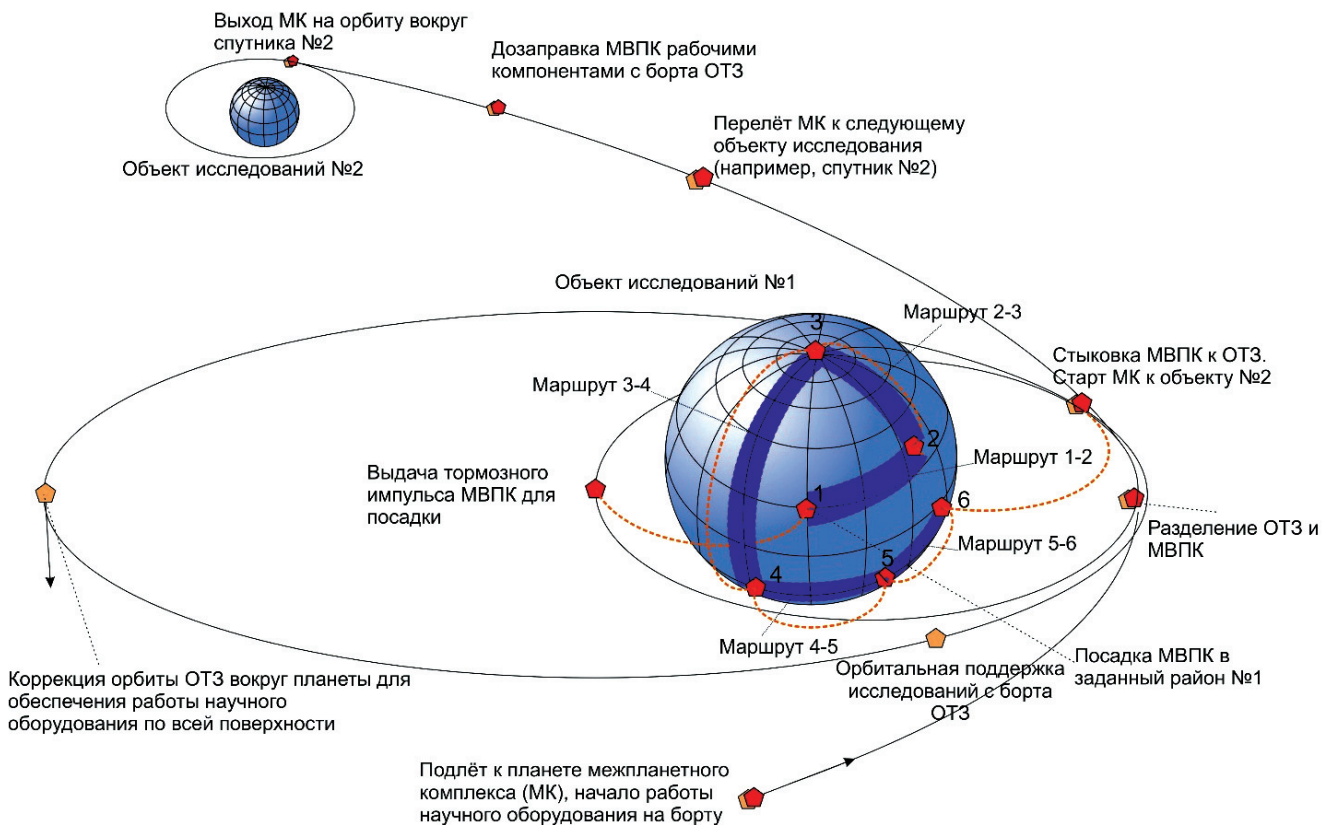


Рис. 4. Исследования с использованием многоразовых взлётно-посадочных комплексов и орбитальных танкеро-заправщиков

Если, например, выбрать в качестве рабочего тела метан и окислитель кислород, что на сегодняшний день в ракетостроении рассматривается как очень перспективная пара компонентов топлива именно для многоразовых двигателей, а также найти способ пополнения метаном запасов ОТЗ, то перспективы предложенного способа исследований становятся ещё более многообещающими. Дело в том, что в атмосфере планет-гигантов и даже на некоторых их спутниках (по крайней мере на Титане) метан является одним из наиболее распространённых соединений. Кислород — также достаточно распространённое на планетах вещество. Океаны метана — океаны потенциального топлива. Использование этих соединений технически для продления космических миссий — интереснейшая и перспективная область исследований.

Сравнительный анализ способов исследований планет

Основные результаты сравнений описанных способов исследований сведены в таблицу. Как можно заключить из таблицы, новый способ исследований имеет ряд очевидных преимуществ, по крайней мере позволяет реализовать комплексную научную программу исследований на планете: и дистанционное зондирование всей поверхности, и контактные исследования грунта различных районов планеты, и детальные исследования вдоль нескольких маршрутов. При этом научная аппаратура используется многократно. Следует также отметить, что при этом можно избежать сложного научного инструментария в виде роверов-платформ, дронов, планеров, аэростатов, управление которыми на сверхдлинных расстояниях с Земли является сложной технической проблемой. В данном случае достаточно иметь стандартный набор инструментов в виде фото-, видеокамер, гамма-спектрометров, контактных инструментов (щупы, буры, фрезы, пенетраторы), работающих, по сути, автоматически на любом небесном теле.

Недостатки у предлагаемого способа также имеются. Это, например, необходимость операции стыковки двух автоматических космических аппаратов (МВПК и ОТЗ) в автономном режиме на больших (межпланетных) расстояниях от Земли. Однако это общая задача для всех космических станций будущего, и её решение, в целом, в настоящее время просматривается в контексте создания автономных систем навигации.

Что касается количественной оценки преимуществ предлагаемого способа исследований пла-

нет, то методические предложения по такого рода оценке частично изложены в статье [12]. В этом же источнике приводятся результаты расчётов ряда космических научных миссий с использованием названного способа, свидетельствующие о том, что научная результативность может быть увеличена на порядок.

Выводы

Использование способа исследования планеты с использованием «прыгающих» многоразовых взлётно-посадочных комплексов и орбитальных танкеров-заправщиков позволяет провести контактные исследования планеты в глобальных для неё масштабах в пределах одной научной миссии (изучение 5—6 удалённых друг от друга районов планеты).

Использование самого взлётно-посадочного аппарата в качестве платформы для научного инструмента позволяет обеспечить пионерские миссии (при знании, по сути, лишь астрономических данных), отказавшись от поверхностных роверов или атмосферных летательных аппаратов.

Перелёты МВПК из одного района в другой могут сопровождаться маршрутной фото- и видеосъёмкой на относительно небольших высотах, информативных для сравнительной планетологии, что многократно повышает научную информативность миссий.

Научный инструмент, размещаемый на МВПК, может быть стандартизован и использован многократно (при стерилизации после каждого использования и замене одноразовых элементов). Таким инструментом может быть буровая установка, совмещённая с гиперспектрометром, глубинный каротажный зонд, фото-, видеокамера, магнитометры, радиоанализаторы. Эти приборы могут быть использованы для различных планет-целей.

Использование многоразового взлётно-посадочного комплекса в качестве летательного аппарата на планете позволяет значительно сократить сроки проведения космической миссии по сравнению со сроками её реализации с помощью роверов и других средств передвижения — оценочно в 20—200 раз.

Новый способ исследований требует разработки автономных навигационных систем для обеспечения автоматических стыковок в глубоком космосе (стыковки МВПК и ОТЗ), на большом удалении от Земли, от навигационных околоземных систем, от ЦУП.

Таблица 1

Сравнение способов исследований планет

Характеристика	Исследования с пролётных траекторий	Исследования с орбиты спутника	Исследования с высадкой зондов	Исследования с использованием МВПК и ОТЗ
Обеспечение глобальной съёмки планеты	Не обеспечивается	Обеспечивается	Обеспечивается	Обеспечивается
Обеспечение контактных исследований (анализ грунта и т.д.)	Не обеспечивается	Не обеспечивается	Обеспечивается	Обеспечивается
Количество районов планеты, удалённых друг от друга на глобальные расстояния, для которых обеспечиваются контактные исследования	Не обеспечивается	Не обеспечивается	1	5-6
Продолжительность проведения исследований по маршруту на поверхности планеты	Не обеспечивается	Не обеспечивается	От нескольких месяцев до нескольких лет	Минуты
Порядок протяженности маршрутов на планете, км	0	0	До 100	Более 1000. Как таковых ограничений нет
Применимость в пионерских миссиях	Применим	Применим	Только для посадочных станций и атмосферных зондов	Применим
Возможность использования космических средств многократно и для различных космических объектов	Выполняется	Выполняется лишь в рамках объектов конкретной планетарной системы	Не выполняется	Выполняется

Многоразовый взлётно-посадочный комплекс (МВПК) должен быть оснащён автономной (и автоматической) системой навигации при посадке на планету – с учётом того, что эта операция будет проводиться многократно.

Необходимо провести теоретические исследования по обоснованию миссий для конкретных объектов Солнечной системы с использованием многоразовых взлётно-посадочных комплексов и орбитальных танкеров-заправщиков, например для Луны, для спутников Юпитера, Сатурна, Урана или Нептуна. При этом предлагается определить (оценить) размерность МВПК, ОТЗ, оценить временные затраты на их создание и трудоёмкость. При этом при определении размерности межпланетного комплекса необходимо ориентироваться на характеристики новых российских носителей семейства «Ангара», поскольку они позволяют выводить полезные нагрузки свыше 20 т.

Организации Роскосмоса, курирующие направления работ в области инопланетных фундаментальных исследований (ЦНИИМАШ, НПО им. Лавочкина) пока идут другим путём, рассматривая линейки зондов, луноходов (третий описанный выше способ исследований) типа «Луна-Глоб» [7, 8], «Луна-Ресурс-1,2» [8], «Луна-Грунт» [8], «ЭкзоМарс-2» [8, 9], «Венера-Д» [10] и т.д., по сути, приспособившая имеющиеся разработки под новые научные задачи. Однако с точки зрения повышения научной информативности межпланетных миссий, снижения стоимости получаемой информации новый подход в ряде случаев может оказаться предпочтительным, по крайней мере применительно к новым объектам исследований.

Отчасти новый способ исследований уже начал обсуждаться на высоком уровне – на уровне руководства Роскосмоса и РАН. Так, например, в 2014 г. по инициативе Роскосмоса была создана специальная совместная рабочая группа (РГ) Роскосмоса и РАН по подготовке предложений по формирующейся программе изучения Луны под председательством академика Л.М. Зелёного. В группе от ЦНИИМАШ принимал участие и автор этих строк. В рамках работы РГ были подготовлены предложения по программе "Луна – орбита" [11], предложены многоразовые взлётно-посадочные зонды («Корвет») и танкеры-заправщики. Эта программа увязывалась с орбитальными полётами лунного пилотируемого корабля нового поколения (ПТК НП), который обеспечивал возвращение образцов из различных районов Луны на Землю. Таким образом, формально такой спо-

соб исследований применительно к Луне уже де факто получил поддержку и РАН, и Роскосмоса. Тем не менее, судя по утверждённой Федеральной космической программе 2016–2025 гг. [8], пока развитие космических средств фундаментального назначения идёт по другому пути.

За рубежом анализ сценариев с многоразовыми взлётно-посадочными автоматическими аппаратами сегодня ведётся довольно активно. Об этом свидетельствует и совместная работа в рамках международной группы ISEG – International Space Exploration Group [12]. Развиваются также методы изучения совокупной научной результативности космических миссий, исследований сложных многооперационных технических систем, их оптимизации [13–15].

Данные предложения – теоретическое развитие этих работ, обоснование важности внедрения новых методов исследований, превращения КА в основной научный инструмент. Вместе с другими теоретическими работами в направлении планетных исследований [16–21] новый заявленный способ исследований может служить основой для синтеза новой космической программы России, качественно отличающейся от всех предшествующих отечественных космических программ, а также от космических программ других стран.

Библиографический список

1. Садчиков И.И., Чулков С.А. Обоснование рациональной полетной кратности использования двигателей и планера многоразовых средств выведения полезной нагрузки на космические орбиты // Вестник Московского авиационного института. 2009. Т. 16. № 6. С. 164–170.
2. Прощай, Кассини! 2017. URL: <https://severnymayak.ru/2017/09/12/proshhaj-kassini-istoriya-kosmicheskogo-puteshestviya-dlinoj-pochti-v-8-milliardov-kilometrov/>
3. Ракета-носитель. Серия РН Титан 4. URL: <https://www.ecospace.me/Серия+РН+Титан+4.html>
4. Список межпланетных космических аппаратов. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_межпланетных_космических_аппаратов
5. Довгань В.Г. Дистанционное управление луноходами и планетоходами // Земля и Вселенная. 2005. № 2. С. 76–81. URL: <http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/ziv/2005/2-lunohod.html>
6. Марсианская научная лаборатория. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Марсианская_научная_лаборатория
7. Родченко В.В., Садретдинова Э.Р., Гусев Е.В. Выбор параметров пенетратора для исследования лунного грунта // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. № 3. С. 83–90.

8. Основные положения Федеральной космической программы 2016-2025. URL: <https://www.roscosmos.ru/22347/>
9. Ёлкин К.С., Куцев В.Н., Манько А.С., Михайлов В.М. Расчет входа в атмосферу Марса десантного модуля проекта ЭкзоМарс // Вестник Московского авиационного института. 2014. Т. 21. № 4. С. 79-86.
10. Венера-Д. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Венера-Д>
11. Лунная программа России. URL: <https://marstraktor.livejournal.com/195625.html>
12. Saprykin O., Baksheeva E., Safronov V., Tolstel O. About the possibility of use anthropomorphic manipulators and transport robotic systems to create the commercial system for energy, communications and logistics support on the Moon surface // 67th International Astronautical Congress IAC-2016 (Guadalajara, Mexico). Paper ID: 33865.
13. Ларичев О.И. Новый способ анализа неструктурированных проблем: вербальный анализ решений // Проблемы системного анализа и управления: Сборник трудов Института системного анализа Российской академии наук / Под ред. С.В. Емельянова. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. С. 57-91.
14. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
15. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Под ред. И.Ф. Шахнова; Пер. с англ. В.В. Подиновского и др. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
16. Константинов М.С., Мин Т. Оптимизация прямых полётов к Юпитеру с ядерной электроракетной двигательной установкой // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 5. С. 22-33.
17. Воронцов В.А. Исследование проблемных проектных ситуаций при создании средств десантирования автоматических межпланетных станций // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. № 4. С. 64-70.
18. Сапрыкин О.А. Технологии освоения Луны пилотируемыми и автоматическими средствами // Пилотируемые полёты в космос. 2014. № 2(11). С. 35-50.
19. Landgraf M., Hosseini S., Hufenbach B. et al. HERACLES. Human/Robotic Lunar Partnership Mission. Follow-on Assessment (HR PM2). Monografia. – ESA: CDF Study Report. CDF-156(A). 2015. – 318 p.
20. Оптимизация траектории к Юпитеру космического аппарата с малой тягой с использованием двух гравитационных манёвров у Земли // Вестник Московского авиационного института. 2014. Т. 21. № 1. С. 58-69.
21. Константинов М.С. Анализ схем использования гравитационного маневра у Луны для обеспечения вектора гиперболического избытка скорости отлета от Земли // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. № 3. С. 68-77.

PLANETS EXPLORATION WITH REUSABLE TAKEOFF AND LANDING COMPLEXES

Saprykin O.A.

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences (GEOHI RSA),
19, Kosygin str., Moscow, 119991, Russia
e-mail: oleg.sapr@gmail.com*

Abstract

The article performs a comparative analysis of the known methods of the of the solar system planets exploring by automatic interplanetary stations (AMS). These are exploration by the flyby trajectories, from near-planet orbit, and planets exploration by the probes (stationary or mobile) with direct landing on the planet surface. The following conditions ensuring global planet exploration were selected as comparison criteria. They are contact studies (soil analysis, etc.); the possibility for visiting several regions of the planet; maximum routs length for detailed exploration of the planet; applicability while pioneer flights realization,

and the possibility of reusable application of the one-type spacecraft for various space objects studying.

In the process of analysis, conclusion is being drawn that none of the applied methods solves scientific problems concurrently and comprehensively (on a global scale of the studied planet) and in detail (at the level of contact probes). It was proposed herewith to consider the fourth - practically unexplored method of research – by employing orbital refueling tankers (ORT) and reusable takeoff and landing complexes (RTLС). The article demonstrates the possibility of high-tech scenarios realization of scientific missions, combining both scales (such as

exploration of several remote regions of the planet, or even several satellite planets near the giant planets) within the framework of a single mission, as well as contact studies (soil sampling, drilling, etc.). On the example of the flight to the giant planet system (Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune) the author demonstrates the possibility of realizing scenario with multiple landing on the giant planet satellite, as well as with flight continuation to the next satellite of this planet, and its exploring with the same scenario. The RTALC fueling from the fueling tanker side (the ORT, besides the tanker function, performs the function of the scientific mission navigation and communication provision device), ensures the possibility of multiple contact and route studies on the planet (satellite) surface, which is yet impossible with conventional exploration techniques. The RTALC fueling from the fueling tanker side (the ORT, besides the tanker function, performs the function of the scientific mission navigation and communication provision device), ensures the possibility of multiple contact and route studies on the planet (satellite) surface, which is yet impossible with traditional exploration techniques.

Keywords: reusable takeoff and landing complex, orbital refueling tanker, automatic interplanetary station, spacecraft, exploration method, local flight, jump, scientific tools set, route, interplanetary complex.

References

1. Sadchikov I.I., Chulcov S.A. Substantiation of rational flight multiplication factor of using rocket engines and glider in the system's perspective reusable launch vehicles of payload in orbits. *Aerospace MAI Journal*, 2009, vol. 16, no. 6, pp. 164-170.
2. *Proshchai, Cassini!* 2017. URL: <https://severnymayak.ru/2017/09/12/proshhaj-kassini-istoriya-kosmicheskogo-puteshestviya-dlinoj-pochti-v-8-milliardov-kilometrov/>
3. *Raketa-nositel'. Seriya RN Titan 4*. URL: <https://www.ecoruspace.me/Seriya+RN+Titan+4.html>
4. *Spisok mezhplanetnykh kosmicheskikh apparatov*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Spisok_mezhplanetnykh_kosmicheskikh_apparatov
5. Dovgan' V.G. *Zemlya i Vselennaya*, 2005, no. 2, pp. 76-81. URL: <http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/ziv/2005/2-lunohod.html>
6. *Marsianskaya nauchnaya laboratoriya*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Marsianskaya_nauchnaya_laboratoriya
7. Rodchenko V.V., Sadretdinova E.R., Gusev E.V. Choice of parametres of penetrator for research of a lunar ground. *Aerospace MAI Journal*, 2010, vol. 17, no. 3, pp. 83-90.
8. *Osnovnye polozheniya Federal'noi kosmicheskoi programmy 2016-2025*. URL: <https://www.roscosmos.ru/22347/>
9. Elkin K.S., Kushchev V.N., Manko A.S., Mikhailov V.M. Mars entry calculation for descent module of ExoMars project. *Aerospace MAI Journal*, 2014, vol. 21, no. 4, pp. 79-86.
10. *Venera-D*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Венера-Д>
11. *Lunnaya programma Rossii*. URL: <https://marstraktor.livejournal.com/195625.html>
12. Saprykin O., Baksheeva E., Safronov V., Tolstel O. About the possibility of use anthropomorphic manipulators and transport robotic systems to create the commercial system for energy, communications and logistics support on the Moon surface. *67th International Astronautical Congress IAC-2016 (Guadalajara, Mexico)*. Paper ID: 33865.
13. Larichev O.I. *Sbornik trudov Instituta sistemnogo analiza Rossijskoi akademii nauk "Problemy sistemnogo analiza i upravleniya"*, Moscow, Editorial URSS, 2001, pp. 57-91.
14. Saati T. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill, 1980.
15. Keeney R.L., Raiffa H. *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. New York, Cambridge University Press, 2008, 592 p.
16. Konstantinov M.S., Min T. Optimal direct trajectories to the Jupiter with nuclear electric propulsion. *Aerospace MAI Journal*, 2013, vol. 20, no. 5, pp. 22-33.
17. Vorontsov V.A. The study of the project problem situations in the development of the automatic space descent systems. *Aerospace MAI Journal*, 2010, vol. 17, no. 4, pp. 64-70.
18. Saprykin O.A. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2014, no. 2(11), pp. 35-50.
19. Landgraf M., Hosseini S., Hufenbach B. et al. *HERACLES. Human/Robotic Lunar Partnership Mission. Follow-on Assessment (HR PM2)*. Monograph. ESA, CDF Study Report. CDF-156(A), 2015, 318 p.
20. Konstantinov M.S., Orlov A.A. Optimization of low thrust trajectory to the jupiter flight with two gravity assists near the earth. *Aerospace MAI Journal*, 2014, vol. 21, no. 1, pp. 58-69.
21. Konstantinov M.S. The analysis of use of Moon's swingby for providing a vector of hyperbolic excess of velocity at flying away from the Earth. *Aerospace MAI Journal*, 2010, vol. 17, no. 3, pp. 68-77.