

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

Путь к третьему спутнику Юпитера

Российская миссия по исследованию спутника Юпитера Ганимеда, известный также как проект «Лаплас-II», с посадкой на его поверхность обещает стать лидерским проектом отечественной космонавтики, как по научным задачам, так и по технической сложности.

Полет в систему Юпитера займёт около восьми лет и будет проходить по комбинированной баллистической схеме, включающей четыре гравитационных маневра у Венеры и Земли на гелиоцентрическом этапе миссии, и завершающийся целым каскадом таких маневров около юпитерианских лун. Отдельную сложную задачу также представляет посадка на Ганимед.

Решением этих задач в России занимаются сотрудники нескольких организаций, в первую очередь, Научно-производственного объединения им. С.А. Лавочкина и Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ). В ИПМ для расчета подобной и сопоставимых по сложности миссий на базе ИПМ сформировался экспертный коллектив под руководством заведующего отделом ИПМ, профессора Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова д.физ.-мат.н. Ю.Ф. Голубева и руководителя Баллистического центра ИПМ д.физ.-мат.н. А.Г. Тучина. Результаты работ, проведенных специалистами, были представлены на коллоквиуме.

С точки зрения баллистики полет на Ганимед можно разделить на четыре этапа:

- запуск и выведение космического аппарата на околоземную орбиту;
- межпланетный перелет от Земли к Юпитеру;
- полет в системе Юпитера с переходом на орбиту искусственного спутника Ганимеда;
- посадка на Ганимед.

Рассчитывая схемы всех этапов межпланетного перелета, исследователи принимают во внимание несколько факторов: количество топлива, которое можно взять с собой, возможное время старта и планируемое время прилёта, желательную длительность полета (например, стараются минимизировать то время, которое аппарат проводит в областях с повышенной радиацией). От окончательного решения при этом зависит, сколько полезной нагрузки сможет взять аппарат, т.е в конечном счете, какие научные исследования он сможет провести.

Большую часть запланированного времени работы экспедиции к Ганимеду занимает собственно межпланетный перелет: он длится около 6 лет. Аппарат отправляется к Юпитеру не напрямую, а через «промежуточные станции» — пролеты около других крупных небесных тел с использованием так называемых гравитационных маневров. С помощью таких маневров можно ускорить или замедлить космический аппарат или изменить его траекторию с существенной экономией топлива. Время межпланетного перелета при этом увеличивается, но оптимизируется стартовая масса космического аппарата и на борту остается больше места для научной аппаратуры. При этом надо учитывать и стартовое окно — временной период, когда аппарат должен быть запущен с Земли, чтобы достичь цели с минимальными затратами топлива в приемлемые сроки.

Если подлетная схема гравитационных маневров на пути от Земли к Юпитеру, которая часто обозначается EVEE-GA (от «Earth-Venus-Earth-Earth Gravity Assist», последовательность гравманевров «Земля–Венера–Земля–Земля») достаточно хорошо проработана, то тур около юпитерианских лун при условии посадки на Ганимед требует предельно жесткого

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

формирования его баллистических характеристик. Задачу осложняет высокий уровень радиационной опасности: Юпитер обладает мощной магнитосферой и радиационными поясами, заряженные частицы которых могут повредить электронику аппарата. Поэтому для сохранения жизнеспособности посадочного модуля космический аппарат (КА) не должен опускаться ниже орбиты второго галилеева спутника Юпитера Европы. Добавляются ограничения на энергозатраты и общую продолжительность миссии, а также на конфигурацию КА «Юпитер-Земля» во время выполнения гравитационных маневров, чтобы аппарат в это время был «видим» для земного ЦУП.

Результаты глобальных расчетов по полной модели движения на коллоквиуме представил **Алексей Грушевский**, д.физ.-мат.н., ведущий научный сотрудник ИПМ, наработанные коллективом соавторов (Ю.Ф. Голубев, А.В. Грушевский, В.В. Корянов, А.Г. Тучин). Работа проводилась в тесном сотрудничестве с НПО им. С.А. Лавочкина и Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ.

Исследователь рассматривал изящный сценарий, согласно которому гелиоцентрическая траектория межпланетного трансфера аппарата преобразуется в пролетную гиперболу в системе Юпитера. Затем, после выполнения импульса торможения, запускается гибкая цепочка гравитационных маневров около юпитерианских лун.

Алексей Грушевский привел набор типовых вариантов — каскадов маневров в системе Юпитера, рассчитанных для разных дат прилета в эту систему, предельных затрат топлива, продолжительностей миссии и максимальных уровней радиационных доз, допустимых для аппарата. На продемонстрированной анимации типового сценария гравитационных маневров одновременно показывались текущее количество витков и доза полученной радиации. Длительность тура около галилеевых спутников изменяется от полутора до трех лет и включает несколько десятков маневров у Ганимеда и Каллисто (четвертого, наиболее удаленного спутника Юпитера). Как подчеркнул докладчик, использовать можно любую из целого поля синтезированных цепочек в зависимости от задач миссии (маневры у Европы, не столь безопасны, так как этот спутник находится как раз в зоне радиационных поясов). Кроме того, уже в этой фазе полета можно проводить научные наблюдения при близком прохождении спутников.

Простейшие модели гравитационных маневров используют метод склеивания конических сечений (как правило, эллипсов). Говоря упрощенно, аппарат переходит с одной орбиты на другую (которые и представлены коническими сечениями) с помощью гравманевров и собственных двигателей. Они-то и «склеиваются» друг с другом. Но это — лишь скелет реального движения, анонс успеха.

Команда ИПМ пошла по более кропотливому пути. Точный расчет каждой цепочки гравитационных маневров в чём-то сродни охоте — аппарат запускается в цель точным выстрелом. Сложность увеличивается тем, что «пуля» от точного выстрела должна рикошетом попасть в следующую цель! И так далее... Иначе затраты топлива многократно возрастают.

Выйдя на орбиту искусственного спутника Ганимеда, посадочный аппарат пробудет на ней несколько месяцев, а потом начнёт посадку.

Возможные схемы посадки на Ганимед представил **Алексей Голиков**, к.физ.-мат.н. старший научный сотрудник ИПМ. Одна из них выглядит следующим образом. Аппарат некоторое время находится на круговой полярной орбите искусственного спутника Ганимеда с высотой около 100 км (как показывают вычисления, она достаточно стабильна), затем, после

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

нескольких коррекций, переводится на промежуточную орбиту с высотой от 15 до 100 км. После этого начинается серия коррекций, переводящих аппарат на орбиту посадки.

Представленные баллистические решения, безусловно, не окончательные: очень многое зависит от окончательного облика космического аппарата, точного времени старта и множества других деталей. Кроме того, поскольку сейчас планируется отправить на Ганимед два аппарата: посадочный и орбитальный, — то фазы экспедиции будут также рассчитываться для каждого из них.

Большое значение для повышения класса надежности предстоящей миссии имеет сотрудничество с Европейским космическим агентством. Космический аппарат ЕКА JUICE может использовать и как передаточное звено в сеансах радиосвязи с российским аппаратом, и для того, чтобы уточнить предпосадочную карту Ганимеда и его гравитационный потенциал.

Дополнительная информация:

Сайт коллоквиума «Ganymede Lander: scientific goals and experiments»

<http://glcw2013.cosmos.ru/>

Типичный каскад гравитационных манёвров в системе Юпитера с целью посадки на Ганимед, рассчитанный коллективом ИПМ РАН. Показаны четыре галилеевых спутника Юпитера: Ио, Европа, Ганимед и Каллисто. В представленной цепочке, адаптированной на умеренно ограниченную суммарную дозу радиации, получаемую КА, гравитационные маневры проводятся только около Ганимеда и Каллисто согласно достаточно хитроумной комбинации. (с)

Баллистический центр ИПМ РАН

<http://www.kiam1.rssi.ru/index.php?id=prj&cnt=lps>