
Межпланетные миссии

*Методический
материал
для учителя*

Конструктор урока НТИ по профилю
«Аэрокосмические системы»



Методический материал для учителя

1 ЭТАП: ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ МОМЕНТ.

Учитель встречает класс, приветствует и задает вопрос, зачем колонизировать другие планеты? Для ответа на этот вопрос, учитель должен ознакомиться с методическим материалом ниже.

Существует несколько предпосылок, для исследования и покорения других планет.

1. Экономическая предпосылка.

Астероиды – это остатки от раннего образования Солнечной системы или обломки от разрушения планеты. Десятки тысяч астероидов вращаются вокруг Солнца. В нашей солнечной системе большинство астероидов группируется внутри пояса астероидов, между орбитами Марса и Юпитера, где насчитывается более 1 млн астероидов, около 200 из которых имеют диаметр более 100 км.

Добыча полезных ископаемых на астероидах с помощью роботов — критически важная задача для реализации планов длительных космических полетов на астероиды, Луну и Марс. Хотя внедрение автоматизации в наземной добыче полезных ископаемых шло медленно из-за технических проблем, несколько крупных горнодобывающих компаний, например, РУСАЛ, Rio Tinto, BHP Billiton используют автономное или полуавтономное оборудование и технологии удаленного виртуального управления, которые позволяют горнорабочим управлять оборудованием, находясь на расстоянии тысячи миль от него, что, в принципе, также применимо в космосе. Кроме того, в добычу полезных ископаемых в космосе вовлечены

не только компании. Страны Ближнего Востока разрабатывают космические программы и вкладывают средства в зарождающиеся частные космические инициативы по добыче сырья. Это нацелено на то, чтобы дать им опору для создания внеземных запасов воды — вещества, способного служить топливом для космических путешествий, — и других ресурсов, которые могут быть использованы для производства чего-либо в космосе. У ОАЭ и Саудовской Аравии есть космические программы. Саудовская Аравия подписала в 2015 году договор с Россией о сотрудничестве в области освоения космоса. Помимо денег Ближний Восток также обладает выгодным расположением, находясь близко к экватору, что снижает затраты на запуск космических аппаратов из-за вращения земли. Navitas ожидает, что компании запустят спутники, ищущие редкие газы и металлы на астероидах, в ближайшие пять лет, а фактическая добыча произойдет в ближайшие восемь лет (источник: Bloomberg).

По некоторым оценкам минералы астероидного пояса между Марсом и Юпитером могут стоить 49 секстиллионов рублей (49×10^{21}), что составляет 7 триллионов рублей (примерно 1/3 годового бюджета всей России) для каждого из 7 миллиардов человек на Земле по текущим ценам. Джон С. Льюис, автор «Mining the Sky», утверждает, что астероид диаметром 1 км будет иметь массу около 2 миллиардов тонн. В Солнечной системе возможно находится около миллиона астероидов такого размера. По словам Льюиса, один из этих астероидов будет содержать 30 миллионов тонн никеля, 1,5 миллиона тонн металлического кобальта и 7500 тонн

платины, причем стоимость одной только платины составляет более 10 триллионов рублей или половина годового бюджета России. (источник: Льюис 1996, Биггс 2013, NASA).

Астероиды содержат воду, которая может стать ключом к тому, чтобы добраться до Марса и исследовать дальний космос. Вода является бесценным товаром в космосе, учитывая потенциальные трудности добычи льда на Марсе и/или возможности привезти астероид на Землю.

2. Социально-гуманитарная предпосылка.

Колонии на других планетах имеет смысл организовывать для удобства добычи полезных ископаемых, а также в целях повышения вероятности выживания человечества, в случае глобальных катастроф (столкновение с астероидами и т.д.). В данной предпосылке, пересекаются экономическая составляющая – добыча полезных ископаемых и принцип снижения рисков – выживаемость человечества как вида.

Современные подходы почти всех космических агентств (Роскосмос, NASA, ESA и др.) предполагают освоение других планет в несколько этапов. От разведки до строительства полноценной колонии для людей. При этом ключевую роль на всех этапах играют полуавтоматические роботы различных видов и предназначений, от разведывательных высокопроходимых роверов-планетоходов, до обычных строительных мобильных 3D-принтеров. Например, в «Экзомарс» - совместном проекте Роскосмоса и Европейского космического агентства, основной упор в освоении Марса делается именно на робототехническую группировку управляемую с Земли (<http://exomars.cosmos.ru/index.php?id=1>, <https://exploration.esa.int/web/mars/>).

Разумеется, что при реализации подобных миссий необходимо решить огромное количество задач и столкнуться с большим количеством проблем, среди них конструирование, программирование, доставка, обеспечение энергией, управление и др.

В связи с тем, что на самом Марсе отсутствует горючее для взлетных модулей, пилотируемые миссии на Марс возможны только после того, как будет построена полноценная марсианская колония, имеющая все системы жизнеобеспечения и умеющая производить ракетное топливо из местных ресурсов. Но для этого нужно что-то что будет строить эту колонию без участия человека. Это и есть наши роботы. Именно они и являются первыми земными колонистами Марса.

3. Исследовательская предпосылка.

Для снижения рисков и затрат на реализацию масштабных проектов, целесообразно делать предварительные исследования и эксперименты, позволяющие проверить предварительные научные гипотезы на небольших проектах. Такие исследования позволяют отработать технологии, подходы к реализации, принципы управления и т.д. Что в свою очередь существенно снижает риски при реализации уже масштабных экономических и социальных проектов.

2 ЭТАП : АКТУАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЯ

Учитель должен познакомиться с основными этапами строительства Марсианской базы входящими в Российско-Европейский проект «Экзомарс». После чего провести устный опрос учащихся о том какие этапы строительства Марсианской базы они могут придумать и как именно они будут их реализовывать. Результаты опроса надо будет записать в таблицу «Основные этапы освоения других планет». После опроса рассказать учащимся об этапности строительства Марсианской базы «Экзомарс», используя слайды 7-9.

Первым этапом в построении колонии на Марсе, конечно, было бы обнаружение места на планете, наиболее пригодного для выживания. Ученые обращают внимание на полюса планеты, где сосредоточены большие запасы льда, которые накапливались много тысяч лет. Этот лед содержит

значительное количество замерзшей воды, которую потенциально можно добыть и подготовить для употребления людьми.

На полюсах также есть много других полезных ресурсов, таких как углекислый газ, железо, алюминий, кремний, сера. Их можно использовать для производства, например, стекла, кирпича, пластика и других необходимых в строительстве материалов. В конце концов, приложив усилия, можно будет даже использовать водород и метан на планете для производства топлива. Впрочем, все эти ресурсы, как и пригодная для жизни среда, не будут доступны для первых колонистов сразу. Поэтому сначала предлагается отправить на Марс группу роботов, которые бы начать строительство до прибытия людей.

Второй этап – построение марсианской базы. Она должна состоять из трех частей: центрального ядра, трех капсул и массивного купола, который бы все это накрывал. Центральное ядро базы должно быть 12,5 метров высотой и 5 метров в диаметре. Оно должно служить в качестве небольших, но достаточных жилых помещений для астронавтов. Три капсулы вокруг ядра будут играть роль воздушных пробок – переходов, соединяющих ядро с поверхностью Марса и минимизирующих перепад атмосферного давления между ними. А огромный купол из полиэтиленового волокна должен быть покрыт 5 метрами льда, которые будут закрывать всю площадь базы. Это нужно для того, чтобы защитить колонию от космической радиации, а также отрегулировать воздушное давление.

Как только роботы закончат строить базу, на Марс отправится экипаж из шести человек. Лучше всего запустить эту миссию во время марсианского полярного лета, когда солнечный свет будет сохраняться в течение 288 дней. Конечно, астронавтам будут нужны запасы пищи и элементов питания, чтобы пережить такое продолжительное лето. А также пригодятся реакторы, которые бы смогли

производить энергию из марсианских элементов, таких как торий.

Заключительный этап – расширение базы и подготовка к терраформированию. Роботы под контролем колонистов значительно расширяют базу для того, чтобы она могла принять больше колонистов. Начинается масштабная подготовка к строительству ферм на которых будут размножаться бактерии, производящие кислород.

3 ЭТАП: ПОСТАНОВКА УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ «ДОЗВОНИТЬСЯ ДО МАРСА».

Задание: Определить два значения задержки сигнала связи от Земли до Марса и обратно, пренебрегая задержками, возникающими в оборудовании систем связи. Первое значение соответствует максимальному сближению планет, второе максимальному удалению друг от друга.

Данные для расчета:

Земля — третья по удалённости от Солнца планета Солнечной системы. Самая плотная, пятая по диаметру и массе среди всех планет и крупнейшая среди планет земной группы, в которую входят также Меркурий, Венера и Марс.

Перигелий	147 098 290 км
Афелий	152 098 232 км
Средний радиус	6371,0 км

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Земля>

Марс — четвёртая по удалённости от Солнца и седьмая по размерам планета Солнечной системы; масса планеты составляет 10,7 % массы Земли. Названа в честь Марса — древнеримского бога войны, соответствующего древнегреческому Аресу. Иногда Марс называют «красной планетой» из-за красноватого оттенка поверхности, придаваемого ей минералом маггемитом — γ -оксидом железа(III).

Марс — планета земной группы с разреженной атмосферой (давление у поверхности в 160 раз меньше земного). Особенности поверхностного рельефа Марса можно считать ударные кратеры наподобие лунных, а также вулканы, долины, пустыни и полярные ледниковые шапки наподобие земных.

У Марса есть два естественных спутника — Фобос и Деймос (в переводе с древнегреческого — «страх» и «ужас», имена двух сыновей Ареса, сопровождавших его в бою), которые относительно малы (Фобос — $26,8 \times 22,4 \times 18,4$ км, Деймос — $15 \times 12,2 \times 10,4$ км) и имеют неправильную форму.

Начиная с 1960-х годов непосредственным исследованием Марса с помощью АМС занимались СССР (программы «Марс» и «Фобос»), США (программы «Маринер», «Викинг», «Mars Global Surveyor» и другие), Европейское космическое агентство (программа «Марс-экспресс») и Индия (программа «Мангальян»). На сегодняшний день, после Земли, Марс – самая подробно изученная планета Солнечной системы.

Перигелий	$2,06655 \cdot 10^8$ км
Афелий	$2,49232 \cdot 10^8$ км
Средний радиус	$3389,5 \pm 0,2$ км

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Марс>

Решение:

Найдем расстояния между планетами.

Общие рассуждения для снижения количества расчетов:

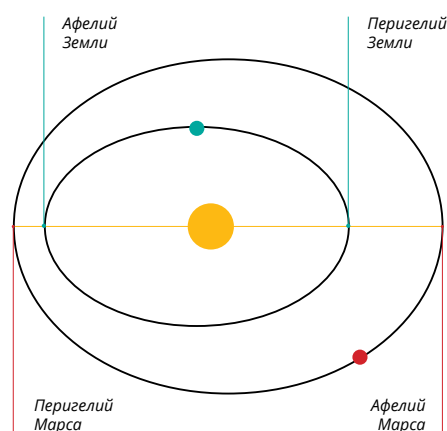
1. Как известно из-за того, что орбиты планет солнечной системы имеют эллипсовидную форму, и сами эллипсы орбит расположены так, что Солнце находится в одном из фокусов каждого эллипса, но орбита Марса гораздо более вытянута (см. рисунок).
- Очевидно, что расстояние между планетами максимально, когда Земля и Марс находятся в афелии.
- Очевидно, что расстояние между планетами минимально, когда Земля находится в афелии, а Марс находится в перигелии.

2. Найдем максимальное расстояние между планетами L_{\max} оно равно афелию Земли + афелий Марса.

$$L_{\max} = 152\,098\,232 + 249\,232\,000 = 401\,330\,232 \text{ (км)}$$

Для чистоты вычислений, можете предложить прибавить к этому расстоянию радиусы Земли и Марса, т. к. это и есть самое максимальное расстояние между точками планет, а значения перигелиев и афелиев взяты от центров планет, а не от поверхности. Таким образом:

$$L_{\max} = 152\,098\,232 + 249\,232\,000 + 6371 + 3390 = 401\,339\,993 \text{ (км)}$$



3. Теперь найдем минимальное расстояние между планетами L_{min} , оно равно перигелию Марса – афелий Земли.

$$L_{min} = 206\,655\,000 - 152\,098\,232 = 54\,556\,768 \text{ (км)}$$

Или аналогично вычитая радиусы планет:

$$L_{min} = 206\,655\,000 - 152\,098\,232 - 6371 - 3390 = 54\,547\,007 \text{ (км)}$$

4. Теперь найдем время T_{min} , за которое сигнал пройдет минимальное расстояние между планетами и вернется обратно: $T_{min} = 2 L_{min} / C$, где C это скорость света в вакууме = 300 000 км/с.

$$T_{min} = 2 * 54\,547\,007 / 300\,000 = 2 * 181,8 = 363,6 \text{ сек или } 6,06 \text{ мин}$$

5. Теперь найдем время T_{max} , за которое сигнал пройдет минимальное расстояние между планетами и вернется обратно: $T_{max} = 2 L_{max} / C$

$$T_{max} = 2 * 401\,339\,993 / 300\,000 = 2 * 1\,337,8 = 2\,675,6 \text{ сек или } 44,6 \text{ мин}$$

Примечания:

1. Надо заметить, что рассмотренная выше задача не полностью отражает физическую картину нашей солнечной системы. В реальности плоскости орбит Марса и Земли имеют наклон около 2-х градусов, таким образом расстояния надо считать с учетом этого угла. Но в связи с его малостью, мы этим пренебрегаем. Тем не менее в случае со строгими астрономическими расчетами это необходимо учитывать.
2. Марс и Земля постоянно движутся, и такие предельные случаи возникают в среднем раз в 17 лет. Таким образом реальная картина задержки сигнала является чем-то средним между полученными нами значениями.

Выводы:

1. Существующее на сегодняшний день управление марсоходами не позволяет проводить

какие-либо миссии кроме разведывательно-исследовательских, в связи с высоким временем отклика.

2. Для снижения времени отклика необходимо иметь центр управления миссией на орбите Марса.
3. Орбитальный Центр управления миссией, не только снижает время отклика, но и позволяет вернуть космонавтов на Землю и организовать вахтовое ведение работы. Т.к. в случае посадки космонавта на Марс, ввиду отсутствия горючего на самом Марсе, это будет билет в один конец.
4. Единственный экономически целесообразный вариант колонизации – роботизированная постройка полностью автономной колонии, с последующим заселением ее колонистами.

4 ЭТАП УРОКА: ГРУППОВАЯ РАБОТА САМОАНАЛИЗ И САМОКОНТРОЛЬ.

Каждая группа докладывает, что получилось в итоге расчетов и высказывает гипотезы возможности реализации целей миссии. Затем учащиеся обсуждают получившиеся результаты, сравнивают свои выводы и решают, что нужно сделать, чтобы миссия была выполнена, т.е. база была построена.

Учитель развивает мысль учащихся о роботизированных миссиях, знакомит учащихся с теоретическими предпосылками доктрины освоения иных планет при помощи роботизированных роверов-планетоходов, управляемых с ЦУПа на орбите осваиваемой планеты.

После доклада всех групп, учитель показывает слайд 13 с правильным ответом.

ЭТАП УРОКА 5. ПОСТАНОВКА УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ. «ОТКРЫТИЕ НОВОГО ЗНАНИЯ».

Задание: учитель организует обсуждение и ставит проблемный вопрос: что получается на основании расчетов задачи «Дозвониться до Марса»? Возможна ли инопланетная миссия, управляемая с земли?

А может существуют какие-то другие способы? Задача учителя привести учащихся к выводу о необходимости управляемой с орбиты роботизированной миссии для освоения других планет.

В рамках этого раздела мы рассматриваем общие подходы к управлению удаленными роботизированными миссиями. Основной проблемой в управлении инопланетными миссиями является связь. Двухсторонняя задержка т.е. время на передачу сигнала туда и обратно между Землей и Марсом, в лучшем случае составляет 6+ минут и в худшем случае наибольшего удаления между планетами доходит до 45 минут. При этом в связи с вращением Земли и Марса вокруг своей оси, для обеспече-

ния постоянной связи необходимо поддерживать спутники связи на орбитах обеих планет и иметь большое количество наземных станций связи. Например, для управления Российско-Европейской миссией «Экзомарс» будет использоваться сеть связи ESTRACK Европейского космического агентства, состоящая из 8 наземных станций связи, расположенных в Европе, Южной Америке, Австралии и Африке, а также орбитальный спутник связи Mars Express Orbiter.

Управление американской миссией марсохода Curiosity представлено в презентации на слайдах 14-28.

Учитель организует обсуждение и ставит еще один проблемный вопрос: Как управлять роботом находящемся на поверхности планеты при условии нестабильной связи?

Существует несколько вариантов управления роботом. Самый очевидный – прямое управление. Под прямым управлением понимается непосредственная передача управляющих команд от оператора к роверу. По аналогии с автомобилем. Руль повернул – колеса повернулись. Однако, в случае с Марсом, поворот колес будет осуществлен, только через не менее 6 минут после поворота руля. В связи с тем, что связь с роверами на дальних планетах нестабильна и имеет большие задержки, прямое управление ровером невозможно.

Наиболее используемым способом является пакетное управление, где после анализа окружающей местности и измерения длин, начинается сборка пакета команд на движение. Т.е. такой последовательности команд на движение которая приведет марсоход в нужную точку. Как правило, сбор и анализ данных занимает целый день, после чего пакет передается на ровер, и марсоход отрабатывает его и опять передает данные об окружающей местности в ЦУП для анализа.

Перспективные миссии освоения Марса плани-

руют расположение на орбите обитаемой космической станции, космонавты которой и будут осуществлять контроль над роботами в режиме реального времени. Однако, несмотря на это, в целях минимизации риска потери связи и высвобождения людских ресурсов, разработчики роботов делают все, чтобы роботы из телеуправляемых, требующих постоянного контроля оператора, превращались в автономных, которым оператор лишь ставит задачи и контролирует их выполнение, на текущий момент основным остается пакетный режим управления.

Перспектива развития данного направления полностью автоматические робототехнические комплексы под управлением искусственного интеллекта, требующие минимального вмешательства человека. Могущие осуществлять сложные задачи, не только исследование окружающей местности, но и строительство, ремонт, дальняя разведка.

Выводы:

1. Существующее на сегодняшний день реализованное управление марсоходами не позволяет проводить какие-либо миссии кроме разведывательно-исследовательских, в связи с высоким временем отклика.
2. Для снижения времени отклика необходимо иметь центр управления миссией на орбите Марса.
3. Орбитальный Центр управления миссией, не только снижает время отклика, но и позволяет вернуть космонавтов на Землю и организовать вахтовое ведение работы. Т.к. в случае посадки космонавта на Марс, ввиду отсутствия ракетного горючего на самом Марсе, это будет билет в один конец.
4. Развитие технологий искусственного интеллекта, технологий робототехники и создание новых материалов позволит существенно продвинуться в направлении строительства внеземных баз.

Опрос «Основные этапы освоения других планет»

[illegible]

Рефлексия и самооценка

Темы урока	+	-	?
Познакомится с экономическими и научными предпосылками к исследованию и покорению других планет			
Познакомится с основными принципами ведущих космических агентств в области освоения других планет			
Познакомится с особенностями управления инопланетными роботизированными миссиями			
Научится анализировать избыточные данные для решения сложных инженерных задач			
Научится проводить оценки инженерно-физических величин для принятия проектных решений			
Спроектировать собственную орбиту			
Получить представление о распространении сигнала между планетами Солнечной системы			
Узнать о профиле «Аэрокосмические Системы» Олимпиады Кругового движения НТИ			

В данном случае знаки означают: «+» - все понятно; «-» - ничего не понятно; «?» - интересно, хочу узнать больше. Соответствующий бланк с таблицей также есть в раздаточных материалах для учеников.