

**ВСЕРОССИЙСКИЙ ДЕТСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ
«ПЕРВЫЕ ШАГИ В НАУКЕ»**

Направление: технологии и техническое творчество

**Тема: Модульный планетоход для исследования спутников планет
на базе универсального конструктора "LEGO MINDSTORMS EV3"**

Соискатель:

Фурсенко Иван Александрович

учащийся 5 класса

муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения «Открытый космический лицей имени дважды Героя Советского Союза летчика-космонавта Георгия Тимофеевича Берегового» муниципального образования городской округ Симферополь Республики Крым

Научный руководитель:

Кичижиева Марина Валерьевна,

педагог дополнительного образования Государственного бюджетного образовательного учреждение дополнительного образования Республики Крым «Малая академия наук «Искатель»

Место выполнения работы:

Республика Крым, г. Симферополь

Аннотация

МОДУЛЬНЫЙ ПЛАНЕТОХОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОНСТРУКТОРА «LEGO MINDSTORMS EV3»

Работа посвящена конструированию учебной модели планетохода для исследования малых спутников планет.

Актуальность темы исследования. Малые спутники планет — это миры, про которые мало что известно. Особый интерес представляют те, которые покрыты льдом, поскольку вода является источником жизни для многих микроорганизмов. Поиск следов жизни на ледяных спутниках — важная и очень увлекательная задача для науки и техники.

В работе проанализированы условия эксплуатации планетохода на Европе и других ледяных спутниках (низкие температуры, неоднородная ледяная поверхность, пониженная гравитация, повышенная радиация, слабая освещённость), а также влияние большой задержки радиосвязи между Землей и Европой (35–52 минуты в одну сторону) на способы управления аппаратом. Сформулированы основные требования к планетоходу: высокая проходимость на льду и рыхлом реголите, наличие узла отбора проб, экономное энергопотребление и автономное выполнение миссии.

Разработана и собрана учебная модель планетохода «РоверЛаб-01» на базе универсального конструктора LEGO MINDSTORMS EV3 с модульной конструкцией, включающей в себя: переключаемую ходовую часть (происходит смена колёс на колеса с грунтозацепами), буровой модуль, зонд для забора грунта, имитацию анализатора на датчике цвета/света и мачту связи. Обоснован выбор источника питания типа РИТЭГ для реальной миссии. В планетоходе он представлен в виде модели. Реализована программа автономной миссии в среде CLEV3R. Программа включает в себя: движение по маршруту, обнаружение и объезд препятствий по датчикам расстояния, переключение режима движения, бурение, «анализ» пробы и пакетную передачу отчётов. Показано, что учебное моделирование позволяет наглядно отработать принципы автономной космической робототехники при ограниченной энергии и больших задержках связи.

Практическая значимость проекта заключается в том, что модель планетохода «РоверЛаб-01» может использоваться в обучающих целях в школах и на занятиях в профильных кружках для изучения реальных задач космической робототехники: проходимости, отбора проб, энергосбережения и автономного управления при больших задержках связи.

Объем работы – 19 страниц. Работа содержит 12 иллюстраций, 15 литературных источников, 2 приложения.

Оглавление

Введение.....	4
1. Условия работы на Европе и похожих спутниках.....	5
2. Анализ требований к планетоходу.....	7
3. Анализ и обоснование выбора источника питания для планетохода.....	8
4. Связь, расстояние и задержка сигнала.....	9
5. Описание модели планетохода.....	10
6. Программирование и алгоритмы.....	14
Заключение.....	15
Список использованных источников.....	16
Приложение 1. Фрагменты листинга программы.....	17
Приложение 2. Программа управления планетоходом	18

Введение

Актуальность темы исследования. Спутники планет — это особые миры, про которые мы знаем ещё очень мало. Один из самых интересных объектов — Европа, спутник Юпитера. Она покрыта толстой ледяной корой и по данным космических аппаратов, под ней может находиться солёный океан. А где есть жидкая вода, там могут быть условия для жизни. Поэтому поиск следов жизни на Европе и других ледяных спутниках — важная и очень увлекательная задача для науки и техники.

Работа исследовательского аппарата сложна не только из-за льда, трещин и низких температур. Юпитер далеко от Земли, поэтому радиосигнал летит долго: в зависимости от взаимного положения планет задержка в одну сторону может составлять примерно от 35 до 52 минут. Значит, управлять планетоходом «вручную» достаточно сложно. Поэтому ему нужны автономные программы, чтобы он сам выполнял последовательность действий и передавал отчёты.

Цель проекта — разработать учебную модель планетохода «РоверЛаб-01» на базе универсального конструктора «LEGO MINDSTORMS EV3», предназначенную для исследования поверхности спутников планет.

Были поставлены следующие задачи:

- изучить возможности условий работы исследовательской техники на малых планетах, с учетом последних научных данных и экспериментов;
- оценить влияние расстояния до Земли и рассчитать примерную задержку сигнала;
- проанализировать и изучить проблему передач данных при больших задержках связи;
- обосновать выбор источника энергии для планетохода;
- спроектировать и собрать планетоход с модулями: ходовая часть, бур, «анализатор», источник питания, «антенна»;
- предусмотреть передвижение планетохода по разным типам поверхностей;
- разработать программу автономной миссии: движение, выбор типа двигателя, бурение, анализ и отправка отчёта.

Объектом исследования является возможность эксплуатации исследовательских планетоходов на спутниках планет с различными типами поверхностей.

Предмет исследования — модель планетохода «РоверЛаб-01» и инженерные решения для его построения.

В данной работе была сформулирована следующая гипотеза: практическое моделирование планетохода помогает глубоко проанализировать сложности реализации проекта и понять логику принятия инженерных решений в реальных запусках.

Практическая значимость проекта в том, что модель планетохода «РоверЛаб-01» может использоваться в обучающих целях в школах и на занятиях в профильных кружках для изучения реальных задач космической робототехники: проходимости, отбора проб, энергосбережения и автономного управления при больших задержках связи.

1. Условия работы на Европе и похожих спутниках

Жизнь на Европе

Возможно, внеземная жизнь гораздо ближе к нам, чем кажется, поскольку жидкая вода, которая нужна для возникновения и поддержания существования аналога земной жизни, не редкость в Солнечной системе. Так, уже доказано (или почти доказано) существование океанов жидкой воды у ряда спутников планет-гигантов.

О неоднородной поверхности Европы известно давно, как и о том, что ее поверхность — лед. Долгое время считалось, что спутник Юпитера покрыт многокилометровым слоем льда, так что спутник представляет собой нечто вроде снежка с каменным ядром внутри. Но, как оказалось, реальность гораздо интереснее — космический аппарат «Галилео» обнаружил признаки существования гейзеров над поверхностью Европы. Изучив переданные аппаратом данные, ученые выяснили, что в нескольких случаях показания магнитометра очень сильно менялись. Так случилось, в частности, 16 декабря 1997 года, когда расстояние до поверхности спутника Юпитера составило всего 206 километров. Ученые предположили, что «Галилео» прошел через гейзер.

Орбитальный телескоп «Хаббл» помог доказать существование гейзеров. Ну а раз они есть, значит, подо льдом Европы — жидкая вода, и ее много. Она может быть (и скорее всего это так) соленой, причем соль может быть не поваренной, а «английской», т.е. это калийная соль. Но в любом случае есть далеко ненулевой шанс существования под поверхностью Европы жизни — хоть микроскопической, хоть многоклеточной.

Дно океана на Европе соприкасается с горными породами. Такое устройство позволяет осуществлять химические взаимодействия, в результате которых вырабатывается энергия. Это делает спутник Юпитера главным кандидатом на существование жизни.

Её поверхность покрыта корой водяного льда с трещинами, грядками и «хаотическими» полями из плит льда (рисунок 2). Между плитами встречаются участки с рыхлым ледяным реголитом, похожим на снег или мелкий гравий. Местность неоднородная: есть гладкие «катки» и зоны с кочками, трещинами и уклонами.



Рисунок 1. Изображение Европы



Рисунок 2. Поверхность Европы крупным планом.

Гравитация на Европе около 0,13 от земной. Планетоход весит значительно меньше, легче «подскакивает» на неровностях и хуже прижимается к грунту. Это уменьшает сцепление колёс, повышает риск пробуксовки и опрокидывания, особенно на уклонах или при резких поворотах.

Температуры очень низкие: примерно от $-220\text{ }^{\circ}\text{C}$ на полюсах до около $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ вблизи экватора. Лёд при таких температурах твёрдый и хрупкий. Любые смазки замерзают и густеют, а

металл и пластик становятся ломкими. Поэтому реальные аппараты требуют теплоизоляции и подогрева узлов.

Наблюдения, сделанные с помощью телескопов, показывают, что у Европы есть слабая, но богатая кислородом атмосфера. Также ученые предполагают, что из океана периодически извергаются шлейфы воды. Есть некоторые свидетельства присутствия на поверхности спутника основных химических элементов, включая углерод, водород, азот, кислород, фосфор и серу. Некоторые из них могут просачиваться в воду с поверхности. Нагрев Европы и ее океана происходит отчасти благодаря вращению вокруг Юпитера, которое создает приливные силы.

Освещённость у орбиты Юпитера примерно в 27 раз ниже земной (Солнце далеко — на расстоянии около 5,2 астрономических единиц (а.е.)). Кроме того, периодически Европа попадает в тень Юпитера, и освещение падает до нуля на несколько часов. Это делает солнечные панели малоэффективными, и поэтому для реальной миссии часто выбирают радиоизотопный источник (РИТЭГ), который показал свою практичность и надежность работы.

Из-за мощного магнитного поля Юпитера на Европу попадает много заряженных частиц. Это нужно учитывать при конструировании планетохода. Для нашей учебной модели мы предполагаем, что исследовательская миссия ограничена во времени.

Аналогичные условия работы и на других ледяных спутниках, например на Ганимеди, Энцеладе или Тритоне.

Космический аппарат Europa Clipper, запущенный 14 октября 2024 года к спутнику Юпитера Европе долетит до Европы в июле 2031 года. Он вряд ли обнаружит жизнь на ней, как рассчитывают организаторы миссии. Однако станция может обнаружить косвенные признаки существования биологических организмов на этом небесном теле. Об этом «Известиям» рассказали эксперты в российской космической отрасли.

Директор Института космических исследований РАН Анатолий Петрукович пояснил, что космический аппарат не будет садиться на поверхность Европы, поскольку для этого требуется энергетически затратный тормозной маневр. Вместо этого он выйдет на орбиту Юпитера, периодически проходя мимо орбиты Европы, и сблизится с ней 49 раз. Наименьшее расстояние между станцией и небесным телом составит 25 км.

«Однако с такой высоты невозможно увидеть бактерии, даже если они там есть. Поэтому Europa Clipper будет искать не саму жизнь, а условия, которые способствуют ее существованию. Это трудная задача, поскольку на Европе сильная радиация. Она разрушает любые сложные молекулы. В связи с тем оборудование станции будет ориентировано на поиск простых органических соединений», — рассказал он.

Для более детальных исследований возможности существования жизни на Европе, необходимо работать на её поверхности, с суровыми ледяными условиями, когда сигнал от Земли до аппарата на поверхности спутника летит не менее 30 минут.

Эти условия эксплуатации определяют конструкторские решения, реализованные в модели планетохода «РоверЛаб-01»: возможность выбора способа перемещения для разных типов грунта, буровой модуль, исследовательский зонд, имитация радиоизотопного источника питания с возможностью использовать часть энергии на подогрев механизмов и узлов, возможность автономной работы.

2. Анализ требований к планетоходу

Учебный планетоход «РоверЛаб-01» предназначен для разведки поверхности ледяных спутников, прежде всего Европы. Он должен уметь самостоятельно пройти участок местности, выбрать подходящую точку, отобрать пробу, выполнить её первичный анализ и передать отчёт, учитывая большую задержку связи с Землёй.

Основное требование к ходовой части — высокая проходимость при низком давлении на грунт. Для этого «РоверЛаб-01» оснащается двумя взаимозаменяемыми режимами: колёсным и колеса с грунтозацепами. Морозоустойчивые широкие колёса из специальных материалов и колеса с грунтозацепами предположительно обеспечивают сцепление на рыхлом «реголите» и на льду. Центр масс должен располагаться как можно ниже, чтобы уменьшить риск опрокидывания при старте, на уклонах и при разворотах. Переключение между режимами допускается как по команде оператора, так и по условию автономной работы.

Для отбора образцов необходим буровой модуль с понижающим редуктором, ограничивающим скорость и крутящий момент, и исследовательский зонд. Буровой модуль делает отверстие в грунте. Затем в это отверстие опускается зонд и совершает забор образцов породы.

Проба доставляется в небольшой закрытый контейнер, откуда затем подаётся в имитатор «спектроанализатора», расположенный внутри блока управления. Роль анализатора выполняет датчик цвета/света, который различает несколько условных «химических меток» образцов; результат заносится в память как категория и сопровождается служебными данными. Наружная реализация анализатора в модели планетохода не представлена.

Из-за большой задержки радиосигнала (в одну сторону 35–52 минуты) постоянное ручное управление невозможно, поэтому ровер обязан работать автономно. Управление строится из набора действий: поиск и движение, обход препятствий по данным датчиков, остановка у цели, бурение, анализ, формирование отчёта и возврат. Если связь временно недоступна, аппарат завершает текущую операцию и переходит в безопасный режим ожидания. Отчёт содержит пройденное расстояние или координаты, тип поверхности и режим ходовой части, глубину и время бурения, результат «анализа» и отметку времени.

В качестве источника энергии для реальной миссии принимается РИТЭГ — радиоизотопный термоэлектрический генератор, который обеспечивает стабильную электрическую мощность и тепло для подогрева узлов. В учебной модели РИТЭГ имитируется аккумулятором. Предусмотрены ограничения: одновременная работа не более двух мощных моторов, последовательное выполнение операций «движение — бурение — анализ», а также учёт времени работы каждого узла. В программном обеспечении ведётся счётчик затрата энергии; при снижении запаса ровер автоматически переходит в экономичный режим (снижает скорость, отказывается от вторичного бурения, немедленно отправляет отчёт). Питание важных модулей, таких как контроллер, модуль связи, датчики, имеют приоритет.

Планетоход состоит из модулей. Часть из них (ходовая часть, буровой модуль, анализатор и блок связи) выполнены как отдельные заменяемые узлы. Дублирование по функциям достигается наличием двух режимов движителя — при отказе одного ровер способен завершить миссию в другом.

Надежность работы в автономном режиме поддерживается за счет самотестирования при включении. Конструкция модели планетохода позволяет упростить его обслуживание за счет быстрого доступа к аккумулятору, чистке ходовой и замене бура без разборки рамы.

3. Анализ и обоснование выбора источника питания для планетохода

Для планетохода «РоверЛаб-01» на Европе источник энергии решает сразу две задачи: питание электроники и привода, а также обогрев. У орбиты Юпитера Солнце светит гораздо слабее, чем у Земли. Интенсивность света падает обратноквадратично расстоянию: при расстоянии около 5,2 астрономических единиц от Солнца получаем примерно $1/27$ земного освещения. Если на Земле солнечный поток около 1360 Вт/м^2 , то у Европы — приблизительно 50 Вт/м^2 . Даже если взять высокоэффективные солнечные панели (20–25%), реальная электрическая мощность составит лишь 10–12 Вт с одного квадратного метра. Чтобы получить порядка 100 Вт, нужных для работы научных приборов, связи и приводов, пришлось бы нести панели площадью около 8–10 м². Для небольшого планетохода такая площадь слишком велика по массе, габаритам и хрупкости, а разворачивать и ориентировать столь большие панели на неровной местности трудно и опасно.

Кроме слабого света нужно учитывать ещё два фактора. Во-первых, Европа регулярно проходит через тень Юпитера: раз в 3,55 суток наступает «затмение» на несколько часов, когда солнечные панели вообще не работают. Во-вторых, сильная радиация в магнитосфере Юпитера быстро приведет солнечные элементы в негодность (состарит), снижая их эффективность. При этом температуры поверхности (до $-160\dots-220 \text{ }^\circ\text{C}$). При таких условиях механизмы и аккумуляторы нуждаются в постоянном подогреве. Если греть от солнечных панелей, то значительная часть и без того небольшой энергии ушла бы просто на тепло, особенно во время длинных ночей и затмений.

Радиоизотопный термоэлектрический генератор (РИТЭГ) устойчив к этим проблемам. Он производит электричество за счёт распада радиоизотопа и не зависит от света, тени, угла Солнца и загрязнений на поверхности. Важнейшее преимущество — постоянный тепловой поток, которым можно обогревать приборы и батареи, поддерживая их в рабочем диапазоне. Это резко упрощает тепловой режим ровера: не нужны большие панели, сложные механизмы наведения и массивные аккумуляторы для ночной работы, а электроника получает стабильное питание на протяжении многих лет.

У РИТЭГа есть и ограничения: это сравнительно тяжёлый и дорогой источник, его электрическая мощность не очень велика и медленно уменьшается со временем. Однако для миссии на Европе его плюсы перевешивают минусы: надёжность, независимость от освещения, естественный обогрев и стойкость к радиации делают его оптимальным выбором для поверхностного аппарата.

4. Связь, расстояние и задержка сигнала

Для планетохода на Европе связь с Землёй — одна из ключевых задач. Расстояние между планетами постоянно меняется, поэтому радиосигналу требуется много времени, чтобы долететь до Земли. Время пролёта определяется формулой

$$t = d / c,$$

где d — расстояние, c — скорость света (около 299 792 км/с).

При минимальной дистанции Земля—Европа около 4,2 а.е. (≈ 628 млн км) задержка в одну сторону составляет примерно 2096 секунд (около 35 минут). При максимальной дистанции около 6,2 а.е. (≈ 927 млн км) она возрастает до 3093 секунд (примерно 52 минуты). Это означает, что на получение ответа после отправки команды уходит от 70 до 104 минут. «Ручное» управление по типу радиоуправляемой машины в таких условиях практически невозможно.

Из-за таких больших задержек по времени планетоход должен уметь работать в автоматическом режиме. Команды передаются не по одной, а пакетами: на бортовой компьютер загружается «сценарий миссии» — последовательность действий с условиями и ограничениями. Если датчик расстояния увидел препятствие, планетоход обходит его и возвращается на маршрут; если наклон корпуса превышает безопасный угол, операция прерывается и аппарат переходит в режим ожидания. Все события записываются в электронный журнал и позже отправляются на Землю.

Дальность и условия работы в окрестности Юпитера накладывают ограничения и на скорость передачи данных. Даже при использовании направленной антенны поток информации будет сравнительно невелик. Когда Европа закрывается Юпитером связь может прерываться. Для таких случаев можно предусмотреть орбитальный ретранслятор, который принимает сигнал от планетохода и передаёт их на Землю в более удобное время. При демонстрации работы роль ретранслятора можно имитировать ноутбуком.

В конструкции планетохода «РоверЛаб-01» предусмотрены ультразвуковой и инфракрасный датчики дальности/приближения. Ультразвуковой используется для обнаружения крупных препятствий и оценки дистанции на средней дальности, а инфракрасный — для «ближней зоны» и для поверхностей, где звук отражается нестабильно. В программе реализован алгоритм обнаружения и объезда препятствий: датчик непрерывно сканирует пространство перед собой, замедляется при опасном сближении, выбирает безопасную сторону по минимальному расстоянию, выполняет объезд дугой или серией манёвров «вправо — вперёд — влево» и затем возвращается на исходную траекторию. Срабатывание датчика наклона или касания переводит аппарат в режим остановки и нового поиска пути. Такая автономия позволяет «РоверЛаб-01» уверенно продвигаться по маршруту без постоянных команд с Земли.

5. Описание модели планетохода

Планетоход «РоверЛаб-01» спроектирован как набор взаимозаменяемых модулей: базовое шасси с переключаемым типом движения, буровой комплекс на подвижной стреле, блок исследовательского зонда, макет РИТЭГ и мачта связи с антенной и датчиками. Такая компоновка позволяет быстро перестраивать ровер под разные задания и облегчает ремонт. Внешний вид планетохода представлен на рисунке 3 (а и б).

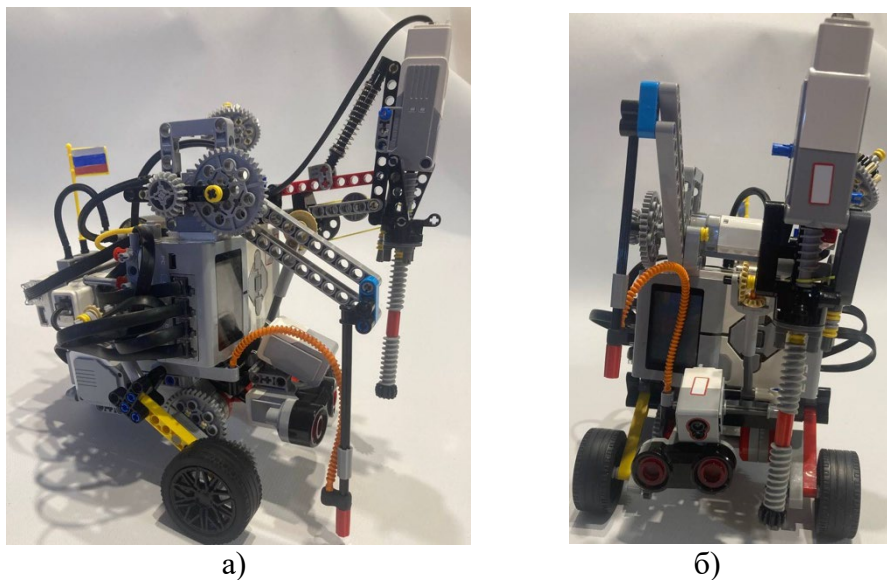


Рисунок 3. Внешний вид планетохода: а) вид сбоку; б) вид спереди

Основа машины — жёсткая рама из балок LEGO Technic. Слева и справа установлены по одному большому двигателю из набора LEGO MINDSTORMS EV3, которые могут работать независимо друг от друга и приводят в движение колеса планетохода. Благодаря этому планетоход может разворачиваться и уверенно маневрирует. Центр масс смещён вниз: тяжёлые узлы расположены в нижней части рамы, а лёгкие — сверху.

Главная особенность ходовой — возможность работать и на обычных колесах (морозоустойчивые широкие колёса из специальных материалов) и на колесах с грунтозацепами (реализованы в виде зубчатых колес). Переключение выполняет отдельный средний двигатель EV3. Он через систему винтовых «поршней» (два винтовых домкрата по бортам) и рычажный механизм опускает или поднимает колесные балки. В колёсном режиме колёса находятся ниже, зубчатые колеса приподняты и почти не касаются поверхности — так ровер движется быстрее и экономичнее. В режиме колес с грунтозацепами винтовые поршни опускают зубчатые колеса на грунт, а рычаги приподнимают колёса на 3–5 мм. Положение механизма контролируется по углу поворота вала двигателя; крайние положения откалиброваны в программе, поэтому переключение происходит автоматически, без датчиков. Для безопасности скорость в момент смены режима автоматически снижается, планетоход кратковременно останавливается и только затем продолжает движение. Описанные элементы представлены на рисунке 4 (а и б).

а)

б)

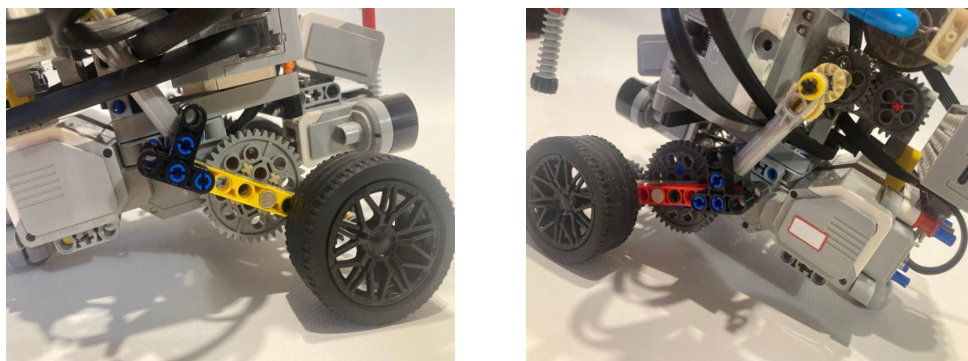


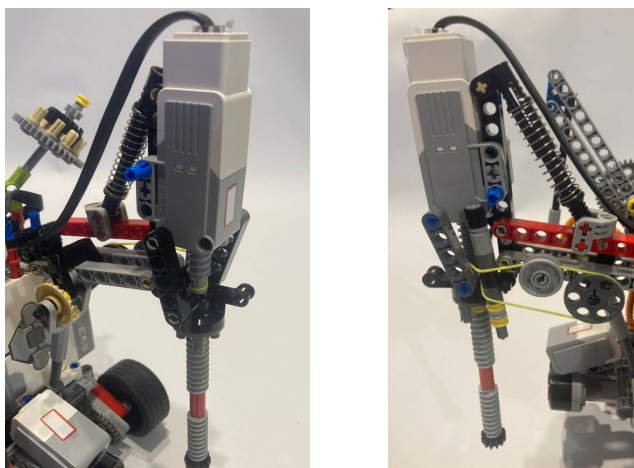
Рисунок 4. Ходовая часть: а) крепления колес разного типа, и их расположение относительно друга; б) расположение большого мотора EV3 и винтовой поршень.

Спереди на бампере установлены ультразвуковой и инфракрасный датчики дальности (рисунок 5). Ультразвуковой отвечает за среднюю дистанцию и крупные препятствия, инфракрасный видит ближнюю зону и помогает на поверхностях, где звук отражается нестабильно. Сигналы от датчиков используются алгоритмом обнаружения и объезда препятствий: при сближении ровер снижает скорость, выбирает сторону с большей свободной дистанцией, обходит объект дугой и возвращается на исходный курс по сохранённому углу поворота.

Рисунок 5. Цифровой и инфракрасный датчики



Буровой модуль выполнен на вертикальной подвижной стреле. Внешний вид представлен на рисунке 6 (а и б). Здесь применен специфический приём: один средний двигатель одновременно вращает бур и обеспечивает его поступательное движение вверх-вниз. Двигатель установлен вертикально на самой стреле и напрямую, без редуктора, крутит буровую ось; благодаря этому сверло развивает достаточные обороты для проникновения в рыхлый материал. Поступательное движение реализовано так: при вращении вала связанный с ним винтовой поршень медленно перемещает всю стрелу вниз, заставляя бур углубляться. При обратном вращении узел поднимает стрелу, извлекая бур. На конце установлен простой «коронковый» инструмент — маленькая шестерня.



а)

б)

Рисунок 6. Внешний вид бурового модуля: а) внутренняя сторона; б) внешняя сторона

Рядом расположен зонд-щуп, который имитирует отбор поверхностной пробы (рисунок 7). После поднятия бура планетоход разворачивается и помещает исследовательский зонд в отверстие. Там происходит забор грунта. Управление зондом реализовано на отдельном моторе из набора LEGO Wedo 2.0,

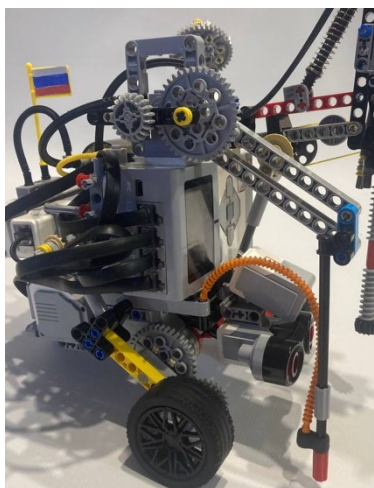


Рисунок 7. Зонд-щуп для отбора грунта

Отобранный материал поступает в герметичную коробку-анализатор, предположительно расположенную внутри блока управления. Считаем также, что при анализе грунта используется датчик цвета/света. Измерение проводится несколько раз, после чего результат усредняется и переводится в условные «химические метки» (например, «солёный лёд», «минеральная примесь», «чистый лёд» — по заранее откалиброванным цветам).

Энергоблок представлен макетом РИТЭГ. Внешне это цилиндр с «радиаторами»-рёбрами, помещенными в защитный кожух, расположенный на задней платформе. Внутри расположен аккумулятор, который должен питать все узлы ровера. Наличие источника в программе моделируется как постоянная доступная мощность. Внешний вид энергоблока представлен на рисунке 8.

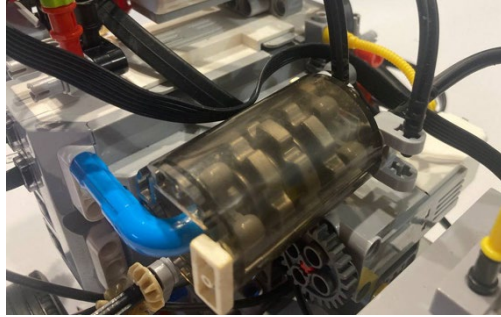


Рисунок 8. Внешний вид энергоблока

Мачта связи несёт поворотную «тарелку»-антенну и сигнальные средства (рисунок 9). Для демонстрации передачи данных используется Bluetooth-соединение с ноутбуком.

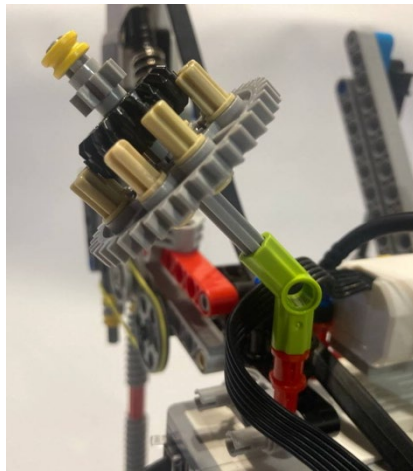


Рисунок 9. Спутниковая «тарелка»-антенна

Все основные узлы крепятся к раме через стандартные оси и «быстрые» фиксаторы — буровой блок, анализатор и мачта быстро снимаются, что удобно для обслуживания и экспериментов.

6. Программирование и алгоритмы

Программное управление ровером выполнено на платформе LEGO MINDSTORMS EV3 в среде CLEVER. Это текстовая среда разработки (не блочная/визуального программирования), в которой используется язык Basic Plus. Программа компилируется и загружается на контроллер EV3 LEGO, а отчёты и журналы миссии сохраняются во внутреннюю память и при необходимости передаются на компьютер по Bluetooth. Такой подход позволяет продемонстрировать пакетную передачу данных аналогично тому, как это делается в реальных космических проектах.

Алгоритм движения основан на следовании по заранее заданным точкам. Планетоход поддерживает прямолинейность, постоянно сравнивая обороты левого и правого бортов, и выполняет повороты на нужный угол по показаниям датчиков вращения. Постоянно работает контроль препятствий. При уменьшении дистанции до объекта ниже порога предупреждения планетоход снижает скорость, а при достижении порога остановки выбирает безопасную сторону по данным инфракрасного датчика, объезжает препятствие дугой фиксированной длины и возвращается на исходный курс.

Переключение типа ходовой части может выполняться автоматически в заранее отмеченных точках маршрута или по команде в программе, при обнаружении датчиком цвета изменений поверхности. Ровер останавливается, средний мотор переводит винтовые механизмы и рычаги, опуская зубчатые колеса на поверхность или, наоборот, поднимая их и включая колёса. Положение проверяется по углу вала, только после подтверждения возобновляется движение. Это обеспечивает смену режима на скользких или рыхлых участках

Процедура бурения задаётся строгой последовательностью действий. Аппарат точно останавливается у цели, включает вращение бура, плавно опускает стрелу до требуемой глубины, выдерживает небольшую паузу и поднимает инструмент. Программа контролирует время операции и скорость при заданной мощности. Если фиксируется заедание или пауза, бурение прерывается, а причина записывается в журнал.

Далее происходит разворот планетохода на фиксированный угол, заранее определенный в программе. Это позволяет опустить зонд для забора грунта в отверстие.

Передача информации происходит пакетами. Планетоход записывает результаты работы в память блока. В случае необходимости эту информацию можно передать по Bluetooth на ноутбук.

Фрагменты листинга программы приведены в приложении 1,2.

Заключение

В ходе проделанной работы была создана модель учебного планетохода «РоверЛаб-01» на базе универсального конструктора «LEGO MINDSTORMS EV3», предназначенную для исследования поверхности спутников планет, в частности Европы.

В конструкции реализованы: два режима ходовой части, буровой узел на подвижной стреле, узел забора грунта, макет источника энергии и мачты связи. Обоснован выбор источника энергии типа РИТЭГ, предполагается герметичный блок, в котором проводится анализ грунта. Реализована программа на CLEVER, которая обеспечивает автономную работу планетохода, работу датчиков и пакетную передачу данных.

Несмотря на то, что модель планетохода «РоверЛаб-01» учебная, она способна отражать ключевые задачи реальной миссии к Европе: движение по сложной ледяной поверхности, отбор и базовый анализ пробы, экономное использование энергии и пакетная связь с большой задержкой. В проекте объясняется, что для исследований нужен автономный планетоход с источником питания типа РИТЭГ и что выбор типа ходовой части под конкретный грунт — важная инженерная задача.

Возможность дальнейшего развития данной модели планетохода, проведение лабораторных испытаний с имитацией различных режимов работы, приблизит её к настоящей космической технике и откроет новые возможности для учебных исследований.

Список использованных источников

1. Кемурджиан А.Л. Планетоходы / А.Л. Кемурджиан, В.В. Громов, И.Ф. Кажукало и др.; Под ред. А.Л. Кемурджиана. — 2-е изд., перераб. и доп.. — М. : Машиностроение, 1993. — 397 с. ил.; 22. — ISBN 5-217-01207-2.
2. Кемурджиан А. Л. Передвижение по грунтам Луны и планет / В. В. Громов, Н. А. Забавников, А. Л. Кемурджиан и др.; Под ред. А. Л. Кемурджиана. — Москва : Машиностроение, 1986. — 267 с. : ил.
3. Маленков, М. И. Экстремальная робототехника. Проектирование систем передвижения планетоходов : учебное пособие / М. И. Маленков. - СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008 (СПб.). - 158 с. - (Приоритетный национальный проект "Образование"). - Библиогр.: с. 157-158. - 100 экз. - ISBN 978-5-7422-1980-4.
4. Наумов В. Н. Обзор и анализ конструкций двигателей для перспективных российских луноходов / В. Н. Наумов, О. Е. Козлов, К. Ю. Машков, К. Е. Бяков. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1958. — 2017. — №7. с.41 – 50 : ил. — URL: <https://rucont.ru/efd/513493>
5. Жаров, В. Е. ЕВРОПА // Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс], 2017 – <https://old.bigenc.ru/physics/text/1974512>
6. Paranicas, C. Europa's Radiation Environment and Its Effects on the Surface / J.F. Cooper, , H.V. Garrett, R.E. Johnson, S.J. Sturmer. 2009. P. 529.
7. Zimmer, C. Subsurface oceans on Europa and Callisto: Constraints from Galileo magnetometer observations/ К.К. Khurana, M.G. Kivelson // Icarus. 2000. V. 147. №2. P. 329–347.
8. Пустовалов, А.А.Космические радиоизотопные термоэлектрические генераторы на америции-241/ М.И. Панкин, Ю.П. Прилепо, Н.Н. Рыбкин, В.В. Синявский // Космическая техника и технологии. 2016. №1 (12). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kosmicheskie-radioizotopnye-termoelektricheskie-generatory-na-ameritsii-24>
9. Лазаренко, Ю.В. Малогабаритные ядерные источники электрической энергии / А.А. Пустовалов, В.П. Шаповалов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. 207 с.
10. <https://www.techinsider.ru/science/1673049-shag-za-shagom-do-evropy-est-li-jizn-v-kosmose/>
11. <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/565648/>
12. <https://prokosmos.store/satellites/evropa-sputnik-yupitera/>
13. http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/rw/natsat/jup_sat/europe/europe.htm
14. <https://clev3r.ru/guide/>
15. <https://habr.com/ru/companies/first/articles/833346/>

Фрагменты листинга программы, описывающей работу планетохода «РоверЛаб-01»

```

1  folder "prjs" "Planetohod"
2
3  function MoveForward(in number CM)
4      MotorB.ResetCount()
5      While MotorB.GetTacho() < (CM * 700) / 17.584
6          MotorAB.StartSpeed(20)
7      EndWhile
8  EndFunction
9
10 function MoveBack(in number CM)
11     MotorB.ResetCount()
12     While MotorB.GetTacho() > ((CM * 700) / 17.584) * -1
13         MotorAB.StartSpeed(-20)
14     EndWhile
15 EndFunction
16
17 function Rezhim(in string Rezhi)
18     direction = 1
19     if Rezhi = "Колеса" Then
20
21     ElseIf Rezhi = "Шины" Then
22         direction = -1
23     EndIf
24
25     Motor.Move("C", direction * 100, 20 * 360, "True")
26 EndFunction
27
28 pi = 3.141592653589793238
29 rWheel = 10.2272
30
31 function TurnOnWheels(in number angle)
32     #Motor.MoveSteer("AB", 20, 100, ((pi * @rWheel)/(17.584))*angle, "True")
33     direction = angle / Math.Abs(angle)
34     engineAngle = ((pi * @rWheel)/(17.584))*Math.Abs(angle)
35
36     zoneAcceleration = engineAngle / 4
37     zoneNormal = engineAngle - (2 * zoneAcceleration)
38
39     Motor.Schedule("A", direction * 20, zoneAcceleration, zoneNormal, zoneAcceleration, "True")
40     Motor.Schedule("B", -1 * direction * 20, zoneAcceleration, zoneNormal, zoneAcceleration, "True")
41     Motor.Wait("AB")
42 EndFunction
43
44 function Turn90grSHIPAMIVPRAVO(in number AAA)
45     p = 3.141592653589793238
46     r = 7.88

```

Программа управления планетоходом (роботом LEGO EV3), который может передвигаться в двух режимах: на колесах и на шипах.

Программа имитирует работу настоящего планетохода, который должен автономно перемещаться по неровной поверхности, объезжать препятствия и выполнять научные задачи.

Структура робота:

Моторы А и В - приводят в движение левое и правое колесо

Мотор С - переключает режим движения (колеса/шипы)

Мотор D - управляет буром

Датчик на порту 4 - ультразвуковой датчик расстояния

Основные функции:

MoveForward(CM) - движение вперед на заданное расстояние в сантиметрах

Использует коэффициент 17.584 для преобразования см в обороты мотора

MoveDown(CM) - движение назад на заданное расстояние

Rezhim(Rezhi) - переключение режима движения:

"Колеса" - обычный режим

"Шипы" - режим для сложного рельефа (мотор С поворачивается на 20 оборотов)

TurnOnWheels(angle) - поворот на колесах на заданный угол в градусах

Использует радиус колеса 10.2272 см

Реализует плавный разгон и торможение (зоны ускорения)

Turn90grSHIPAMIVPRAVO(AAA) и Turn90grSHIPAMIVleVO(PPP) - повороты на шипах вправо и влево

BUUR(KUDA) - управление буром:

"Up" - бур вверх

"Down" - бур вниз

Работает 15 секунд

Demo() - демонстрационная программа, показывающая все возможности робота

Основная программа (строки 112-148):

Программа выполняет автономную миссию планетохода:

Обнаружение препятствия (строка 118):

Робот движется назад, пока датчик расстояния показывает > 200 (пока не обнаружит препятствие)

Объезд препятствия (строки 121-134):

Поворот на 90° вправо

Движение назад 7000 единиц

Поворот на 90° влево
Движение назад 16000 единиц
Поворот на 90° влево
Движение назад 7000 единиц
Поворот на 90° вправо
Движение назад 4000 единиц
Переключение на шипы (строка 137):

Активация режима "Шипы" для преодоления сложного участка
Движение на шипах (строки 139-144):

Движение вперед 5000 единиц
Разворот на 180°
Движение вперед 2000 единиц
Возврат на колеса (строка 145):

Переключение обратно в режим "Колеса"
Назначение программы:
Это программа для автономного планетохода, который:

Обнаруживает препятствия с помощью ультразвукового датчика.
Объезжает их по заранее запрограммированному маршруту.
Переключается между режимами движения (колеса/шипы) в зависимости от рельефа.
Имеет бур для взятия проб грунта.