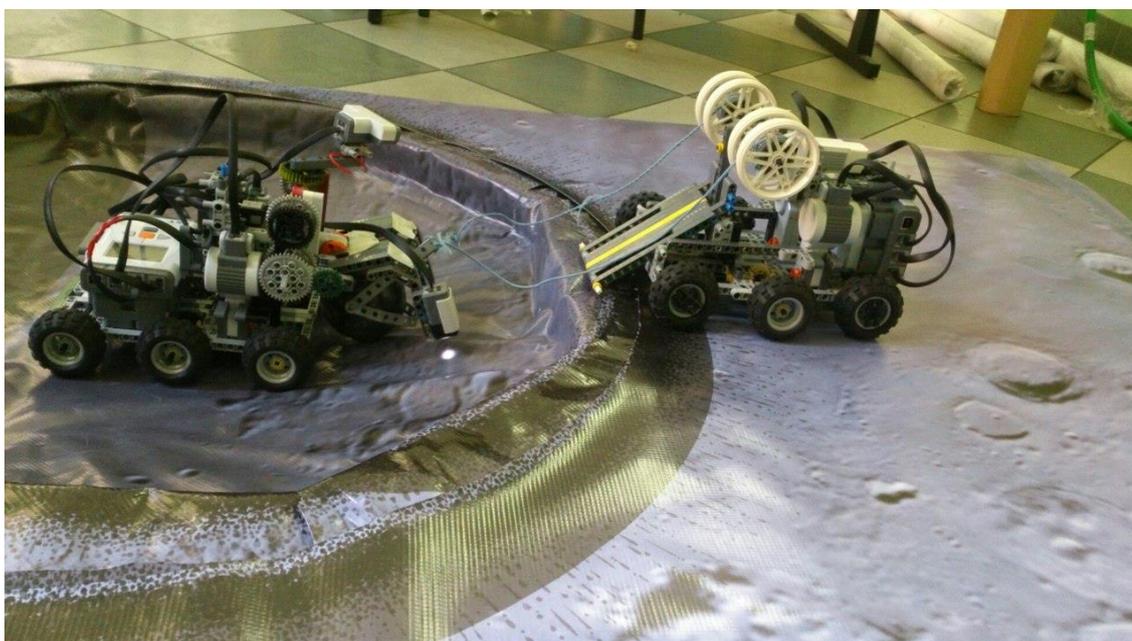


# **ROBOFRIENDS - ИССЛЕДОВАТЕЛИ ЛУНЫ**



**КОМАНДА  
ПРЕЗИДЕНТСКОГО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
ЛИЦЕЯ №239**

**Санкт-Петербург  
2015**

## **Преамбула**

Многие десятилетия умы учёных заняты исследованиями поверхности Луны. Проведенные исследования показали наличие на Луне огромного количества льда, и нескольких видов очень ценных полезных ископаемых. Их поиск – непростая задача, но технический прогресс приближает время, когда на Луну будут отправлены многочисленные роботы разведчики и роботы добытчики полезных ископаемых.

Многим известна печальная история советского робота «Луноход-1», посланного с Луны на Землю 14 сентября 1971 года радиосигнал бедствия, но оставшегося беспомощным одиноким исследователем на Луне более чем на 40 лет. Эта история убедила нас в том, что целесообразно организовывать совместную работу и групповое взаимодействие аппаратов. То есть создание команд роботов, слаженно выполняющих работы в автономном режиме.

Роботы в таких автономных станциях – это взаимодействующие аппараты, наделенные искусственным интеллектом, способные реагировать на изменение исследуемой ими среды и на сигналы друг друга. Согласованность действий роботов обеспечит четкое выполнение задач и аварийную устойчивость автономной станции в условиях работы на лунной поверхности, в безатмосферной среде с широким диапазоном перепада температур.

Мировая общественность должна не только получить добытые «командой роботов-исследователей» реальные образцы Лунных веществ и минералов. Командой роботов-исследователей могут быть найдены районы богатых залежей полезных ископаемых, наилучшие места на Луне, для развертывания космических станций длительного пребывания человека. В числе первых задач - искать лед, добывать его и получать из него воду, кислород и водородное топливо (<http://cybersecurity.ru/space/88564.html>, <http://22century.ru/energy/6565>).

## **Основная идея**

Современные тенденции развития робототехники предполагают использование мультиагентных систем.

Созданный нами комплекс устройств демонстрирует возможность повышения отказоустойчивости автономных робототехнических систем. Мы рассматриваем работу в условиях повышенной вероятности аварийных ситуаций, возникающих под влиянием внешних воздействий. В частности, при исследовании поверхности Луны.

Роботы, работающие в таких опасных зонах могут быть направлены на задания не в одиночку, а группами. Конструкция аппаратов и система их взаимодействия предполагает взаимовыручку роботов, попадающих в нештатные ситуации. Мы хотим показать, как система роботов может бесперебойно работать, используя принцип взаимовыручки.

## **Наша миссия**

Мы поддерживаем гипотезу о наличии на Луне перовскита. Являясь возможным источником водородного топлива, перовскит представляет большую ценность для энергообеспечения различных проектов в ближайшем космосе и на Земле. Это делает привлекательным поиск полезных ископаемых и получение водородного топлива. Такие задачи могут выполнять автономные робототехнические системы.

Наш проект служит задачам обеспечить более дешевый и безопасный способ добычи, чем работа людей на множестве залежей полезных ископаемых, разбросанных на поверхности Луны.

## **Цели и задачи**

## **Цели**

Разработка модели системы автономных роботов с повышенной аварийной устойчивостью.

Разработка компонентов системы взаимодействия роботов при штатных и нештатных ситуациях.

Создание модели мониторинга работы системы для человека-оператора. Мониторинг поисково-исследовательской деятельности. Мониторинг аварийных ситуаций и автокорректирования системы в аварийных ситуациях.

## **Задачи**

**Для моделирования подвижных исполнителей исследовательско-поисковой работы:**

1. Создать модели двух – трех роботов, оснащенных приспособлениями для выполнения специфических задач (исследовательских, спасательных, транспортировочных и других)
2. Снабдить роботов радиосвязью, и несколькими видами датчиков: инфракрасными датчиками, датчиками определения цвета, датчиками определения освещенности, акселерометром, гироскопом.

**Для обеспечения программной обработки сигналов, определяющих поведение роботов:**

3. В штатном режиме - анализ методов взятия проб поверхности и содержимого кратеров.
4. Посылать сигналы на станцию мониторинга человеком и другим роботам.
5. Воспринимать сигналы роботов о результатах исследования или в случае нештатной ситуации.
6. В случае возникновения нештатной ситуации - роботам реагировать на полученные сигналы
  - 6.1. Прибыть к месту аварии и выполнить спасательные работы.
  - 6.2. Посылать сигнал на базовую станцию для мониторинга.

**Для мониторинга происходящего человеком:**

7. Система отображает пункты назначения для робота.
8. Система отображает результаты анализа пробы индикацией на экранах.

**Для моделирования экстренной ситуации и устранения аварии:**

Один из роботов, выполняет падение в глубокий кратер. Глубина кратера и крутизна его склонов такие, что роботу не удастся самостоятельно вернуться на поверхность. Другой робот «приходит на помощь» и устраняет аварию.

**Таким образом, задача в целом состоит в том, чтобы моделировать возобновление исследовательских работ после устранения аварийной ситуации (спасения дорожного стоящего робота).**

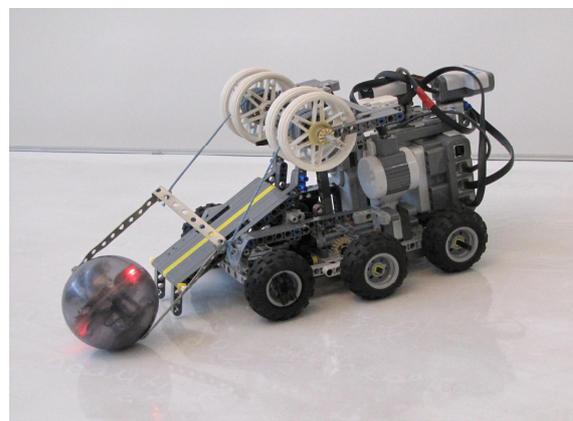
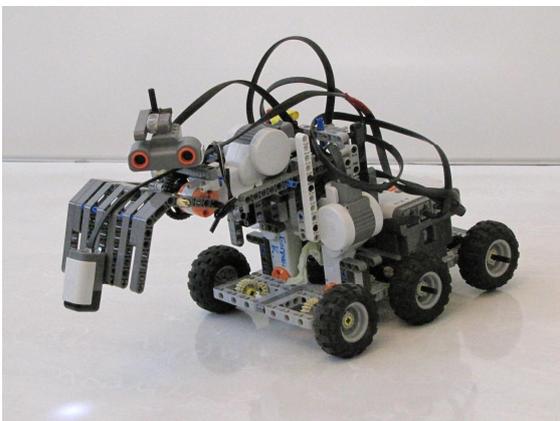
## Модель реальной ситуации

Мы моделируем ситуацию с помощью двух роботов, полигона, имитирующего исследуемую местность и монитора, на котором для человека-оператора отображается картина происходящего.

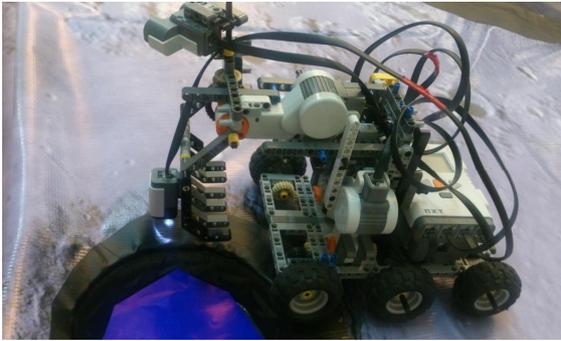


**Полигон** представляет собой относительно ровную поверхность, на которой изображен рельеф лунной поверхности и расположено несколько кратеров – углублений. В углубление того или иного кратера можно поместить цветные карточки тех или иных цветов. Цвета карточек здесь – условное обозначение различных полезных ископаемых, которые может и должен распознать робот-исследователь. Маленькие кратеры включены в задание робота как объекты, которые нужно исследовать. Большой кратер нанесен на карту как неисследованный объект. Он и есть модель непредвиденной ситуации, которая грозит аварией и провалом миссии.

*На рис. Полигон, вид сверху.*



*Робот-исследователь (слева) и робот-спасатель (справа).*



**Робот – исследователь**, он же **искатель** отправляется в поход, на разведку, проверить наличие полезных минералов и льда в кратерах Луны. Он опускает в кратеры свой ковш со специальным датчиком. Как только робот опознает цвет содержимого кратера, он посылает сигнал на базу, где компьютер отслеживает все происходящее в системе.

После того, как робот исследователь справился с изучением первого кратера, он направляется в сторону второго. Робот осуществляет навигацию с помощью датчиков расстояния, гироскопа и энкодеров, используя композицию пропорциональных регуляторов.



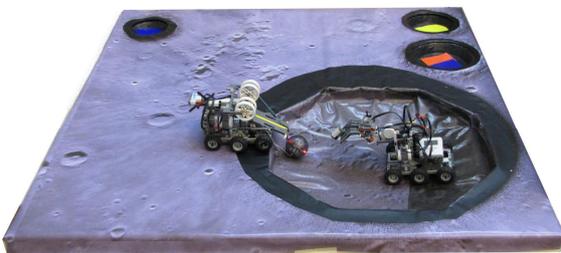
**Мониторинг** того, что происходит в системе можно оценивать визуально с помощью отображения на экране. Как только робот исследователь возьмет пробы и произведет анализ содержимого кратера, он отправляет данные на центральный компьютер. Так для человека-оператора на карте сразу же отображаются результаты анализа взятых проб – выделяются области, где можно добыть тот или иной минерал.

Если же кратер пуст, робот всё равно проводит его сканирование, что также фиксируется на карте. После исследования маленьких кратеров наш робот-исследователь отправляется изучать большой кратер. На карте этот кратер является неизученной территорией.



**Сигнал опасности** роботу приходится посылать, когда он оказывается на дне большого кратера. Когда робот проваливается на дно кратера, он пытается выбраться самостоятельно и делает несколько попыток, в том числе движение задним ходом. С помощью акселерометра робот «понимает», что склоны кратера слишком крутые и выбраться ему не удастся. Робот начинает посылать на станцию сигналы бедствия.

А сам в целях самосохранения прекращает бесполезные попытки, сберегая свои ресурсы. Он ждет помощи и всё это время на карте для человека-оператора мигает сигнал в районе бедствия. Но как только первый сигнал бедствия распознан, он пересылается роботу-спасателю.

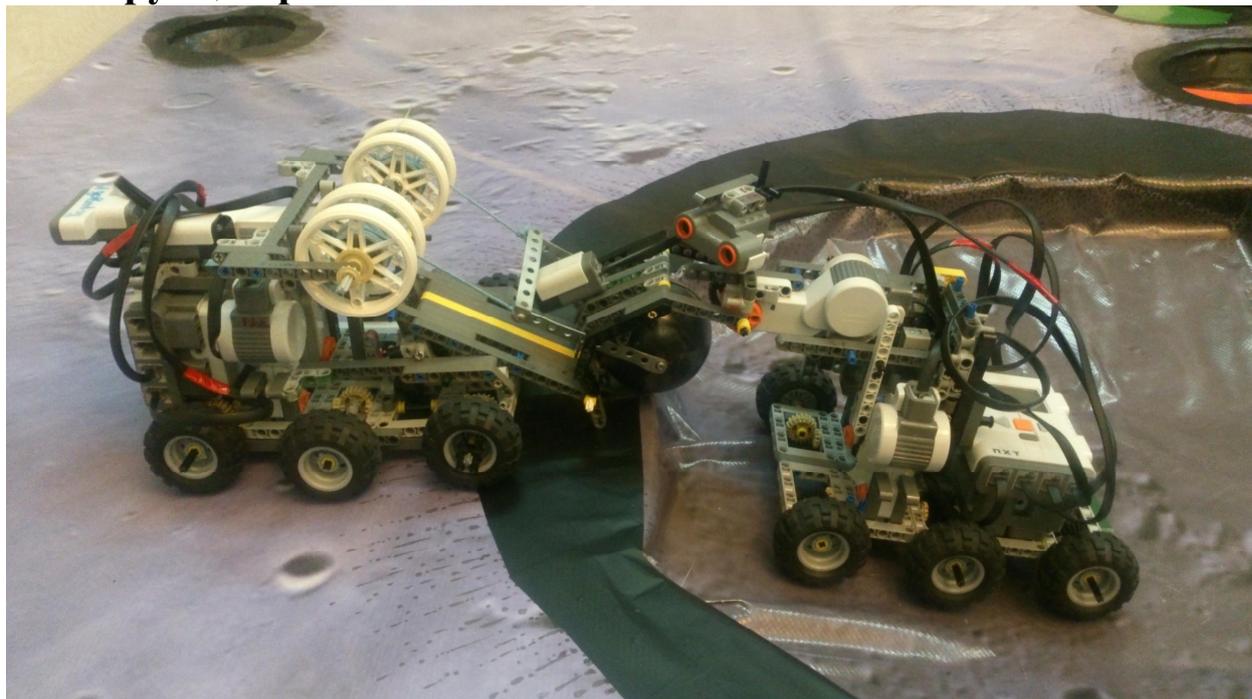


**Робот-спасатель** отправляется на место аварии как только получает сигнал со станции. Это робот-спасатель, снабжённый маяком на спасательном тросе. С помощью специальных датчиков потерпевший аварию робот «замечит» приближающийся маяк, уцепится за протянутый спасателем трос. Робот спасатель вытянет его из кратера.

А на поверхности исследователь снова продолжит свою поисковую миссию.

Робот-спасатель опускает шар с инфракрасным маяком в кратер, робот-исследователь начинает его искать с помощью инфракрасного поисковика, а потом производит захват ковшом. Спасатель вытягивает его наружу. Таким образом, благодаря согласованной работе системы, наш робот-исследователь оказывается спасен и снова может приступить к работе.

## Конструкция роботов



Роботы работают под управлением микроконтроллеров NXT, собраны преимущественно из деталей конструктора Lego, содержат множество зубчатых передач и подвижных частей. Устройство шасси позволяет роботам разворачиваться на месте. Центры тяжести машин оптимизированы с учетом назначения роботов.

**Робот исследователь.** Очень подвижной частью робота исследователя является ковш с датчиком цвета, движущийся в вертикальном направлении и одновременно (синхронно) движущийся с ним, но в горизонтальной плоскости – ультразвуковой датчик расстояния. Датчик цвета имитирует анализ пробы грунта. Датчик расстояния помогает избежать столкновений и ориентироваться в рамках полигона. Инфракрасный датчик служит для обнаружения маяка робота-спасателя. Он помещен вглубь конструкции для его сохранности (и по другим техническим соображениям)

**Робот спасатель.** Также, как и исследователь, спасатель снабжен редукторами для усиления приводов колес. Третий двигатель на борту этого робота обеспечивает работу лебедки. Также, как и его собрат по команде, этот робот определяет границы полигона, и достаточно маневренный.

Этот робот способен обнаружить край кратера, плавно тормозить, постепенно набирать мощность привода колес, сохраняет устойчивость и целостность конструкции даже при большой нагрузке на лебедку.

## Программный код

Система экранного отображения данных, получаемых и передаваемых роботами, построена с помощью среды Visual Studio на языке C++. Программирование роботов выполнено на языке RobotC.

**Схема взаимодействия:** на борту каждого робота есть по одному контроллеру, но есть третий элемент системы - компьютер-станция. Эта базовая станция, получает сигналы от роботов и управляет ими через Bluetooth.

В режиме исследовательской деятельности робот сам ориентируется на пространстве полигона, но если получает данные об участках поверхности, то передает эти данные на станцию через Bluetooth.

Так компьютер станции получает сведения, которые отображает на мониторе для человека – оператора.

Так происходит, пока робот искатель движется в нормальном режиме. Но если искатель попадает в углубление, показания с некоторых датчиков регистрируют наклонное положение робота. Включается алгоритм выхода из углубления. Причем, в этой модели полигона кратер построен так, что робот действительно физически не может выехать из кратера самостоятельно, хотя и включает специальный алгоритм.

**Алгоритм выхода из кратера** заставляет робота делать движения вперед, возвраты, довороты, движение задним ходом. Определенная часть программы разрешает несколько попыток «выйти из углубления», но если они оказываются неудачными - робот "принимает решение", что находится в аварийной ситуации.

Тогда сам робот переходит в режим ожидания (бережет свои ресурсы), а на станцию посылает **сигнал SOS**. Станция получает этот сигнал и начинает отображать SOS на мониторе, и одновременно посылает по Bluetooth сигнал роботу-спасателю.

Робот спасатель получает сигнал и приближается к кратеру. Самостоятельно ориентируется в пространстве полигона и тормозит, останавливается на краю кратера. Теперь выполняется программа спуска спасательного троса и маяка. Спасаемый исследователь обнаруживает с помощью датчиков инфракрасный излучатель, поворачивается к нему и выполняет захват маяка.

**Обратная связь** здесь имеет большое значение. Спасаемый тоже воздействует на спасателя. Благодаря непрерывной связи через станцию спасатель "узнает", успешно или нет произошел захват маяка. Для спасателя это значит, что трос зацеплен и можно начинать вытягивающее движение. В момент вытягивания **спасаемый тоже активен**. Он тоже включает приводы колес, одновременно удерживая захват троса.

У нас предусмотрена и **защита от сбоев**. Спасаемый робот в случае неудачного вытягивания посылает особый сигнал, который через станцию приходит к спасателю и тот должен совершить следующую попытку спасения.

Следующая часть программы – это возвращение к миссии исследователя. Спасатель при этом занимает определенную позицию, ориентируясь в пространстве полигона.

#### Пример программы на RobotC.

```
299 void spas ()
300 {
301     mes=20;
302     cCmdMessageWriteToBluetooth(&mes,1, mailbox1);
303     motor[mB]=0;
304     motor[mC]=0;
305     while(pes!=21)
306     {
307         cCmdMessageRead(&pes,1,mailbox1);
308         wait1Msec(30);
309     }
310     ball=false;
311     ClearTimer(T1);
312     int v=0;
313     while(ball!=true)
314     {
315         dir=HTIRS2readACDir (inf);
316         HTIRS2readAllACStrength (inf, acS1, acS2, acS3, acS4, acS5);
317         if(time1[T1]<2000) v=-30;
318         if(time1[T1]>2000&&time1[T1]<3000) v=0;
319         if(time1[T1]>3000) v=30;
320         //v=(time1[T1]/2000)*sgn(time1[T1]-3000)*30;
321         u=((dir-6)*40);
322         motor[mB]=v-u;
323         motor[mC]=v+u;
324         if((acS4+acS3)/2>intens&&time1[T1]>6000)
325         {
```

## **Особенности апробации**

**Апробацию** проводили на тренировочном стенде — макете Лунной поверхности с кратерами. Часть кратеров — безопасные. Большой кратер — был создан опасный, такой, что из него робот, даже очень мощный, полноприводный, никак не сможет выбраться самостоятельно. Взаимодействие устройств в процессе отработки ряда поставленных задач постоянно совершенствовались: как программную часть, так и конструкторскую часть.

**Стабильность** достигается за счет эффективных алгоритмов, гарантирующих высокую степень управляемости и точности выполнения базовых действий:

- Плавное управление моторами
- Регуляторы
- Многоуровневый контроль ложных срабатываний и застреваний
- Контроль доставки радиосообщений

Все использованные принципы будут востребованы в реальной системе в случае ее **воплощения** в будущем.

## **Особенности программного обеспечения**

Управление ковшом-манипулятором осуществляется с помощью дискретного П-регулятора. При попадании в кратер робот определяет свой угол наклона с помощью акселерометра. Во избежание помех на акселерометре, мы позаботились о том, чтобы обеспечивать плавный старт и торможение в аварийной ситуации.

Обмен сигналами по Bluetooth – в нашей системе это многократная отправка с подтверждением.

Маяк для спасаемого робота – источник инфракрасного излучения.

Сортировка породы на базовой станции с использованием датчика цвета.

## **Особенности полигона для роботов и впечатляющие моменты**

Не трудно догадаться, что главной частью нашего полигона является большой кратер, в который должен провалиться робот-исследователь. Он представляет собой восьмиугольную конструкцию, состоящую из четырёх несущих частей.

Учитывая боль и тревогу от утраты более чем на 40 лет информации о первом советском Луноходе-1 и радость от полученного от него через столько десятилетий сигнала, на наш взгляд, наиболее впечатляющими являются моменты падения робота-исследователя в кратер, его попытки выбраться разными способами и его «спасение».

Не менее важными являются связи между роботами и связи со станцией, способность роботов работать в «команде», способность роботов реагировать на изменение окружающей среды и изменять свое поведение под воздействием этих данных и сигналов. Также мы хотим обратить внимание на масштабируемость проекта. Мы уже провели первые испытания третьего и четвертого роботов, подключаемых к системе: это аппараты, осуществляющие сбор и сортировку «добытых» минералов из кратеров.

## **Наша команда «Robofriends»**

**Система роботов создана учащимися 6-1 класса Президентского ФМЛ №239**

Авторы: Городов Михаил, Аверков Даниил, Егоркин Кирилл

Руководитель: Филиппов Сергей Александрович

Дизайнер-оформитель: Танфильев Дмитрий Игоревич

Ассистент: Городова Александра Олеговна

