

VI ежегодная научная конференция школьников  
Иркутской области «Человек и космос»

## **Планетоход «ПУТНИК»**

Автор:	Фомин Михаил Александрович 8 «Г» класс МАОУ Лицея ИГУ г. Иркутска
Научный руководитель:	Веснин Артем Михайлович ИСЗФ СО РАН

г.Иркутск, 2016 г.

## Содержание:

1) Введение.....	3
2) Техническое обеспечение.....	6
3) Создание модели.....	11
4) Результаты.....	12
5) Приложение.....	13
6) Источники.....	15

# 1) Введение

Люди уже достаточно давно связали себя с космосом: спутниками, путешествиями на луну, космическими станциями, марсоходами и многим другим. Кроме околоземного пространства, Луны и Марса существует огромное множество других объектов, на которые можно обратить внимание: другие планеты и их спутники, астероиды, звезды и т.д. Но как же нам лучше познакомиться с ними?

Существуют два основных способа изучения космических объектов - с орбиты и на поверхности. Наблюдения космических объектов с орбиты имеет преимущество в большой изучаемой площади, в то время как изучения с поверхности дает гораздо более подробную информацию о грунте, составе атмосферы и климате. Для данной работы были выбраны второй метод исследования космических объектов.

Например, на Марсе функционировали четыре автоматических марсохода с целью проведения научных исследований, два из них до сих пор продолжают работу. За все время изучения Марса на его поверхность были запущены: ПрОП-М, Соджорнер, Оппортьюнити (Спирит) и Кьюриосити. [1]

Основной задачей миссии марсохода Оппортьюнити было изучение осадочных пород, которые, как предполагалось, должны были образоваться в кратерах, где когда-то могло находиться озеро, море или даже целый океан.

Для миссии были поставлены следующие научные задачи:

1. Поиск и описание разных горных пород и почв;
2. Определение состава минералов, горных пород и почв;
3. Определение геологических процессов, сформировавших рельеф местности планеты;
4. Проверка наблюдений за поверхностью, сделанных при помощи инструментов Марсианского разведывательного спутника;
5. Поиск железосодержащих минералов;
6. Классификация минералов и геологического ландшафта;
7. Поиск геологических причин, сформировавших те условия окружающей среды, которые существовали на планете вместе с присутствием жидкой воды;

Оппортьюнити предоставил убедительные доказательства в поддержку главной цели его научной миссии: поиск данных о присутствии в прошлом воды на Марсе. В дополнение к проверке «водной гипотезы», данный Марсоход совершил различные астрономические наблюдения, а также с его помощью были уточнены параметры атмосферы Марса. Данный марсоход имеет достаточно большую площадь солнечных батарей (рис. 1), и поэтому весьма неплохо заряжает батареи. [2]

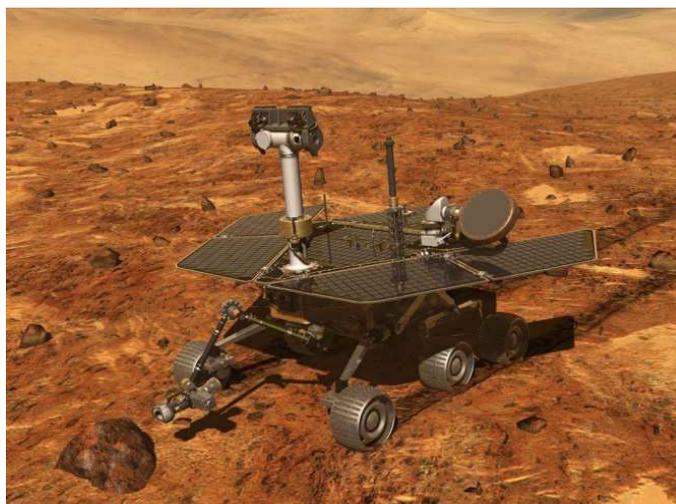


Рис.1. Марсоход Оппортьюнити

Марсоходы модели ПрОП-М запускали дважды и обе попытки закончились провалом миссии. Данная модель отличалась от других своим способом передвижения: аппараты должны были перемещаться по поверхности при помощи двух лыж, находящихся по бокам, немного приподнимающих аппарат над поверхностью (Рис. 2). Такая система была выбрана из-за отсутствия сведений о поверхности Марса. [3]

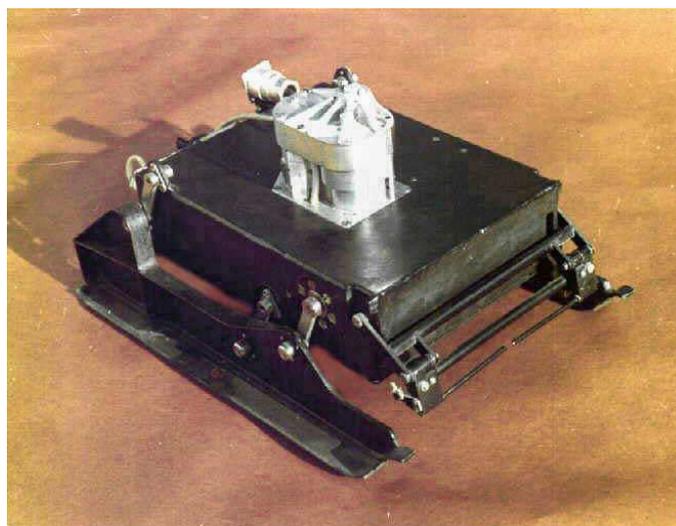


Рис. 2. Марсоход ПрОП-М

Марсоход Соджорнер был рассчитан на 7-солную (сол — марсианские сутки, 24 часа 39 минут 35,24409 секунды) миссию, с возможностью расширения до 30 сол. Несмотря на это, он работал в течение 83 сол, до того момента, как спускаемая станция Пасфайндер, действовавшая в качестве ретранслятора, не вышла из строя. Место остановки Соджорнера до сих пор неизвестно, но скорее всего оно выяснится в ходе работ, следующих марсоходов. Может быть данный планетоход до сих пор продолжает движение, но до потери связи он успел проехать около сотни метров. Передвигался он медленно, т. к. имел очень маленькие колеса (Рис. 3). [4]

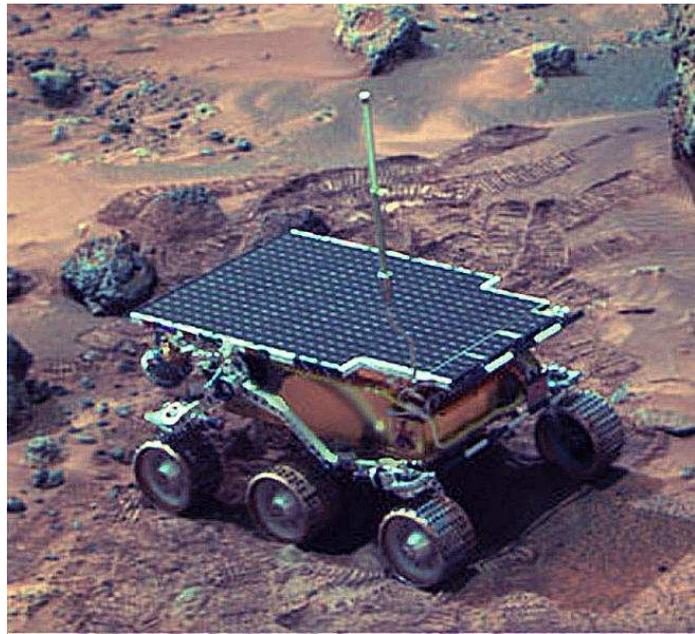


Рис.3. Марсоход Соджорнер

Кьюриосити (Рис. 4) имеет четыре основных цели:

1. установить, существовала ли жизнь на Марсе;
2. получить подробные сведения о климате Марса;
3. получить подробные сведения о геологии Марса;
4. провести подготовку к высадке человека на Марсе. [5]

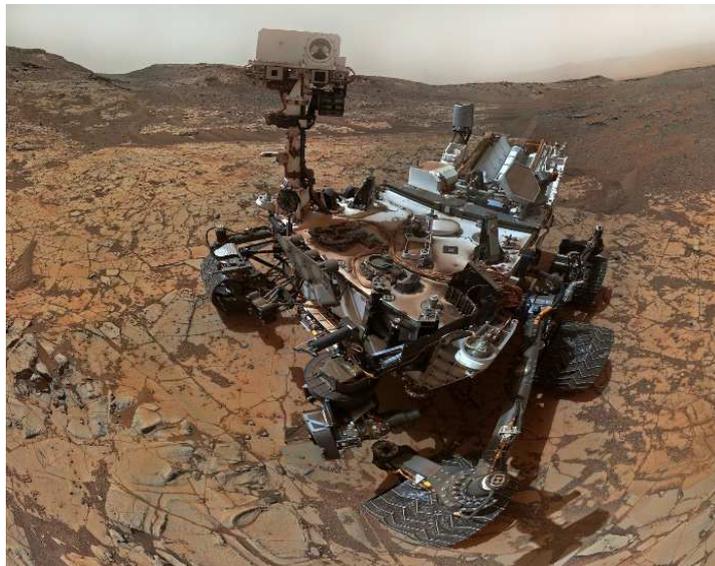


Рис. 4. Марсоход Кьюриосити

Были и другие марсоходы, но их запуск по тем или иным причинам не состоялись. Например, Марс-4НМ, советский тяжелый марсоход.

Роботов, целью которых является изучение Марса, запускали, запускают и, наверное, еще будут запускать. К примеру, марсоход Экзомарс (проект Европейского космического агентства) собираются запускать 2018

году. А название планетохода “Марс-2020” говорит само за себя - его собираются запустить в 2020 году.

В таких сложных системах как планетоходы есть несколько подсистем, обеспечивающих научную миссию. В этой работе мы сконцентрировались на подсистеме, обеспечивающие мобильность и безопасное передвижение планетохода. Таким образом, наша задача сводится к тому, что обеспечить планетоход необходимыми сенсорами и создать алгоритмы для слаженной работы сенсоров и двигателей, приводящих в движение робота. Конечно, это всего лишь модель, но на основе разработанного прототипа, с применением сенсоров большей точности и более подходящих под ту или иную среду, может быть создан уже настоящий планетоход.

## 2) Техническое обеспечение

Модель «ПУТНИКА» собрана как робот на гусеничной платформе и запрограммирована на языке Arduino. Были использованы следующие детали:

1. Arduino UNO плата для контроля поведение моторов на основе измерений сенсоров. Представляет из себя микрочип с разводкой контактов для удобного подключения устройств.

2. Motor Shield (DFRduino модели L298P) для обеспечения питания моторов т.к. как большой ток потребления моторов не позволяет подключить их напрямую к микрочипу.

3. I/O Expansion V5.0 Shield (SKU: DFR0088) для подключения большего числа сенсоров.

4. Инфракрасный дальномер Sharp GP2Y0A41SK0F отслеживает какие-либо углубления, находящиеся перед “ПУТНИКОМ”.

5. Ультразвуковой дальномер №1 URM37 V3.2 отслеживает какие-либо препятствия перед “ПУТНИКОМ”.

6. Ультразвуковой дальномер №2 HC-SR04 отслеживает какие-либо углубления сбоку от “ПУТНИКА”.

7. Гусеничная платформа Rover5 является передвижным шасси “ПУТНИКА”.

8. Сервопривод (DF05BB) нужен для поворота дальномера, обеспечивающего обзор спереди планетохода.

9. IMU(Inertial measurement unit)-сенсор на 10 степеней свободы предназначенный для определения положения в пространстве.

На Рис. 5 приведен вид планетохода в трех проекциях.

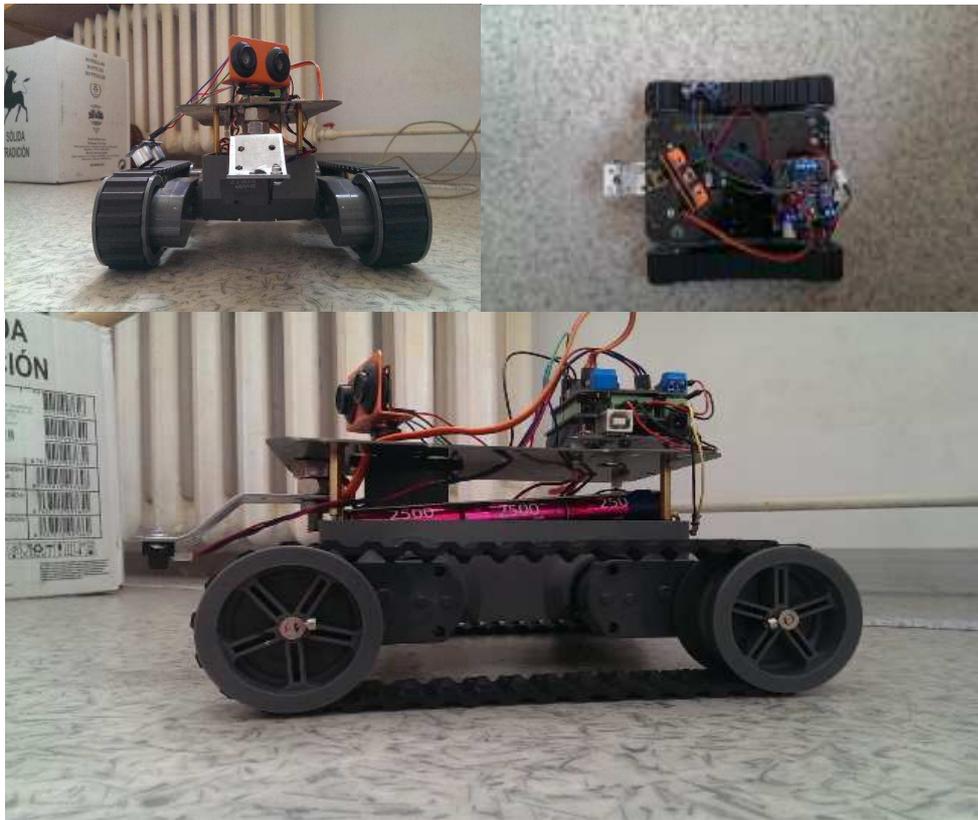


Рис. 5. Фото модели планетохода «ПУТНИК». Слева сверху - вид спереди, справа сверху - вид сверху, снизу - вид сбоку.

Как было указано выше, для программирования был использован язык Arduino, который похож по синтаксису на язык С. Каждая программа должна иметь как минимум две функции:

```
void setup()           {Данная функция выполняется один раз до
                        начала работы основного цикла микроконтроллера и служит для
                        настройки, например установки состояния пинов ввод/вывод,
                        установление коммуникации с Arduino с компьютером и т.д.}
void loop()            {Здесь должна быть написана основная
                        программа. Данная функция выполняется в бесконечном цикле}
```

Основной задачей было написание алгоритмов движения, позволяющих планетоходу безопасно перемещаться в пространстве. Мы моделировали следующие ситуации, с которыми может столкнуться планетоход: столкновения с объектами, падение в углубления рельефа и сильное наклонение планетохода с возможностью переворота. Кроме того, были разработаны алгоритмы объезда препятствий с продолжением движения в том же направлении и следования по периметру объекта.

Чтобы выполнять научные задачи миссии, «ПУТНИК» должен передвигаться по поверхности планет, и для этого была использована гусеничная платформа Rover5, представленная на Рис. 7. Данная платформа имеет следующие характеристики: рекомендуемое напряжение питания - 7,2В; потребляемый ток - до 2,5А; скорость - 1 км/ч [7].

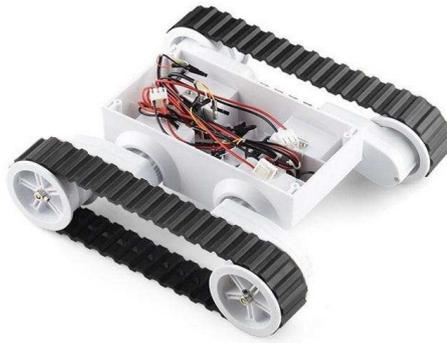


Рис.7. Гусеничная платформа Rover5

Для работы с моторам платформы была использована плата Motor Shield L298P, обеспечивающая контроль питания двигателей и, следовательно, скорость передвижения платформы а так же ее поворот. Вот две команды, позволяющие “ПУТНИКУ” ездить и поворачиваться:

```
digitalWrite (control1, HIGH);  
digitalWrite (control2, HIGH);  
analogWrite (motor1, 255);  
analogWrite (motor2, 255);
```

Для автономного и безопасного передвижения роботу нужны “глаза”. В нашем случае ими является ультразвуковой дальномер модели URM37 V3.2 (Рис. 6).



Рис. 6. Ультразвуковой дальномер модели URM37 V3.2

Принцип работы этого прибора достаточно прост: ультразвуковой сигнал излучается дальномером, далее он отражается от какого-либо твердого предмета и снова принимается дальномером. Характеристики данного дальномера такие: напряжение питания 5В; потребление до 20мА; измеряема дистанция от 4 см до 300 см; вес 30 грамм [6]. Для предотвращения столкновения нам достаточно знать о препятствиях примерно на 20-30 см от планетохода, поэтому диапазон действия данного дальномера подходит для выполнения данной задачи. Дальномер прикреплен к сервоприводу, способному поворачиваться в диапазоне от 0° до 180°. Из простых геометрических соображений, достаточно осматривать местность в диапазоне 60°-120°, где 90° - прямо перед планетоходом, 60° - на тридцать градусов правее от центра, 120° - на тридцать градусов левее от центра.

Поворот сервопривода производится с помощью встроенной библиотеки и для программиста выглядит очень просто:

```
servo.write(90) // для поворота на 90°
```

Совместив сервопривод и датчик, мы можем получить программу, благодаря которой наш планетоход сможет осматривать местность перед собой, поворачивая свои “глаза” на 60°, 90° и 120°, а затем определять направление в которой присутствуют препятствия. Так же может быть определено направление свободное от препятствий. Таким образом, с помощью датчика робот способен выбирать самый безопасный путь для дальнейшего передвижения (в Приложение 1 приведен код, выполняющий описанное выше). Следует отметить, что в условиях разряженной атмосферы ультразвуковой датчик будет работать с большой погрешностью или вообще окажется неработоспособным. Однако, алгоритмы, написанные для зондирования пространства перед планетоходом, применимы для датчика, использующего другой физический принцип, например, датчик использующий инфракрасные лучи.

Для того, чтобы планетоход не упал в какое-либо углубление, был установлен инфракрасный датчик модели Sharp GP2Y0A41SK0F (Рис. 8).



Рис.8. Инфракрасный датчик модели Sharp GP2Y0A41SK0F.

Он может: определять дальность до препятствия в пределах от 4 до 30 см.; потреблять ток от 30 до 40 мА; использует напряжение от 4,5 до 5,5 В [8]. Данный датчик был установлен на вытянутой от платформы железной пластинке для обеспечения своевременного обнаружения углубления. Измерения происходят примерно так же, как и у ультразвукового датчика: датчик излучает инфракрасный луч, отражающийся от любого твердого предмета, а затем принимает его обратно. Зная скорость распространения луча и время, потраченное на его путь, мы можем рассчитать расстояние от прибора до отражателя. Таким образом, мы можем понять есть там углубление или нет: если измеренное расстояние больше восьми сантиметров, то считаем, что впереди углубление. В противном случае (расстояние до предмета меньше восьми см.), “ПУТНИК” может продолжить движение.

В силу расположения, данный сенсор может искать ямы лишь перед самим “ПУТНИКОМ”, а углубления, находящиеся сбоку, в которые планетоход может заехать только одной гусеницей, тем же дальномером мы обнаружить не можем. Для решения данной задачи необходимо размещение дальномера на поворотном механизме или установка дополнительных сенсоров для отслеживания обстановки сбоку от планетохода. Следуя принципу, чем меньше подвижных частей, которые могут выйти из строя, тем лучше, мы решили остановиться на втором варианте.

С обеих сторон платформы приделаны примерно такие же железные пластинки, как и спереди. На конец данных пластинок прикреплены ультразвуковые дальномеры модели HC-SR04 (Рис. 9.).



Рис.9. Ультразвуковой дальномер модели HC-SR04

Данная модель имеет следующие характеристики: напряжение питания - 5В; потребление тока - 15мА во время работы (2мА во время тихого режима); диапазон расстояний - от 2см до 4м; эффективный угол наблюдения - 15°. Эти дальномеры предназначены для поиска углублений, находящихся с боков относительно нашего планетохода.

Для предотвращения опрокидывания, на “ПУТНИК” был прикреплен IMU-сенсор, одной из задач которого является определение угла наклона (Рис. 10).



Рис.10. IMU-сенсор на 10 степеней свободы.

Данный прибор способен: определять свою скорость и угол крена (акселерометр); высчитывать скорость вращения (гироскоп); измерять напряженность магнитных волн (магнитометр/компас); узнавать атмосферное давление и высоту над уровнем моря (барометр). Напряжение питания данного прибора от 3,3 и до 5В. Потребляемый ток равен 10мА.

### 3) Создание модели

Перед «ПУТНИКОМ» ставятся следующие задачи: 1) автономно передвигаться, не врезаясь в препятствия, не падая в углубления рельефа и не переворачиваясь из-за сильных наклонов; 2) передвигаться вдоль того или иного объекта на определенном расстоянии. Для этого нам нужно комбинировать программы для измерений сенсоров с программой для контроля моторов планетохода.

Для объезда препятствий нужен один из дальномеров, установленный на сервоприводе он способен осматривать местность перед самим планетоходом и измерять расстояние до препятствий. В случае, если расстояние до препятствия меньше чем 20 см., то «ПУТНИК» должен развернуться на  $90^\circ$  относительно препятствия. Повернувшись, робот направляет дальномер к только что обнаруженному препятствию и, вновь начиная измерять расстояние, продолжает движение. Если расстояние до препятствия, которое нужно объехать, уменьшается до 20 см, то «ПУТНИК» поворачивается к препятствию (делает разворот вновь на  $90^\circ$ , только в обратную сторону), попутно возвращая дальномер на исходную позицию для измерения расстояния до препятствия, и двигается вперед. Когда расстояние становится равным 10 см., то робот снова разворачивается на  $90^\circ$ , устанавливая дальномер в сторону препятствия, и двигается вперед и так далее.

Так же «ПУТНИК» может упасть в углубление рельефа. Для этого и был прикреплен инфракрасный дальномер, способный измерять расстояние до поверхности земли перед роботом. Данный сенсор установлен на железной пластинке, и, благодаря этому, планетоход способен «видеть» углубления, примерно на 10 сантиметрах от планетохода. Это способствует своевременному обнаружению углублений. Если «ПУТНИКУ» будет угрожать опасность падения, он должен будет остановиться, а затем развернуться на  $90^\circ$  относительно обнаруженного углубления, и, продолжая движение после поворота, вновь начнет измерять расстояние до поверхности.

Инфракрасный дальномер способен делать измерения только перед самим роботом, т.к. расположен спереди и поворачиваться самостоятельно не может, и из-за этого «ПУТНИК» может упасть в углубление, если заедет в него только одним колесом. Поэтому с обеих сторон поставлены ультразвуковые дальмеры, измеряющие расстояние вниз относительно самого робота. В случае обнаружения углубления справа или слева от планетохода, робот поворачивается на  $90^\circ$  в противоположную сторону от обнаруженного углубления.

Так же, «ПУТНИКУ» угрожают сильные наклоны, из-за которых он способен опрокинуться. Для этого на робота поставлен IMU-сенсор, на котором находятся четыре сенсора: акселерометр, гироскоп, магнитометр и барометр. С помощью акселерометра можно определить углы крена. В том случае, если угол наклона слишком большой, то «ПУТНИК» отъезжает назад

на 10 сантиметров и, повернувшись на  $90^\circ$  относительно наклонной поверхности, продолжает движение.

#### 4) Результаты

Что бы знать характеристики передвижения платформы мы производили калибровку. Мы получили следующие результаты:

Скорость движения = 0.2631579 м/с

Время, за которое “ПУТНИК” делает поворот на  $360^\circ = 5,4$  сек.

Данное показание мы выяснили в ходе эксперимента, а следующие были выяснены математическим путем:

Время, за которое “ПУТНИК” делает поворот на  $270^\circ = 4,05$  сек.

Время, за которое “ПУТНИК” делает поворот на  $180^\circ = 2,7$ сек.

Время, за которое “ПУТНИК” делает поворот на  $90^\circ = 1,35$ сек.

“ПУТНИК” не имеет такой способности как поворот на заданный угол. Но для того, чтобы повернуться, например, на  $90^\circ$ , нам нужно написать команду, благодаря которой робот начнет поворачиваться, начав крутить моторы в разные стороны. Затем указать, сколько по времени ему нужно использовать данную команду. Зная скорость и время, за которое робот делает полный оборот, мы можем посчитать время, нужное для поворота на абсолютно любой угол.

Для выяснения погрешности работы нашей программы мы проводили эксперименты. В первом случае, “ПУТНИК” выставлялся на стол так, чтобы, подъехав к его краю гусеницы планетохода стояли перпендикулярно по отношению к краю поверхности. Во втором, робот ставился под разными углами относительно края стола.

Табл. 1.Измерение расстояния остановки от края поверхности, при условии перпендикулярного подъезда

Номер отсчета	Значение (мм)						
№1	39	№6	15	№11	30	№16	37,5
№2	40	№7	50	№12	32,5	№17	30
№3	45	№8	40	№13	32,5	№18	32,5
№4	40	№9	40	№14	45	№19	36
№5	45	№10	35	№15	40	№20	40

Табл. 2. Измерение расстояния остановки от края поверхности, при условии подъезда под разными углами

Номер отсчета	Значение (мм)						
№1	70	№6	45	№11	11	№16	70
№2	30	№7	15	№12	50	№17	31
№3	22,5	№8	17,5	№13	32	№18	15
№4	40	№9	35	№14	50	№19	64
№5	55,5	№10	70,5	№15	43,5	№20	29

Средняя погрешность=39.825 см.

Среднеквадратическое отклонение  $\approx 41,7$  см.

## 5) Приложение

Листинг программы, обеспечивающей измерение дальности до объектов перед планетоходом.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <URMSerial.h>
#include <Servo.h>

Servo serv;
URMSerial urm;
int min_meas = 0;
int sec_meas = 0;
int max_meas = 0;
const int DELAY_TURN = 250;
const int DELAY_ZERO = 500;
const int SERVO_STEP = 30;
const int MIN_SERVO_ANGLE = 60;
const int MAX_SERVO_ANGLE = 120;
const int SEC_SERVO_ANGLE = 90;
const int PIN_SERVO = 10;
const int PIN_RX_URM = 2;
const int PIN_TX_URM = 3;
const int BAUD_RATE_URM = 9600;

void setup ()
{
    serv.attach(PIN_SERVO);
    Serial.begin(BAUD_RATE_URM);
    urm.begin(PIN_RX_URM, PIN_TX_URM, BAUD_RATE_URM);
    pinMode(13, OUTPUT);
}
```

```

void loop ()
{
    if (min_meas==sec_meas && sec_meas==max_meas)
    {
        min_meas = turn_measure (MIN_SERVO_ANGLE);
        sec_meas = turn_measure (SEC_SERVO_ANGLE);
        max_meas = turn_measure (MAX_SERVO_ANGLE);
    }
    else if (sec_meas<min_meas && max_meas<min_meas)
    {
        serv.write (MIN_SERVO_ANGLE);
    }
    else if (min_meas<sec_meas && max_meas<sec_meas)
    {
        serv.write (SEC_SERVO_ANGLE);
    }
    else if (min_meas<max_meas && sec_meas<max_meas)
    {
        serv.write (MAX_SERVO_ANGLE);
    }
}

int getMeasurement (int mode)
{
    int value;
    switch(urm.requestMeasurementOrTimeout(mode, value))
    {
        case DISTANCE:
            return value;
            break;
        case TEMPERATURE:
            return value;
            break;
        case ERROR:
            Serial.println("Error");
            break;
        case NOTREADY:
            Serial.println("Not Ready");
            break;
        case TIMEOUT:
            Serial.println("Timeout");
            break;
    }
    return -1;
}

int turn_measure (int angle)
{
    Serial.print("Measurement: ");
    serv.write (angle);
    delay (DELAY_ZERO);
    int meas=getMeasurement(DISTANCE);
    Serial.println(meas);
    return meas;
}

```

## 6) Источники

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Марсоход>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Оппортьюнити>
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Прибор\\_оценки\\_проходимости\\_—\\_Марс](https://ru.wikipedia.org/wiki/Прибор_оценки_проходимости_—_Марс)
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Соджорнер\\_\(марсоход\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Соджорнер_(марсоход))
5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Марсианская\\_научная\\_лаборатория](https://ru.wikipedia.org/wiki/Марсианская_научная_лаборатория)
6. <http://amperka.ru/product/ultrasonic-urm37>
7. <http://amperka.ru/product/rover-5-chassis>
8. <http://amperka.ru/product/infrared-range-meter-80>
9. <http://amperka.ru/product/hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module>
10. <http://amperka.ru/product/troyka-imu-10-dof>