

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Кафедра систем автоматизации производства

С.Ю. Шамаев, А.М. Черноусова

# **ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОВ В СРЕДЕ LEGO MINDSTORMS**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по программам среднего профессионального образования по специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств, по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Оренбург  
2018

УДК 004.42(076.5)

ББК 32.973я7

Ш19

Рецензент – кандидат технических наук М.В. Овечкин

**Шамаев, С.Ю.**

Ш19 Программирование движения роботов в среде Lego Mindstorms: методические указания / С.Ю. Шамаев, А.М. Черноусова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 23 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной и самостоятельной работ по программированию движения роботов Lego Mindstorms EV3. Они содержат методический материал, включающий цель работы, порядок выполнения, теоретическое изложение материала, задания на выполнение лабораторных и самостоятельных работ, содержание отчёта. Для самоподготовки к сдаче работ приводятся контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для обучающихся всех форм обучения, изучающих дисциплину «Инженерное творчество в робототехнике», «Вычислительные машины и сети систем автоматизации и управления».

**Методические указания подготовлены в рамках реализации проектов по развитию системы подготовки кадров для оборонно-промышленного комплекса («Новые кадры ОПК»).**

УДК 004.42(076.5)

ББК 32.973я7

© Шамаев С. Ю.

Черноусова А.М., 2018

© ОГУ, 2018

## Содержание

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Цель работы .....  | 4  |
| 2     | Порядок выполнения работы .....                                  | 4  |
| 3     | Программные блоки для организации движения.....                  | 4  |
| 3.1   | Виды и характеристики моторов .....                              | 4  |
| 3.2   | Блок «Средний мотор» .....                                       | 6  |
| 3.2.1 | Входные параметры блока «Средний мотор».....                     | 7  |
| 3.2.2 | Режимы работы блока «Средний мотор» .....                        | 8  |
| 3.2.3 | Примеры использования блока «Средний мотор» .....                | 10 |
| 3.3   | Блок «Большой мотор» .....                                       | 11 |
| 3.3.1 | Входные параметры блока «Большой мотор» .....                    | 11 |
| 3.3.2 | Режимы работы блока «Большой мотор».....                         | 12 |
| 3.3.3 | Примеры использования блока «Большой мотор».....                 | 12 |
| 3.4   | Блок «Рулевое управление» .....                                  | 13 |
| 3.4.1 | Входные параметры блока «Рулевое управление».....                | 14 |
| 3.4.2 | Режимы работы блока «Рулевое управление» .....                   | 15 |
| 3.4.3 | Примеры использования блока «Рулевое управление» .....           | 16 |
| 3.5   | Блок «Независимое управление моторами».....                      | 16 |
| 3.5.1 | Входные параметры блока «Независимое управление моторами» .....  | 17 |
| 3.5.2 | Режимы работы блока «Независимое управление моторами».....       | 17 |
| 3.5.3 | Примеры использования блока «Независимое управление моторами»... | 18 |
| 4     | Пример программирования движения .....                           | 19 |
| 5     | Задание на самостоятельную работу.....                           | 20 |
| 6     | Содержание отчета.....   | 21 |
| 7     | Контрольные вопросы.....   | 21 |
|       | Список использованных источников .....                           | 23 |

## **1 Цель работы**

Целью работы является приобретение навыков программирования движения роботов в среде Lego Mindstorms.

## **2 Порядок выполнения работы**

2.1 Познакомиться с программными блоками для организации движения роботов и примерами их использования.

2.2 Выполнить задание на самостоятельную работу в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

## **3 Программные блоки для организации движения**

### **3.1 Виды и характеристики моторов**

Мотор является основным исполнительным механизмом, который позволяет роботу совершать движения: ехать, поворачивать, выполнять действия и работу.

Одна из основных функций робота – движение. Двигаться может как весь робот целиком, так и отдельные его части. Движением управляют сервомоторы (или сервоприводы), состоящие из следующих компонентов (рисунок 3.1):

- датчик оборотов (энкодер), подсчитывающий количество градусов поворота главной оси, сервопривод Lego может быть повернут с точностью 1°;
- редуктор, который через систему шестерней преобразует быстрое вращение внутреннего электрического двигателя в более медленное.

Наличие датчика оборотов и редуктора позволяет сервомотору совершать прецизионные движения главной оси.

В комплект Lego Mindstorms EV3 входят два вида моторов:

- средний мотор (рисунок 3.2, а);

– большой мотор (рисунок 3.2, б).

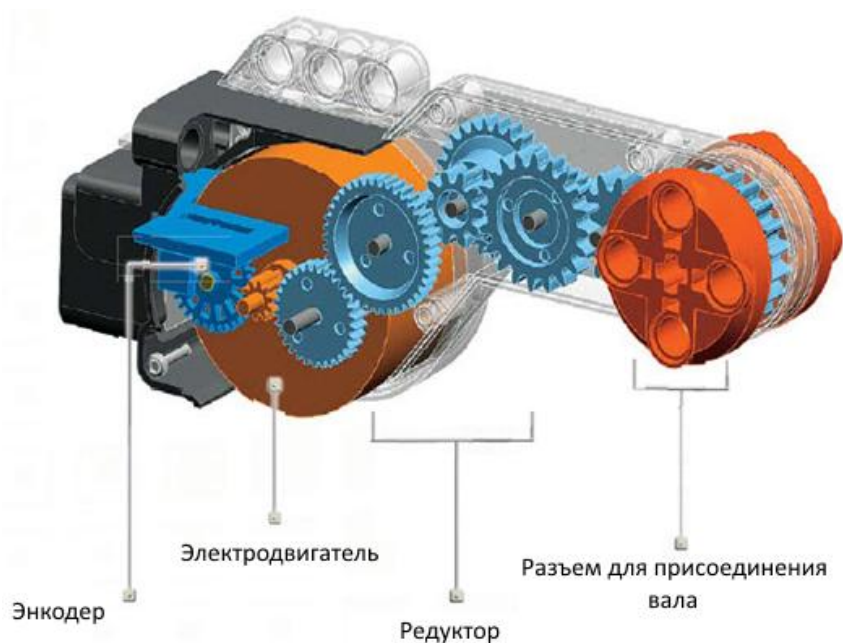


Рисунок 3.1 – Внутреннее устройство сервопривода



Рисунок 3.2 – Моторы: а – большой мотор, б – средний мотор

Моторы отличаются геометрическими размерами и техническими характеристиками, которые представлены в таблице 3.1.


Для работы с моторами используются следующие программные блоки:

- блок «Средний мотор»;
- блок «Большой мотор»;
- блок «Рулевое управление»;
- блок «Независимое управление моторами».

Таблица 3.1 – Технические характеристики моторов

| Параметр                      | Средний мотор          | Большой мотор         |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Крутящий момент               | 8 Н · см (0,08 Н · м)  | 20 Н · см (0,2 Н · м) |
| Пусковой момент               | 12 Н · см = 0,12 Н · м | 40 Н · см (0,4 Н · м) |
| Число оборотов холостого хода | 240 – 250 об/мин.      | 160 – 170 об/мин.     |
| Обратная связь                | тахометр               | тахометр              |
| Точность                      | 1°                     | 1°                    |

### 3.2 Блок «Средний мотор»

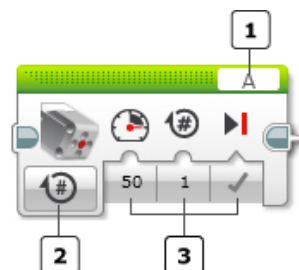
Блок «Средний мотор» предназначен для управления средним мотором (рисунок 3.2, б). Блок расположен на вкладке «Действие» () (рисунок 3.3, а) и позволяет включать, выключать мотор, включать мотор на определенное время или количество оборотов, управлять уровнем его мощности.

В параметре «Порт» вверху (рисунок 3.3, б) задается выходной порт (А, В, С или D) блока управления, к которому подключен управляемый мотор.

Параметр «Режим работы» используется для выбора типа управления мотором. После выбора режима, можно задавать значения входных параметров блока, которые будут меняться в зависимости от режима.



а)



б)

1 – выбор порта; 2 – выбор режима работы;  
3 – входные параметры блока.

Рисунок 3.3 – Блок «Средний мотор»: а – вид блока на палитре программирования; б – описание

### 3.2.1 Входные параметры блока «Средний мотор»

Входные параметры блока «Средний мотор» задают управление работой мотора. Значения параметров можно вводить непосредственно в блоке или получать по шинам данных от выходов других программных блоков. Доступные параметры и их функции зависят от выбранного режима управления.

В таблице 3.2 представлено назначение входных параметров блока.

Таблица 3.2 – Назначение входных параметров блока «Средний мотор»

| Название          | Вид   | Тип                 | Допустимые значения | Примечания   |
|-------------------|---|---------------------|---------------------|--|
| Мощность          |   | Числовое значение   | От – 100 до + 100   | Уровень мощности мотора  |
| Тормозить в конце |  | Логическое значение | Истина / Ложь       | Режим остановки мотора применяется, когда блок заканчивает свое действие |
| Секунды           |  | Числовое значение   | $\geq 0$            | Время движения в секундах  |
| Градусы           |  | Числовое значение   | Любое число         | На сколько градусов повернется ось мотора                                |
| Обороты           |  | Числовое значение   | Любое число         | На сколько оборотов повернется ось мотора                                |

Параметр «Мощность» принимает значение от  $-100$  до  $+100$ . При положительном значении мощности мотор поворачивает ось по часовой стрелке, а при отрицательном значении – против часовой стрелки (рисунок 3.4). Скорость вращения мотора пропорциональна указанной мощности и приложенной к мотору нагрузке.



Рисунок 3.4 – Направление движение в зависимости от выбранной мощности: а – положительное значение мощности; б – отрицательное значение мощности

Изменять направление вращения мотора можно также при помощи блока «Инvertировать направление вращения мотора». Если направление вращения мотора было инvertировано, действие положительного и отрицательного значения мощности будет противоположным показанному на рисунке 3.4 вращению.

Параметр «Тормозить в конце» применяется, когда блок заканчивает работу:

- если значение параметра «Истина», то мотор немедленно останавливается и будет удерживаться в этом положении;
- если «Ложь», то питание мотора просто отключается, но мотор какое-то время продолжит движение по инерции, пока не остановится совсем.

### 3.2.2 Режимы работы блока «Средний мотор»

Доступны следующие режимы:

- «Включить»;
- «Выключить»;
- «Включить на количество секунд»;
- «Включить на количество градусов»;



– «Включить на количество оборотов».

Режимы работы описаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Режимы работы блока «Средний мотор»

| Режим                           | Вид блока с выбранным режимом работы и доступные входные параметры                  | Описание  |
|---------------------------------|---|---|
| Включить                        |    | Включить мотор  |
| Выключить                       |    | Выключить мотор   |
| Включить на количество секунд   |  | Включить мотор на заданное параметром «Секунды» количество секунд, по истечению которых мотор отключается   |
| Включить на количество градусов |  | Включить мотор на заданное параметром «Градусы» количество градусов, по истечению которых мотор отключается |
| Включить на количество оборотов |  | Включить мотор на заданное параметром «Обороты» количество оборотов, по истечению которых мотор отключается |

В режиме «Включить» мотор включается, и затем происходит переход в следующий блок программы. Скорость и направление вращения мотора управляются при помощи параметра «Мощность». Мотор будет работать, пока его не остановят, не заменят другим блоком управления мотором в программе или не закончится про-

грамма.

В режиме «Выключить» происходит выключение мотора. Обычно используется для остановки мотора, который был запущен в режиме «Включить».

В режиме «Включить на количество секунд» включается мотор, он работает в течение заданного параметром «Секунды» времени, а затем выключается.

В режиме «Включить на количество градусов» мотор поворачивает на заданное в параметре «Градусы» количество градусов, затем выключается. Если мотор в процессе работы по какой-либо причине (помеха, сопротивление или физическое ограничение) не в состоянии полностью повернуть, мотор остановится, но блок будет по-прежнему находиться в состоянии ожидания. Программа на этом блоке приостановит свое выполнение (зависнет), пока причина не будет устранена.

В режиме «Включить на количество оборотов» мотор поворачивает на указанное в параметре «Обороты» количество оборотов, а затем выключается. Существует связь между этим режимом и режимом «Включить на количество градусов»: один оборот равен 360 градусов.

### 3.2.3 Примеры использования блока «Средний мотор»

В следующем примере (рисунок 3.5) средний мотор подключен к порту А, включается и крутится по часовой стрелке с мощностью 50 единиц в течении 5 секунд, затем крутится против часовой стрелки на 360 градусов с мощностью 25 единиц.

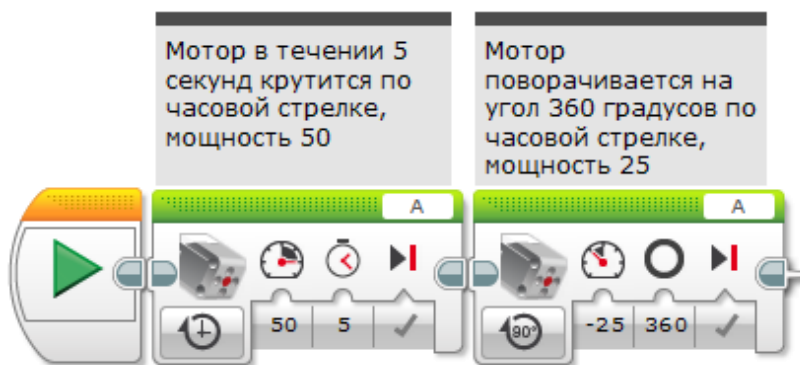



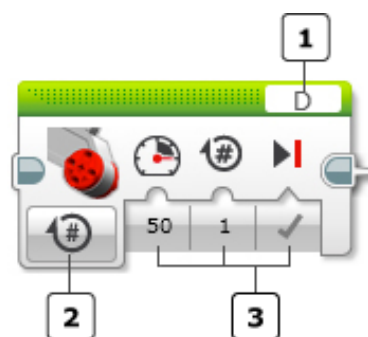
Рисунок 3.5 – Пример использования блока «Средний мотор»

### 3.3 Блок «Большой мотор»

Блок «Большой мотор» предназначен для управления большим мотором (рисунок 3.2, а). Блок расположен на вкладке «Действие» (  ) (рисунок 3.6, а) и позволяет включать, выключать мотор, включать мотор на определенное время или количество оборотов, управлять уровнем его мощности. Описание блока «Большой мотор» аналогично описанию блока «Средний мотор».



а)



б)

1 – порт; 2 – выбор режима работы;  
3 – входные параметры блока.

Рисунок 3.6 – Блок «Большой мотор»: а – вид блока на палитре программирования; б – описание

#### 3.3.1 Входные параметры блока «Большой мотор»

Входные параметры блока «Большой мотор» аналогичны входным параметрам блока «Средний мотор» (таблица 3.2).

Параметр «Мощность» принимает значение от  $-100$  до  $+100$ . При положительном значении мощности мотор поворачивает ось по часовой стрелке, а при отрицательном значении – против часовой стрелки (рисунок 3.7).

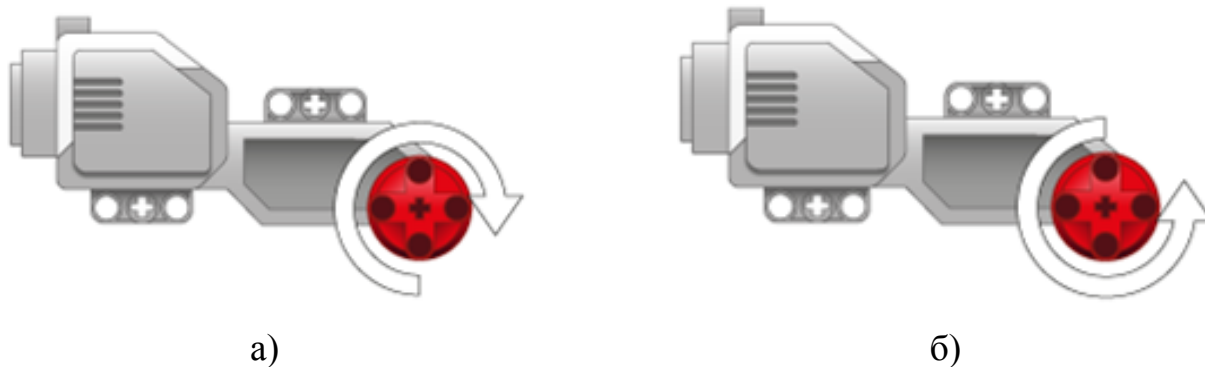


Рисунок 3.7 – Направление движение в зависимости от выбора мощности: а – положительное значение мощности; б – отрицательное значение мощности

### 3.3.2 Режимы работы блока «Большой мотор»

Режимы работы для данного блока также аналогичны режимам работы блока «Средний мотор» (таблица 3.3).

### 3.3.3 Примеры использования блока «Большой мотор»

На рисунке 3.8 приведена программа, в которой включаются поочередно правый (порт А) и левый (порт D) моторы.

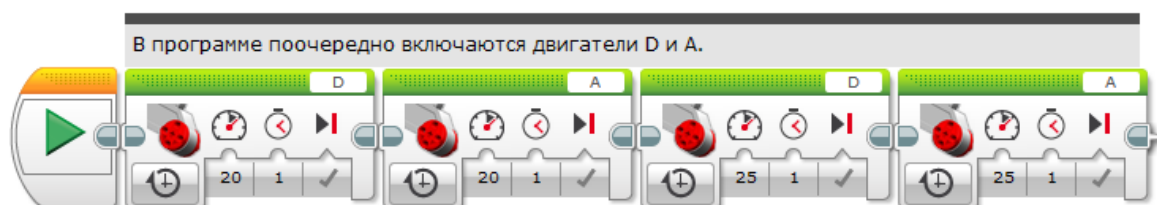


Рисунок 3.8 – Использование блока «Большой мотор»

Для того, чтобы включить оба двигателя, необходимо распараллелить их работу. В следующей программе (рисунок 3.9) робот проезжает вперед три секунды с мощностью 50 единиц, потом – назад 2 секунды с мощностью 30 единиц.




Рисунок 3.9 – Работа двух моторов одновременно

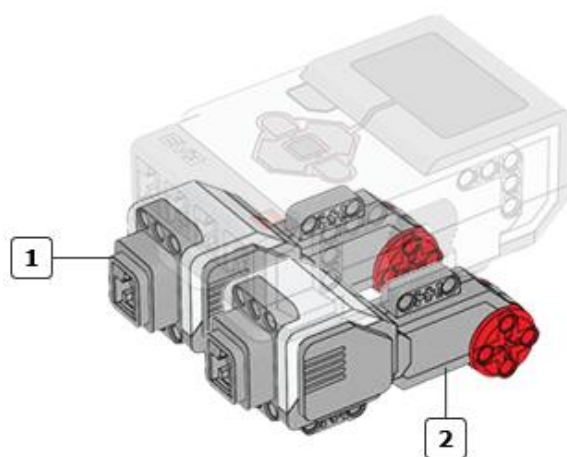
Однако данный вариант имеет существенные недостатки: в случае изменения режимов работы (мощность, время), необходимо менять параметры у обоих блоков; кроме того, в этом случае нарушается линейная структура программы, так как появляется дополнительная ветка.

Для избегания подобных ситуаций применяются следующие два программных блока «Рулевое управление» и «Независимое управление моторами».

### 3.4 Блок «Рулевое управление»

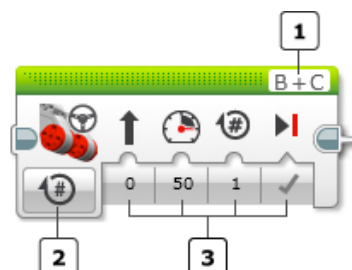
Роботизированные транспортные средства могут двигаться с помощью двух больших моторов, где один мотор управляет левой стороной транспортного средства, а второй – правой стороной (рисунок 3.10). Для облегчения управления и синхронизации работы обоих моторов применяются блоки «Рулевое управление» и «Независимое управление моторами».

Блок «Рулевое управление» расположен на вкладке «Действие» () (рисунок 3.11, а). В параметре «Порты» (рисунок 11, б) задается уже не один, а два порта, к которым подключаются управляемые моторы (А, В, С или D).



1 – левый мотор; 2 – правый мотор.

Рисунок 3.10 – Использование двух моторов



1 – порты; 2 – выбор режима работы;  
3 – входные параметры блока.

а)

б)

Рисунок 3.11 – Блок «Рулевое управление»: а – вид блока на палитре программирования; б – описание

### 3.4.1 Входные параметры блока «Рулевое управление»

Входные параметры блока «Рулевое управление» задают управление работой мотора. Они аналогичны параметрам блока «Средний мотор». Описание параметров «Тормозить в конце», «Секунды», «Градусы», «Обороты» аналогично соответствующим параметрам для блока «Средний мотор» (таблица 3.2). В таблице 3.4 описаны параметры блока, отсутствующие для блока «Средний мотор».

Таблица 3.4 – Назначение входных параметров блока «Рулевое управление»

| Название           | Вид   | Тип               | Допустимые значения | Примечания  |
|--------------------|---|-------------------|---------------------|---|
| Рулевое управление |  | Числовое значение | От – 100 до + 100   | Перераспределяет мощность между моторами, с помощью чего робот может поворачивать |
| Мощность           |  | Числовое значение | От – 100 до + 100   | Уровень мощности моторов  |

Параметр «Рулевое управление» принимает значения от – 100 до 100 и задает направление движения:

- при значении 0 (нуль) робот двигается прямо;
- при положительном значении робот поворачивает в одну сторону;
- при отрицательном значении робот поворачивает в противоположную сторону.

Чем больше по модулю значение, тем круче будет поворот. Робот поворачивает благодаря вращению двух моторов на разных оборотах, а для очень крутых поворотов один из моторов будет двигаться в обратном направлении.

### 3.4.2 Режимы работы блока «Рулевое управление»

Режимы работы и их описание для данного блока аналогичны режимам работы блоков «Среднего мотор», «Большое мотор», но только применительно сразу к двум моторам (таблица 3.3).

### 3.4.3 Примеры использования блока «Рулевое управление»

На рисунке 3.12 представлена программа, аналогичная программе на рисунке 3.9 (параллельная работа больших моторов).

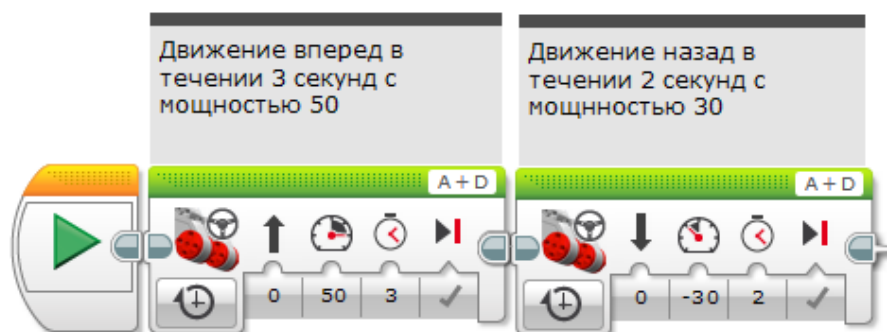


Рисунок 3.12 – Пример использования блока «Рулевое управление»

В следующих программах (рисунок 3.13) показаны примеры поворота робота с разным значением параметра «Рулевое управление». Для поворота робота на заданный угол необходимо подобрать соответствующие значения параметров.

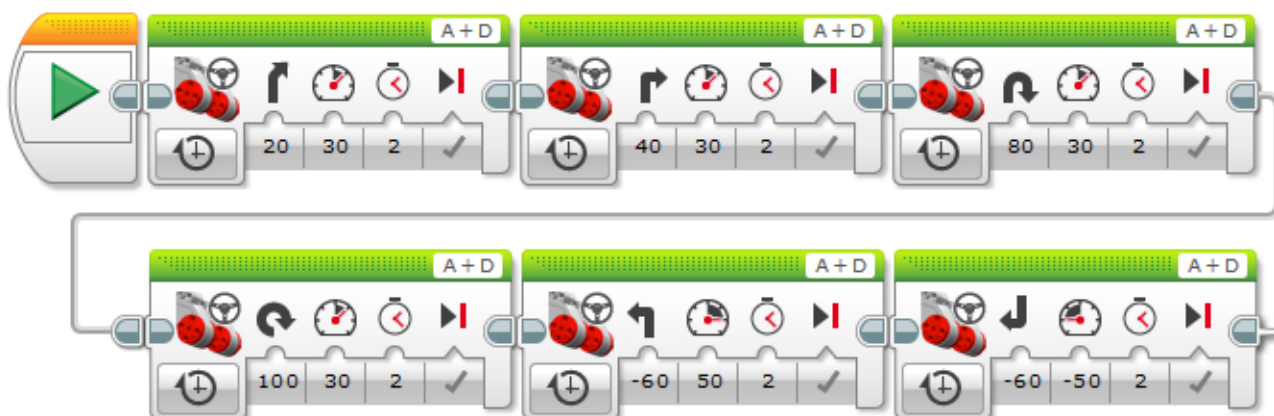



Рисунок 3.13 – Примеры поворотов робота

### 3.5 Блок «Независимое управление моторами»

Данный блок также используется для движения робота, но его отличие от блока «Рулевое управление» заключается в прямом управлении уровнями мощности



обоих моторов. Блок «Независимое управление моторами» расположен на вкладке «Действие» () (рисунок 3.14, а). Настройка портов и режимы работы осуществляются аналогично блоку «Рулевое управление».



1 – выбор порта; 2 – выбор режима работы;  
3 – входные параметры блока.

а)

б)

Рисунок 3.14 – Блок «Независимое управление моторами»: а – вид блока на палитре программирования; б – описание блока

### 3.5.1 Входные параметры блока «Независимое управление моторами»

Входные параметры блока «Независимое управление моторами» аналогично параметрам блока «Рулевое управление» задают управление работой мотора. В таблице 3.5 описаны параметры блока, отсутствующие в блоках «Средний мотор» и «Рулевое управление».

Описание остальных параметров («Тормозить в конце», «Секунды», «Градусы», «Обороты») аналогично соответствующим параметрам для блока «Средний мотор» (таблица 3.2).

### 3.5.2 Режимы работы блока «Независимое управление моторами»

Режимы работы и их описание для данного блока аналогичны режимам работы блоков «Среднего мотор», «Большое мотор» только применительно сразу к двум моторам (описаны в таблице 3.3).

Таблица 3.5 – Назначение входных параметров блока «Независимое управление моторами»

| Название                | Вид   | Тип               | Допустимые значения | Примечания                      |
|-------------------------|---|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| Мощность левого мотора  |  | Числовое значение | От – 100 до + 100   | Уровень мощности левого мотора  |
| Мощность правого мотора |  | Числовое значение | От – 100 до + 100   | Уровень мощности правого мотора |

### 3.5.3 Примеры использования блока «Независимое управление моторами»

В следующей программе (рисунок 3.15) робот едет вперед в течение двух секунд, потом назад в течение трех секунд.

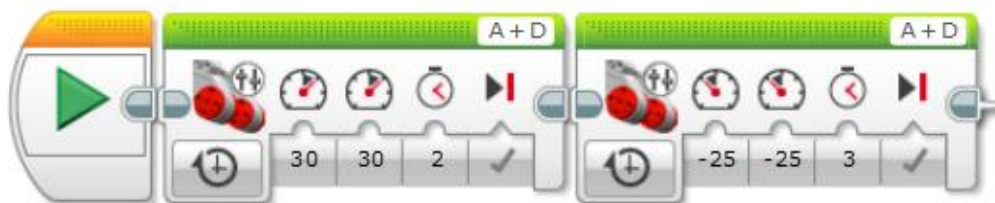


Рисунок 3.15 – Использование блока для движения вперед-назад

На рисунке 3.16 показана программа, в которой робот поворачивает разными способами на разный угол.

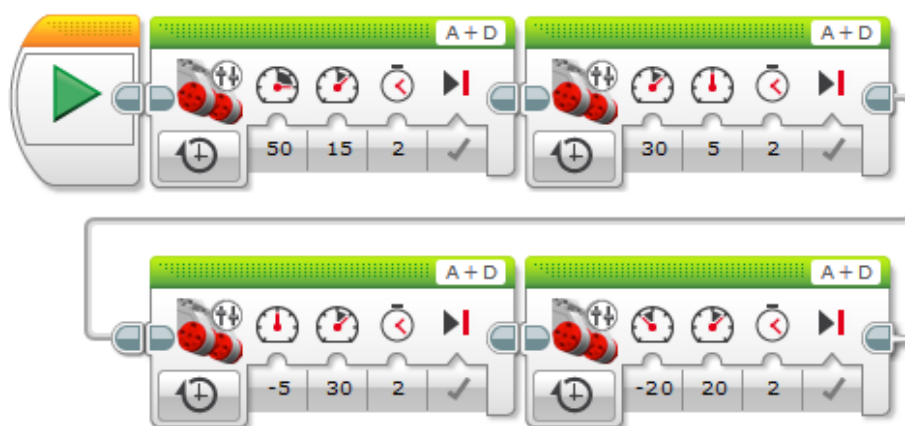


Рисунок 3.16 – Использование блока для поворотов робота

#### 4 Пример программирования движения

В примере разработаем программу для движения робота по заданной траектории (рисунок 4.1). Сначала разобьём траекторию на участки (рисунок 4.2).

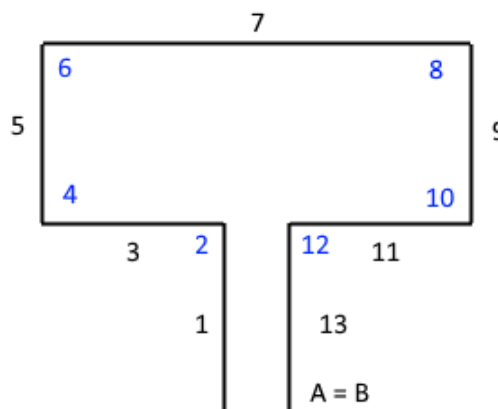
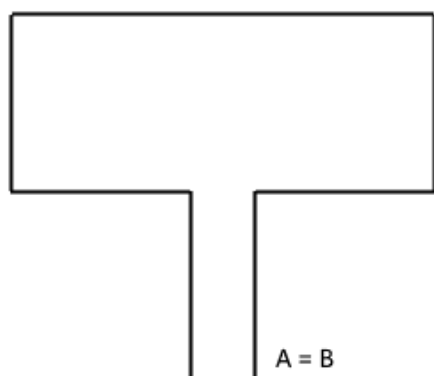


Рисунок 4.1 – Траектория для движения робота

Рисунок 4.2 – Траектория движения робота

Для движения и поворота робота используются блоки «Рулевое управление» и «Независимое управление моторами», работающие в разных режимах. Для поворота необходимо в зависимости от режима настроить параметры блока так, чтобы робот поворачивался на заданный угол. Итоговая программа показана на рисунке 4.3.

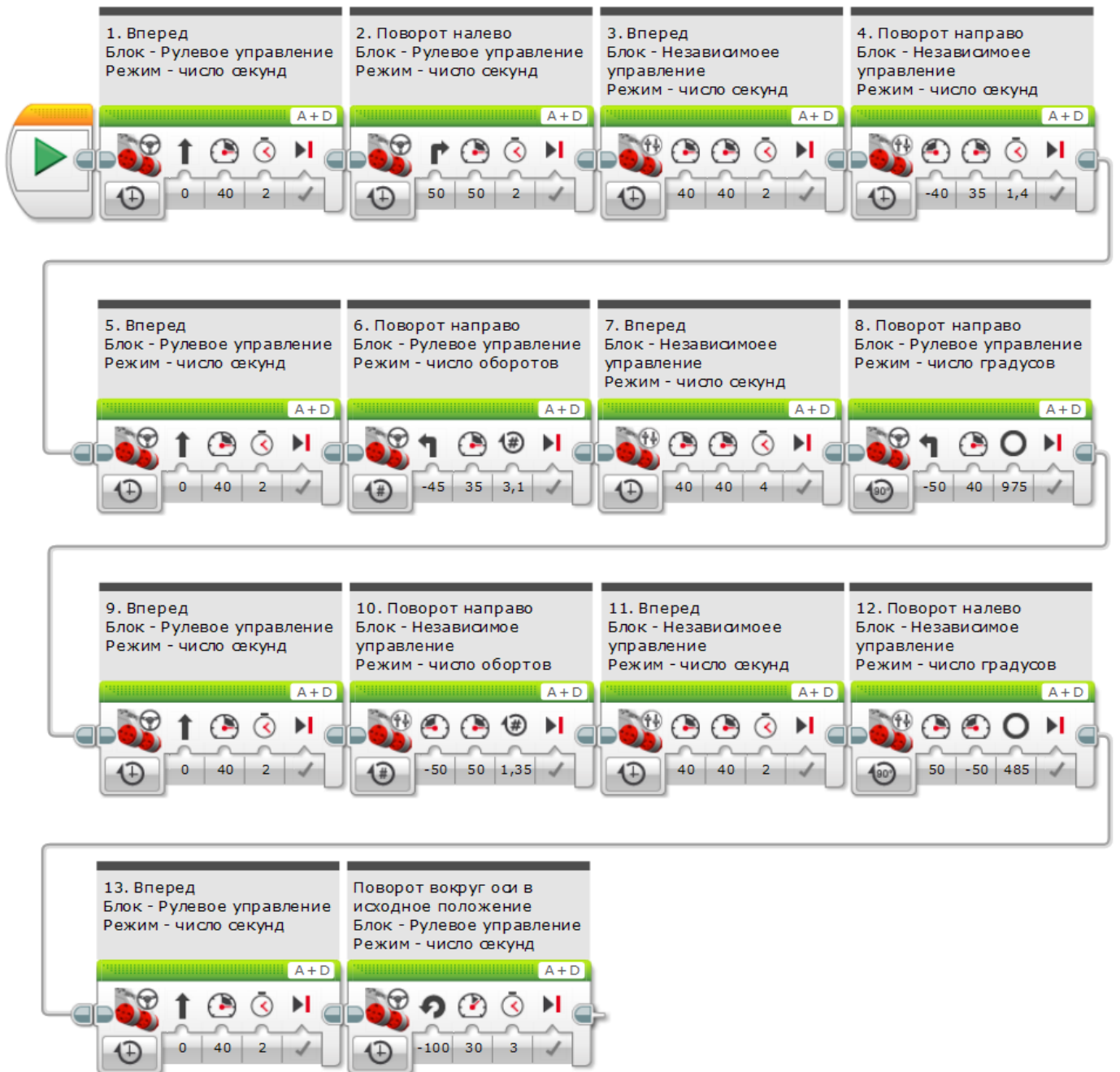


Рисунок 4.3 – Программа для движения робота по заданной траектории

## 5 Задание на самостоятельную работу

5.1 Выполнить приведенные примеры.

5.2 Создать проект и написать программу для движения робота по заданной преподавателем траектории из точки А в точку Б (точки А и Б совпадают).

5.3 Для поворота робота использовать различные режимы работы блоков

(включить на количество секунд, градусов, оборотов), для чего необходимо подобрать соответствующие значения выходных параметров.

5.4 Изменить программу таким образом, чтобы, когда робот приедет из точки А в точку Б, он затем вернулся в обратном направлении (маршрут А – Б – А).

## **6 Содержание отчета**

6.1 Название работы.

6.2 Цель работы.

6.3 Снимок экрана с исходной программой.

6.4 Снимок экрана с измененной программой.

## **7 Контрольные вопросы**

7.1 Какие моторы используются для движения?

7.2 Назовите технические характеристики среднего мотора.

7.3 Назовите технические характеристики большого мотора.

7.4 Опишите блок «Средний мотор»: входные параметры и режимы работы.

7.5 Опишите блок «Большой мотор»: входные параметры и режимы работы.

7.6 Опишите блок «Рулевое управление»: входные параметры и режимы работы.

7.7 В чем отличие блоков «Средний мотор» и «Большой мотор»?

7.8 Опишите блок «Независимое управление моторами»: входные параметры и режимы работы.

7.9 В чем отличие блока «Независимое управление моторами» от других блоков?

7.10 Как задать скорость и направление вращения мотора?

7.11 Как заканчивает работу блок при разном значении параметра «Тормозить в конце»?

7.12 Как используется параметр «Рулевое управление» у блока «Рулевое управление»?

7.13 Как используется параметр «Мощность» у блока «Независимое управление моторами»?

7.14 Как работает режим «Включить на количество секунд»?

7.15 Укажите отличия режимов «Включить на количество градусов» и «Включить на количество оборотов».

7.16 Как режимы «Включить на количество градусов» и «Включить на количество оборотов» связаны друг с другом?

## Список использованных источников

- 1 Овсяницкая, Л.Ю. Алгоритмы и программы движения по линии робота Lego Mindstorms EV3 по линии / Л.Ю. Овсяницкая, Д.Н. Овсяницкий, А.Д. Овсяницкий. – М.: Издательство «Перо», 2015. – 168 с.
- 2 Овсяницкая, Л.Ю. Пропорциональное управление роботом Lego Mindstorms EV3 по линии / Л.Ю. Овсяницкая, Д.Н. Овсяницкий, А.Д. Овсяницкий. – М.: Издательство «Перо», 2015. – 188 с.
- 3 Филиппов, С.А. Робототехника для детей и родителей / С.А. Филиппов. – 3 - изд., испр. – СПб.: Наука, 2013. – 319 с.
- 4 Daniele Benedettelli The LEGO MINDSTORMS EV3 Laboratory. – 2013. – 432 с. – ISBN: 978-1-59327-533-4.
- 5 Gary Garber - Learning LEGO MINDSTORMS EV3. – Packt Publishing, 2015. – 284 с. – ISBN: 978-1-78398-503-6.
- 6 Laurens Valk The LEGO ® MINDS TORMS ® EV3 Discovery Book. – 2014. – 396 с. – ISBN: 978-1-59327-532-7.
- 7 Mark Rollins Beginning LEGO MINDSTORMS EV3. – Apress, 2014. – 280 с. – ISBN: 978-1-4302-6436-1.
- 8 Marziah Karch Build and Program Your Own LEGO® MINDSTORMS® EV3 Robots. – Que Publishing, 2015. – ISBN: 978-0-7897-5185-0.
- 9 Park, Eun Jung Tools and Techniques for Building and Programming Robots. – Wiley, 2014. – 405 с. – ISBN: 978-1118879740.
- 10 Terry Griffin The Art of LEGO® Mindstorms® EV3 Programming. – 2014. – 276 с. – ISBN: 978-1-59327-568-6.
- 11 Yoshihito Isogawa The LEGO MINDSTORMS EV3 Idea Book. –2014. – 232 с. – ISBN: 978-1-59327-600-3.