

МБОУ БГО «Борисоглебская гимназия № 1»  
г. Борисоглебск Воронежская область

**Исследовательский проект**

**РОБОТ,**

**ОБСЛУЖИВАЮЩИЙ ЯДЕРНЫЙ**

**РЕАКТОР АЭС**

*Автор работы*

Степаненко Алиса, обучающаяся 3 «Б» класса

*Руководители*

Степаненко Ольга Владимировна, учитель  
информатики,

Мячина Светлана Александровна, педагог-  
организатор

2015 г.

## Оглавление

Аннотация проекта.....	3
Введение.....	3
1. Теоретическая часть .....	4
Ядерный реактор: строение, особенности обслуживания .....	4
2. Практическая часть .....	7
Модель крышки ядерного реактора АЭС.....	7
Модель робота, обслуживающего ядерный реактор АЭС.....	8
Конструкция робота.....	8
Программа робота.....	11
Результаты и выводы .....	13
Список использованной литературы и Интернет-источники.....	13
Приложение .....	15
Используемые конструкторы.....	15
Используемые контроллеры, моторы, датчики .....	15
Используемые механические передачи .....	15

## **Аннотация проекта**

Исследовательский проект «Робот, обслуживающий ядерный реактор АЭС» представляет собой модель технического устройства – манипулятора, изобретенного человеком.

Известно, что в 50-х гг. XX века появились первые механические манипуляторы для работы с радиоактивными материалами (они повторяли движения рук человека, находящегося на безопасном расстоянии), в 60-е гг. – дистанционно управляемая тележка с манипулятором, микрофоном и камерой – для обследования зон радиоактивного заражения. В 1962 г. были созданы первые промышленные роботы. Сегодня эти умные машины уверенно «завоёвывают» производство.

Для создания модели я использовала робототехнический конструктор LEGO Mindstorms. Робот, обслуживающий ядерный реактор, может загружать тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) в технологические каналы и извлекать поглощающие стержни из соответствующих технологических каналов.

## **Введение**

Почти тысячелетний опыт освоения человечеством энергии огня, воды или ветра свидетельствует о том, что процесс высвобождения из кладовой природы различных видов энергии – не такое уж безопасное дело. Поэтому, когда во второй половине XX века человек научился извлекать огромную энергию из атома, требование не оказаться во власти этого «джинна» – стало определяющим в развитии ядерной энергетики. Чтобы максимальная безопасность и получение необходимого количества электроэнергии были удовлетворены без ущерба друг другу, обслуживание ядерного реактора должно быть полностью автоматизированным.

Сказанное выше подтверждает **актуальность** избранной темы исследовательского проекта: **«Робот, обслуживающий ядерный реактор АЭС»**.

**Цель работы:** моделирование процесса обслуживания ядерного реактора АЭС при помощи робота-манипулятора.

В соответствии с целью были сформулированы следующие **задачи**:

- изучить строение ядерного реактора, особенности его обслуживания, собрать необходимый информационный материал по данной теме;
- создать конструкцию, моделирующую крышку ядерного реактора АЭС с отверстиями – технологическими каналами ядерного реактора для введения тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) и поглощающих стержней;
- разработать модель робота, способного загрузить ТВЭЛы в технологические каналы и извлечь поглощающие стержни из соответствующих технологических каналов;

- разработать программу для автоматической работы робота в среде NXT 2.0;
- провести сравнение автоматической работы робота по программе с работой посредством дистанционного управления через планшет;
- обработать результаты исследования, сделать выводы и подготовить презентационный материал.

Для решения поставленных задач использовался комплекс **методов**: изучение и анализ литературы по проблеме исследования, в том числе из сети Интернет, сбор информационного материала, его анализ; моделирование крышки ядерного реактора, ТВЭЛов, конструирование модели робота, обслуживающего ядерный реактор АЭС; обобщение, сравнение, эксперимент; формулирование выводов по результатам исследования.

## **1. Теоретическая часть**

### **Ядерный реактор: строение, особенности обслуживания**

В нашей стране около 17% экологически чистого продукта – электрической энергии, без которой мы сегодня не можем обойтись ни дома, ни в школе, – получают на 10 атомных электростанциях. Из доступных для меня литературных источников и сети Интернет я постаралась узнать о том, как это происходит.

Сначала будущее топливо для АЭС добывают на урановых рудниках. Затем урановую руду перерабатывают на специальных предприятиях и очищают выделенный уран от посторонних примесей. Полученные чистые порошковые соединения урана обогащают и прессуют в виде больших (1 см диаметром) таблеток.

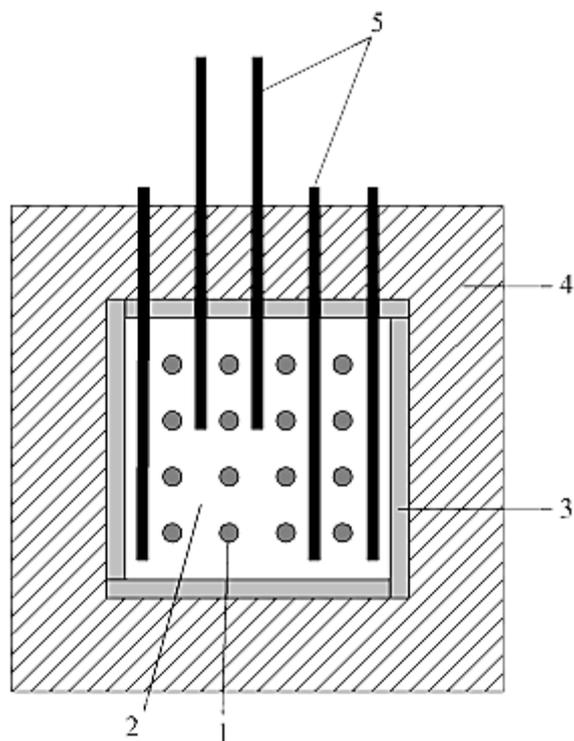
На атомные электростанции свежее топливо поступает с завода-изготовителя в виде, как их называют специалисты, тепловыделяющих сборок. Они представляют собой «пучок» тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) – трубок из металла циркония. Внутри ТВЭЛов находятся таблетки ядерного топлива из химического вещества, который называется диоксид урана. Сами ТВЭЛы заполнены газом гелием и заварены.

В ТВЭЛы ядерное топливо помещают для того, чтобы не было контакта таблеток топлива с водой, которая охлаждает ядерный реактор. Если этого не сделать, то радиоактивное ядерное топливо начнёт растворяться в воде. А это приведёт к повышению ее радиоактивности и ухудшению радиационной обстановки на атомной электростанции.

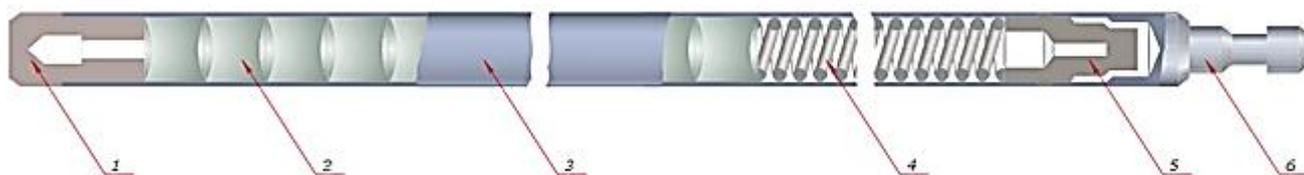
Атомная электростанция – это очень сложное предприятие. Его «сердцем» является ядерная энергетическая установка – ядерный энергоблок. Главным узлом ядерного энергоблока является ядерный реактор.

В процессе изучения строения ядерного реактора и особенностей его обслуживания я установила, что он состоит из: 1 – ядерное топливо, 2 – замедлитель, 3 – отражатель нейтронов, 4 – защита, 5 – регулирующие стержни.

В ядерный реактор вставляются ТВЭЛы – тепловыделяющие элементы и поглощающие стержни. Перемещение стержней производится дистанционно с пульта управления реактором.



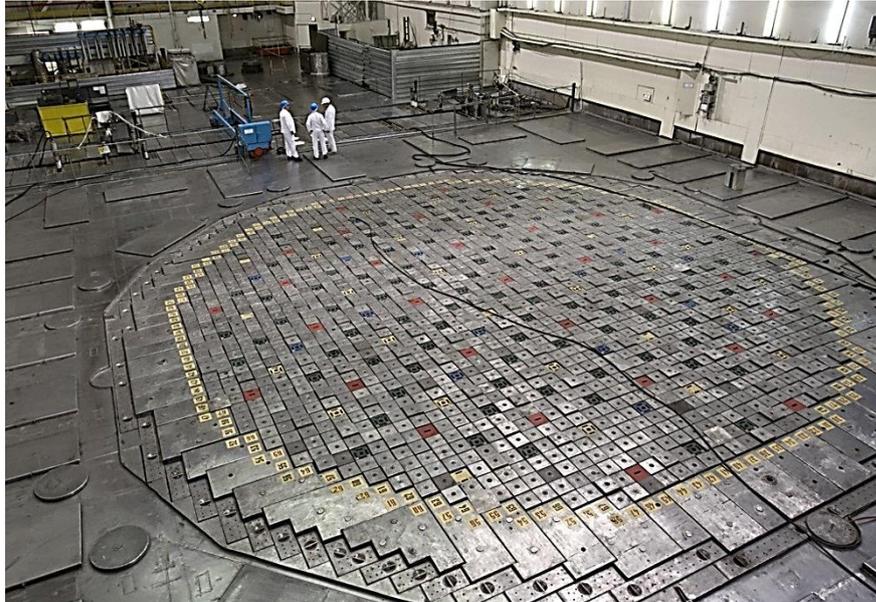
**Схема ядерного реактора**  
 URL: [http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/images/im107\\_1.gif](http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/images/im107_1.gif)



**Устройство ТВЭЛа реактора РБМК:**

- 1 – заглушка; 2 – таблетки диоксида урана; 3 – оболочка из циркония;
- 4 – пружина; 5 – втулка; 6 – наконечник

URL: [http://machinepedia.org/images/3/38/Rbmk\\_fuel\\_rod.png](http://machinepedia.org/images/3/38/Rbmk_fuel_rod.png)



### **Наконечники ТВЭЛов на крышке ядерного реактора**

**URL:**

**[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8b/RIAN\\_archive\\_305011\\_Leningrad\\_nuclear\\_power\\_plant.jpg/800px-RIAN\\_archive\\_305011\\_Leningrad\\_nuclear\\_power\\_plant.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8b/RIAN_archive_305011_Leningrad_nuclear_power_plant.jpg/800px-RIAN_archive_305011_Leningrad_nuclear_power_plant.jpg)**



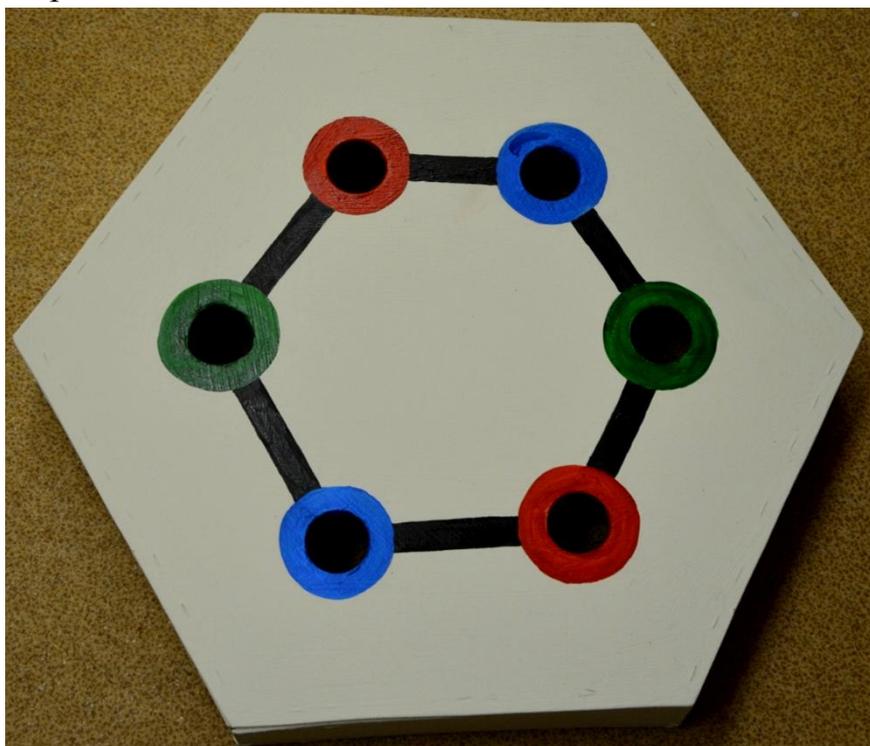
### **Загрузка топлива на АЭС**

**URL: [http://vrn.myatom.ru/mediafiles/u/files/Biblioteca/Rosatom\\_buk\\_QTC.pdf](http://vrn.myatom.ru/mediafiles/u/files/Biblioteca/Rosatom_buk_QTC.pdf)**

## 2. Практическая часть

### Модель крышки ядерного реактора АЭС

Крышка реактора выполнена в виде шестиугольника, материал – ДВП, окрашенный в белый цвет. На поверхность крышки реактора нанесена разметка в виде черной линии. В крышке реактора выполнено 6 сквозных отверстий. Данные отверстия моделируют технологические каналы для загрузки ТВЭЛов и поглощающих стержней.



*Модель крышки ядерного реактора*

Перед началом запуска робота в синие технологические каналы загружены поглощающие стержни. Задача робота загрузить ТВЭЛы в красные технологические каналы и извлечь из синих технологических каналов поглощающие стержни.



*ТВЭЛы*

## Модель робота, обслуживающего ядерный реактор АЭС



*Процесс конструирования захвата для манипулятора робота*

### **Конструкция робота**

#### *Каркас*

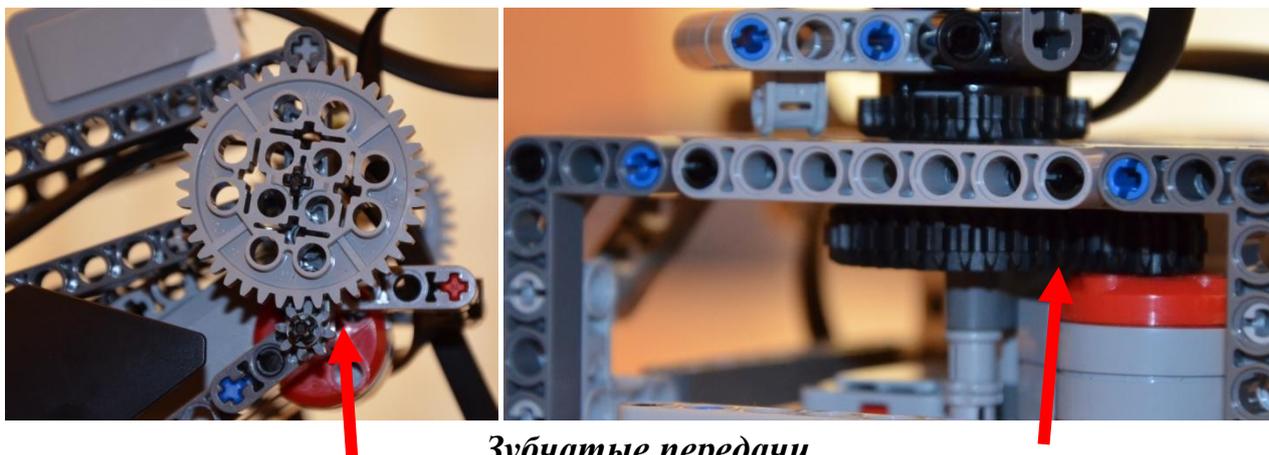
Каркас представляет собой прямоугольник, микрокомпьютер NXT размещен сзади на каркасе. На каркасе размещен большой сервомотор, подключенный к порту С. Спереди робота расположен манипулятор, внизу манипулятора находится датчик касания, ограничивающий поворот манипулятора направо.

#### *Манипулятор*

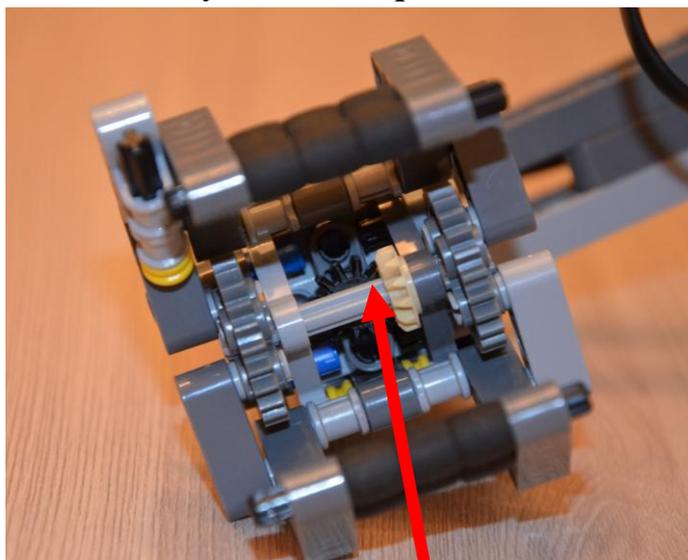
Спереди робота расположен манипулятор. Для поднятия вверх и опускания вниз руки-манипулятора используется большой сервомотор, подключенный к порту В. Для захвата ТВЭЛа используется малый сервомотор, подключенный к порту А. На верху манипулятора расположен датчик цвета.

Благодаря шестерёнкам и трем сервомоторам осуществляется захват ТВЭЛа и дальнейший подъём манипулятора.

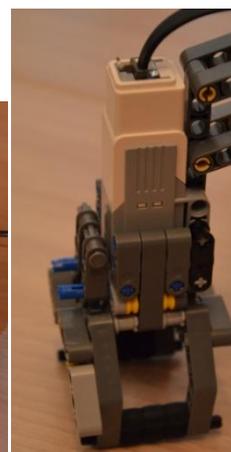
В конструкции манипулятора я использовала зубчатые передачи для усиления поднимающей способности руки-манипулятора и редуктор для захвата.



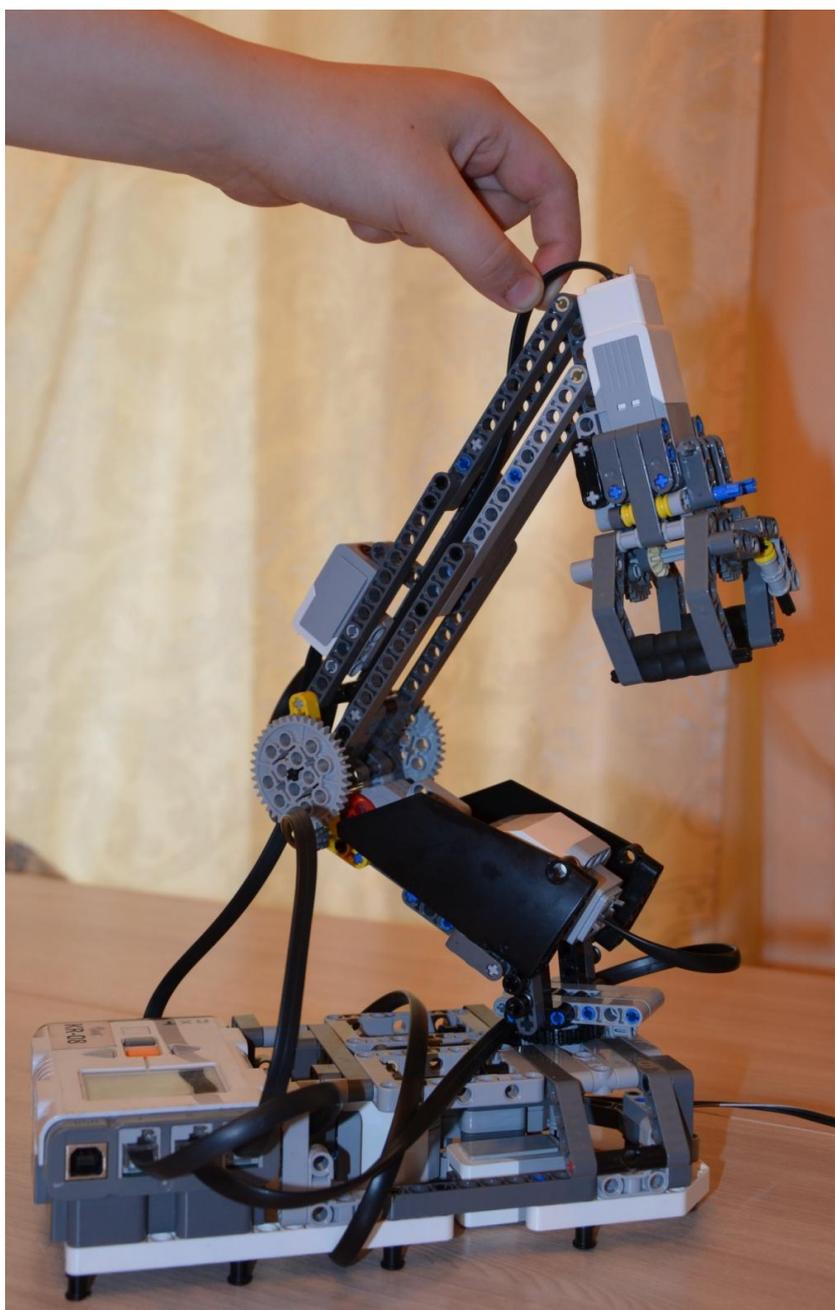
*Зубчатые передачи*



*Редуктор, превращающий горизонтальное вращение сервомотора в вертикальное для захвата и зажима ТВЭЛа*



*Каркас робота (слева) и захват с малым сервомотором (справа)*



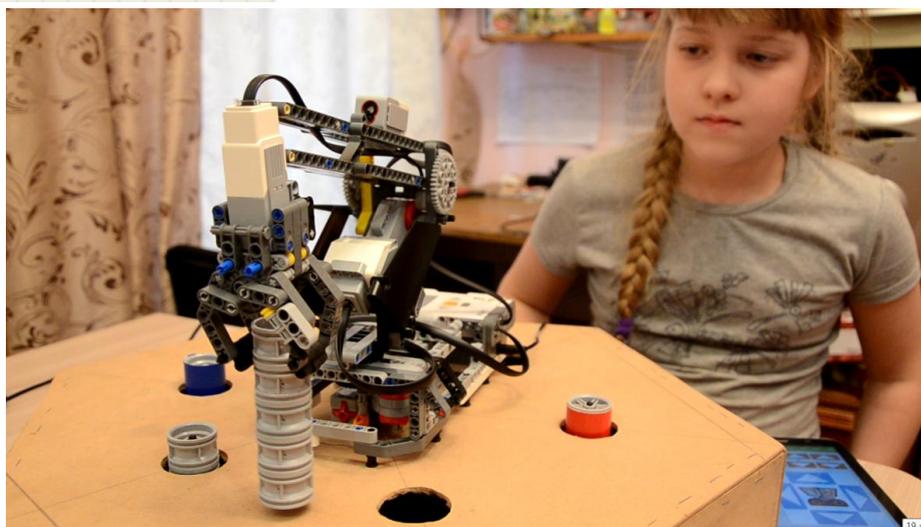
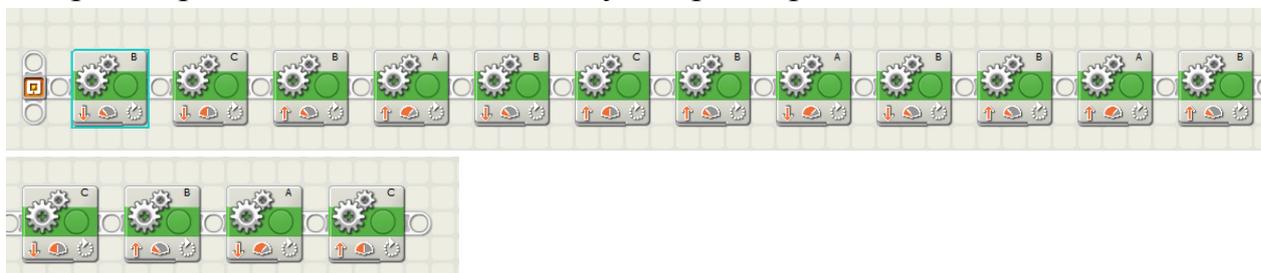
*Робот, обслуживающий атомный реактор АЭС*

## Программа робота



### *Программируем робота*

Программа поворота робота налево, захвата ТВЭЛа, его поднятие, поворот направо, опускание на крышку ядерного реактора между технологическими отверстиями, разжатие, поднятие манипулятора вверх, опускание, захват ТВЭЛа, поднятие, поворот налево и опускание ТВЭЛа в технологическое отверстие, разжатие, поднятие манипулятора вверх:



*Робот-манипулятор в режиме захвата ТВЭЛа, расположенного на крышке ядерного реактора*

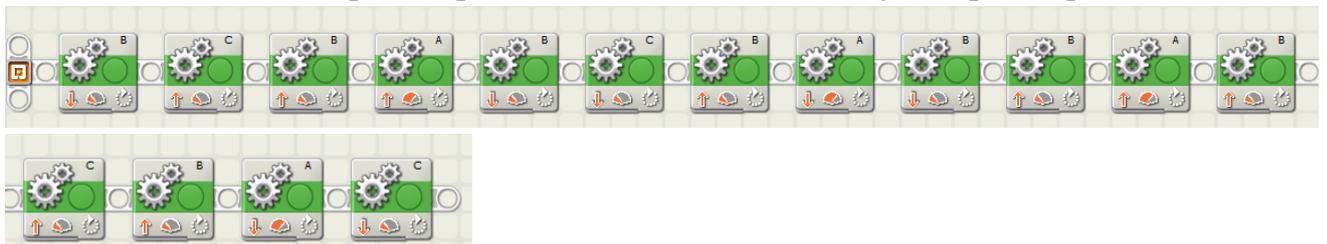


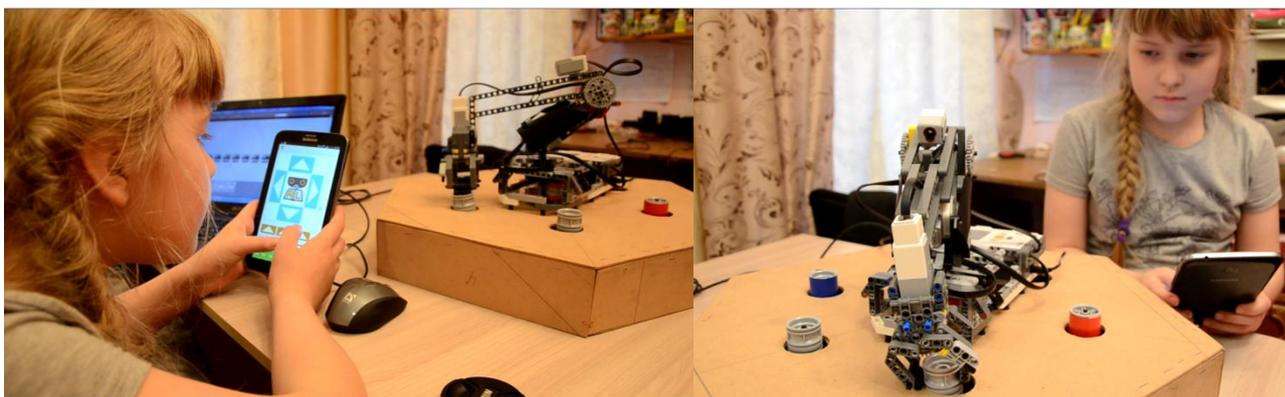
*Робот-манипулятор в режиме захвата поглощающего стержня, расположенного в технологическом канале*



*Робот-манипулятор в режиме переноса поглощающего стержня*

Программа поворота робота направо, захвата ТВЭЛа, его поднятие, поворот налево, опускание на крышку ядерного реактора между технологическими отверстиями, разжатие, поднятие манипулятора вверх, опускание, захват ТВЭЛа, поднятие, поворот направо и опускание ТВЭЛа в технологическое отверстие, разжатие, поднятие манипулятора вверх:





### ***Дистанционное управление роботом через планшет***

В процессе проведения экспериментов я убедилась в том, что работа робота, обслуживающего ядерный реактора АЭС, самая точная в процессе выполнения программы, написанной на языке NXT, а при дистанционном управлении не всегда точно получается захватить и поднять ТВЭЛ из технологического канала.

### **Результаты и выводы**

В процессе проведения экспериментов и испытания робота приходилось осваивать *новое*: это и незнакомые алгоритмы программирования, и дистанционное управление роботом при помощи планшета, и то, что полученного робота, после небольших изменений в конструкции, можно использовать иначе для других задач. Я об этом в начале работы и не догадывалась.

В результате работы над проектом я создала робота, обслуживающего ядерный реактор АЭС, способного загружать тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) в технологические каналы и извлекать поглощающие стержни из соответствующих технологических каналов ядерного реактора АЭС.

Я уверена, что мои идеи найдут свое применение в процессе автоматизации обслуживания ядерных реакторов АЭС. Созданный мною робот значительно уменьшит вероятность радиационного заражения работников АЭС и обеспечит им безопасный для жизни процесс обслуживания ядерного реактора.

### **Список использованной литературы и Интернет-источники**

1. Акатов А.А. Ядерный топливный цикл – от руды к ОЯТ. [Электронный ресурс] URL:  
[http://vrn.myatom.ru/mediafiles/u/files/Biblioteca/Rosatom\\_buk\\_QTC.pdf](http://vrn.myatom.ru/mediafiles/u/files/Biblioteca/Rosatom_buk_QTC.pdf)

2. Дженжер В.О., Денисова Л.В. Введение в программирование LEGO-роботов на языке NXT-G: учебное пособие для студентов и школьников. /В.О. Дженжер, Л.В. Денисова. – М.: Национальный открытый университет «ИНТУИТ», 2014. – 87 с.
3. Информационный центр по атомной энергии <http://vrn.myaatom.ru/>
4. Карпов С.А. Мирный атом. 9 класс: учебное пособие для 9 класса общеобразовательных учреждений. – Северск: СИБАТОМКАДРЫ, 2011 – 75 с.
5. Копосов Д.Г. Первый шаг в робототехнику: практикум для 5-6 классов/Д.Г.Копосов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 286 с.
6. Копосов Д.Г. Первый шаг в робототехнику: рабочая тетрадь для 5-6 классов/Д.Г.Копосов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 87 с.
7. Мур Т. Роботы для атомных электростанций. [Электронный ресурс] URL: [https://www.iaea.org/sites/default/files/27304393138\\_ru.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/27304393138_ru.pdf)
8. Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей. - СПб.: Наука, 2013. – 319 с.
9. LEGO MINDSTORMS NXT One-Kit Wonders Ten Inventions to Spark Your Imagination. James Floyd Kelly Matthias Paul Scholz Christopher R. Smith Martijn Voogaarts Jonathan Daudelin Eric D. Burdo Laurens Valk BlueToothKiwi. - 1 ноября 2008 г. No Starch Press

**Используемые конструкторы**

LEGO® MINDSTORMS® NXT v.9797

LEGO® MINDSTORMS® Education EV3

Ресурсный набор LEGO® MINDSTORMS® NXT v.9648

Ресурсный набор LEGO® MINDSTORMS® Education EV3

**Используемые контроллеры, моторы, датчики**

NXT – 1 шт.



Конструктор

LEGO  
Mindstorms  
EV3

Средний  
сервомотор



1 шт.

Большой  
сервомотор



2 шт.

Датчик  
касания



1 шт.

Датчик  
цвета



1 шт.

**Используемые механические передачи**

- Зубчатая передача
- Редуктор