

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
( Н И У « Б е л Г У » )

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК  
КАФЕДРА ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

**РАЗРАБОТКА МАКЕТА АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА И  
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ К НЕМУ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ  
ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ СЧЕТУ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛОВОЙ ЛИНИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО  
ХАРАКТЕРИСТИК**

Выпускная квалификационная работа

студента очной формы обучения направления подготовки  
03.04.02 Физика магистерская программа  
Медицинская физика

группы 07001638  
Буковского Александра Ивановича

Научный руководитель  
профессор, д.ф-м.н. Внуков И.Е.

Консультант  
профессор, д. т. н. Афонин А.Н.

Рецензенты  
доцент, к.ф-м.н, Кучеев С.И.

заместитель генерального  
директора по качеству и сервису  
АО «Медтехника» г. Белгород  
Павленко А.И.

БЕЛГОРОД 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1 ПСИХОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОПЛОЩЕННОГО ЧИСЛОВОГО ПОЗНАНИЯ.....	6
1.1 Воплощенное числовое познание .....	6
1.2 Пространственно-числовые представления.....	8
1.3 Влияние социального взаимодействия с роботами на обучении детей .	11
ГЛАВА 2 ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧИСЛОВЫЕ ТРЕНИНГИ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ У ДЕТЕЙ.....	16
2.1 Пространственно-числовые тренинги как результативный метод усовершенствования арифметических способностей у детей.....	16
2.2 Пример пространственно-числового тренинга .....	19
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА ПРОГРАММНО АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ЧИСЛОВАЯ ЛИНИЯ.....	21
3.1 Разработка структурной схемы программно-аппаратного комплекса .....	21
3.2 Построение и исследование математической модели.....	23
3.3 Описание основных фрагментов программного обеспечения .....	27
3.4 Проектирование и изготовление электронной части макета.....	28
3.4 Проектирование и изготовление несущей работа .....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	34

## ВВЕДЕНИЕ

Математика является неотъемлемой частью повседневной жизни и играет важную роль в современном обществе на всех уровнях. Приобретение математических способностей имеет большое значение, как для каждого конкретного человека, так и для общества в целом[1]. Отсутствие или недостаточная сформированность основных математических навыков и понимания числовых величин может вызвать трудности в решении даже простых повседневных задачи, таких как, например, покупка товаров в магазине. В последствие отсутствие нужных математических компетенций может привести к проблемам в карьерном росте, к снижению качества жизни в целом. Этот факт был подтвержден исследованием, проведенным в Великобритании. Результаты говорят о том, что люди, испытывающие серьезные трудности с арифметикой, меньше зарабатывают, чаще болеют и чаще нарушают законы. Социологи выяснили, при условии того, что удалось бы подтянуть 20% самых «математически отсталых» американцев до минимально приемлемого уровня по стандарту «Международной программы по оценке образовательных достижений учащихся» (см.: PISA), это обеспечило бы дополнительный прирост ВВП на 0,74% в год.

Сегодня у многих взрослых и детей наблюдается боязнь математики. Ученые считают это полноценной фобией (math anxiety) в современном обществе [2], проявляющейся как сильно выраженный навязчивый страх, не поддающийся полному логическому объяснению и обостряющийся в ситуациях необходимости решать математические задачи. Математическая фобия начинается с непонимания основ математики, с отсутствия интереса к сложным абстрактным понятиям. В дальнейшем тревога усиливается, перерастая в стресс, и человек начинает избегать объектов, видов деятельности или ситуаций, связанных с оперированием математическими понятиями. Математика не представляет собой реальную угрозу, но проявления математической фобии вызывают совершенно реальную

физическую реакцию, сопровождающуюся выбросом гормонов стресса, например кортизола, что характерно для таких реакций, как "бей или беги".

Предотвратить возникновение и развитие, а также скорректировать уже начавшую формироваться математическую фобию в старшем дошкольном и младшем школьном возрасте помогают специально организованные развивающие занятия, которые в увлекательной игровой форме позволяют научить ребенка выполнять сравнение числовых величин, определять позицию числа на числовой линии, производить простейшие арифметические вычисления с одно- и двузначными числами. В настоящее время существуют пространственно-числовые тренинги и развивающие компьютерные игры, например, "Числовая гонка" и "Спасение Калькуляриса"; числовые настольные игры (линейные настольные игры).

Однако более перспективным, на наш взгляд, является применение тренинга на основе воплощенного числового познания в форме игры с элементами социального взаимодействия. Основная идея воплощенного числового познания основана на предположении, что двигательная система не только контролирует и отслеживает действия, но также оказывает влияние на формирование мысленных представлений о числах [3]. Ярким примером воплощенного числового познания на практике является использование детьми пальцев рук для счета, которое представляет собой универсальный этап в развитии математических компетенций у детей.

Двигательная активность всего тела, используемая в пространственно-числовых тренингах на основе воплощенного числового познания с использованием числовой прямой, является очень эффективной и перспективной стратегией развития различных математических навыков[3]. Дети во время движения слева направо вдоль числовой линии усваивают на сенсорном уровне, что большие числа требуют перемещения на большие дистанции по сравнению с малыми числами, когда достаточно сделать несколько шагов и достичь цели. Различные типы систематических движений тела вдоль числовой линии в соответствии с ориентацией слева направо могут

быть использованы для усовершенствования арифметических навыков и точности при определении положения числа на линии. Включение в тренинг элементов соревнования с другими детьми или даже социальными роботами в качестве партнеров по социальному взаимодействию позволит сделать его более продуктивным достичь более значимых результатов в развитии математических навыков.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка программно-аппаратного комплекса «Числовая линия». Для достижения данной цели решались следующие задачи:

создание блока управления робота;

создание программного обеспечения;

создание трехмерной модели макета и его изготовление.

# ГЛАВА 1 ПСИХОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОПЛОЩЕННОГО ЧИСЛОВОГО ПОЗНАНИЯ

## 1.1 Воплощенное числовое познание

Основная идея воплощенного познания основана на предположении, что двигательная система не только контролирует и отслеживает действия, но также оказывает влияние на формирование когнитивных представлений [2]. Человеческое познание изначально коренится в состояниях и зависимых от восприятия состояниях и зависимых от проприоцепции двигательных процессах, и, следовательно, находится под влиянием и иногда определяется телесным опытом, получаемым из окружающей среды [3]. Данный вид познания тесно связан с числовым познанием, используемым для обозначения мысленных представлений о числах. Воплощенные представления определенных величин могут системно и функционально влиять на процесс усвоения математических понятий и оперирования числами и арифметическими операциями. Идея, что телесные переживания могут влиять на числовое познание, привела к увеличению исследовательского интереса к данной проблеме и была с успехом применена для усиления эффективности тренингов по данной тематике в последние годы [5]. Наглядным примером использования воплощенного числового познания на практике является использование детьми пальцев рук для счета, в связи с тем, что это универсальный этап в развитии математических компетенций у детей [5].

Тщательное изучение данного вопроса показало четкую, произвольную, двунаправленную и функциональную связь между пальцами рук и числами при усвоении и усовершенствовании вычислений, отражающих процесс формирования телесно ассоциированных представлений о числах в мозге. Однако не только счет на пальцах показывает формирование пространственно-числовых представлений [2]. В некоторых исследованиях были продемонстрированы также влияния других видов телесного опыта на

числовое познание. Так, Loetscher, Schubiger отмечают, что поворот головы в сторону оказывает влияние на генерацию случайных чисел: испытуемые называли относительно небольшие числа, при повороте головы влево, и относительно большие – вправо.

Необходимо отметить что в качестве примеров воплощенного числового познания можно рассматривать движения всего тела. Суть идеи заключается в том, что ориентация слева направо связана с ростом числовых величин при различных движениях всего тела. В ряду экспериментов, включающих тренировки на основе воплощенного числового познания, были получены значительные результаты в различных возрастных группах. Во всех исследованиях дети прошли обучение с использованием различных цифровых средств: танцевального коврика, интерактивной доски, датчика Xbox Kinect. В этих исследованиях использовались различные типы движений: короткие шаги влево или вправо на танцевальном коврике [6], непрерывная ходьба вдоль интерактивной доски [7] или вдоль числовой линии, расположенной на полу [7] для эффективного усвоения пространственно-числовых представлений, закрепляемых с помощью числовой линии, в различных диапазонах (0-10 до 0-100). Важно также отметить, что развивающие занятия на основе воплощенного числового познания оказались эффективными для разных возрастных групп, начиная от дошкольников и заканчивая учащимися 2 класса. Тренируемые навыки соответствовали тем математическим компетенциям, которые изучаются в соответствующем возрасте (начиная со сравнения однозначных чисел в детском саду и заканчивая определением пространственно-числовой зависимости во 2-м классе) для актуализации максимального развивающего эффекта от тренинга и предотвращения появления скуки или перенапряжения у детей. Таким образом, движения всего тела можно считать эффективным способом развития математических способностей у детей разных возрастных групп. В нашем проекте мы планируем применить движения всего тела в обучении не только детей

младшего школьного возраста (1-го и 2-го классов), но и средних школьников 5-го и 6-го классов.

## 1.2 Пространственно-числовые представления

Пространственное представление числовых величин - или мысленная (умственная) числовая линия - это одно из наиболее широко изученных базовых понятий, связанных с пониманием числа. Также рассматривается как пример пространственно-числовых ассоциаций (*spatial-numerical associations*) [8]. За годы исследований не осталось сомнений, что умение правильно оперировать базовыми несимволическими понятиями и одноразрядными числами имеет важное значение для развития математических способностей и обучения сложным арифметическим операциям. Приобретение компетенции оперирования числами опирается на понимание значения числа и того, как соединить величины для получения ответов при решении задач с конкретными величинами, наряду с усвоением словесных ассоциаций между примерами и ответами [8].

Лидирующая в настоящее время модель, объясняющая особенности приобретения математических компетенций - модель тройного кода - включает три различных типа числовых представлений: представление аналоговой величины, словесное представление слов, обозначающих числа и арифметические факты, и визуальную форму представления арабских чисел [7]. Согласно этой модели, представление величины понимается как пространственное расположение числовой величины на аналоговой числовой линии, которая автоматически активируется всякий раз, когда нам встречается это число. На этой мысленно представленной числовой линии, числа пространственно кодируются и отражаются в аналоговом формате.

Основные принципы концепции мысленной числовой линии включают в себя следующие характеристики: (1) числа и величины представлены в порядке возрастания или слева-направо относительно числовой линии в



западных странах: малые числа связаны с левой стороной, а большие числа с правой стороной пространства, в зависимости от их положения на числовой линии [9]; (2) связи между пространственными и числовыми интервалами относятся к ненаправленному пространственно-числовому расположению на физическом расстоянии или на длине линии [9]; (3) мысленная числовая линия начинает развиваться в начале жизни, точность определения положения числа на линии возрастает с возрастом и опытом [10]; (4) числа в привычном диапазоне представляются в линейной равноудаленной форме, что означает, что разность между соседними числами постоянна [10]; (5) повышение определения числа на линии может характеризоваться переходом от нелинейных (логарифмических или мультилинейных) к представлениям линейной формы [11], и (6) оценку выбора правильного положения числа на числовой строке можно тренировать, и выполнение задания на определение положения числа сильно коррелирует с базовыми арифметическими навыками в случае с сложения и вычитания [8].

Считается, что у детей свои внутренние представления о числах начинают развиваться задолго до начала формального школьного обучения. Пространственное слева направо кодирование чисел было обнаружено даже у детей дошкольного возраста [10]. С началом школьного обучения и усвоения символической системы чисел и арифметических навыков эти представления становятся более точными и расширяются до возможности оперирования в диапазоне больших числовых значений [10]. Было показано, что большинство детей в детском саду оценивают числа в логарифмическом формате (преувеличение расстояния между числами в нижнем числовом диапазоне и минимизация расстояния между числами в среднем и верхнем диапазонах). Первоклассники могут продемонстрировать либо логарифмические, либо линейные функции, в то время как второклассники показывают результаты, которые однозначно могут быть описаны с помощью линейных паттернов [12] Это может пониматься как сдвиг от логарифмических (расстояния между малыми числами больше, чем такие же расстояния между большими числами)

к линейным (числа занимают равноудаленные позиции независимо от их величин) представлениям, что происходит в возрасте между детским садом и вторым классом при оценке чисел в диапазоне от 1 до 100. Однако психические процессы и стратегии, лежащие в основе пространственно-числовых ассоциаций в задаче на определение положения числа на линии у детей разных возрастных групп до сих пор противоречивы [12].

Некоторые авторы утверждают, что логарифмический паттерн может быть результатом мультилинейных представлений для различных числовых диапазонов, и типичная линейная форма может быть результатом хорошей ориентации на числовой линии и точным определением положения многозначных чисел на линии в определенном возрасте, и не может быть объяснено только с позиции сдвига от логарифмического к линейному паттерну [11]. Другие уверяют, что пространственно-числовые ассоциации не возможно вообще выявить, тогда как различные пропорциональные стратегии, (с использованием опорных точек) применяются для решения подобных задачи. Увеличение числа опорных точек коррелирует с увеличением общей точности в оценке. В их точки зрения успешное применение таких пропорциональных процессов может привести к кажущейся линейной оценке без линейного представления.

Развитие компетенции «числовая линия» у детей обычно измеряется с помощью задания, которое предполагает определение положения числа на числовой линии, которая была предложена [3]. Задачи на определение числа на линии традиционно ассоциируются с успеваемостью по математике. В решении этой задачи, участники должны определить пространственное положение заданного числа (например, «55»), отметив его на числовой линии, на которой выделены только конечные точки (например, «0» и «100»). Как правило, расстояние между детской оценкой положения числа и фактическим положением заданного числа берется как показатель их точности представления мысленной числовой линии. Точное пространственное представление можно считать надежным показателем хороших

арифметических способностей [8]. Например, Бут и Зиглер (2008) обнаружили, что дети с более точным представлением числовой линии лучше решают арифметические задачи, а также запоминают ответы на незнакомые арифметические задачи более легко. Линк и ее коллеги (2014) наблюдали связь между точностью определения положения числа на числовой линии и навыками сложения и вычитания у детей младшего школьного возраста. В некоторых исследованиях указывается возможность обучать точности пространственного представления числовой величины у типично развивающихся детей [6].

Как мы видим, пространство можно рассматривать как мощный инструмент для освоения арифметических понятий. Таким образом, тренинги, основанные на пространственно-числовых представлениях, являются полезными для усовершенствования арифметических навыков у детей. В следующем параграфе мы рассмотрим достигнутые результаты и перспективные направления применения таких обучающих программ для развития успеваемости по математике.

### 1.3 Влияние социального взаимодействия с роботами на обучении детей

Социальное взаимодействие с другими очень важно для развития всех детей. Большинство возможностей для социального взаимодействия у детей реализуется во время игры. Играя с партнерами, дети изучают особенности социального поведения, приобретают коммуникативные, познавательные, и моторные навыки. Социальное взаимодействие выступает как важный фактор, значительно влияющий на эффективность процесса обучения детей.

Известным и перспективным способом приобретения знаний в любой области с помощью социального взаимодействия является обучение на основе конкуренции или сотрудничества. Сотрудничество и конкуренция не являются по своей природе хорошими или плохими по отношению к процессу

обучения, так как многое зависит от того, как преподаватели или воспитатели используют эти стратегии, чтобы улучшить процесс обучения детей. В обучении, основанном на сотрудничестве, дети или взрослые вовлечены в деятельность, где каждый человек зависит от другого и несет ответственность перед другими, объединяя усилия и достигая положительных результатов благодаря достоинствам и навыкам друг друга (оценивая идеи друг друга, спрашивая друг у друга информацию, контролируя работу друг друга, уделяя внимания действиям и движениям друг друга, и т.д.). Существуют различные точки зрения относительно использования конкуренции в образовании и культурном развитии. Согласно некоторым взглядам, дети спонтанно выбирают соревновательную деятельность со сверстниками из-за врожденного желания сравнивать себя с другими всеми возможными способами. Конкуренция является частью мировой культуры и очень важна во взрослой жизни, вот почему необходимо включать соревновательные элементы в образовательную деятельность, чтобы помочь детям привыкнуть к ней и легко принять ее в будущем. Противоположное мнение утверждает, что конкуренция – это отрицательный элемент в культуре любого народа, который удельный вес которого во взаимодействии необходимо сокращать.

В нашем проекте будет применен тренинг на основе кооперативной конкуренции в форме развивающей игры. Таким образом, игра с соревновательным уклоном во время обучения, очевидно, имеет преимущества для развития ребенка. Хотя необходимо различать соревнование как борьбу, где все остальные конкуренты должны быть побеждены и соревнование как способ сосредоточиться на собственном успехе или на преодолении любых внешних препятствий на пути к нему (например: математическая проблема, низкие успехи в школьном обучении). Последняя трактовка стала более важным пониманием соревновательной стратегии в современном обществе и отражает согласованно действующую форму соревнования, где участники сочетают достижение индивидуального успеха с удовлетворением целей группы [10]. Кооперативное соревнование

может включать или непосредственное живое взаимодействие лицом к лицу или компьютерное взаимодействие (онлайн-форумы, чаты, и т.д.). В подобных видах деятельности другие дети, взрослые или даже социальные роботы могут рассматриваться как партнеры по взаимодействию. В рамках нашего двустороннего проекта мы планируем разработать и создать социального робота для реализации взаимодействия типа "ребенок-робот" на основе кооперативного соревнования.

В наше время воздействие социальной робототехники играет ключевую роль для детей и подростков, где роботы могут использоваться для их развития и интеллектуального роста. Взаимодействие человек-робот может рассматриваться как конкретный тип социального взаимодействия, где социальные роботы создаются с целью использования в различных ситуациях, включая развлечения, обучение, обеспечение безопасности и здоровья. Роботы, используемые в социальном взаимодействии с людьми, должны обладать несколькими важными особенностями. Самой очевидной и уникальной характеристикой робота является его физическое воплощение. Роботы традиционно сравниваются с электронными системами, не имеющими физического воплощения (например, виртуальные сопутствующие агенты, персональные цифровой ассистенты, интеллектуальные среды, и т.д.) [4] Результаты показали, что физически воплощенный робот рассматривался участниками эксперимента как более привлекающий внимание, полезный, и привлекательный, чем реалистичная или нереалистичная симуляция [4]. Второй важной характеристикой робота является наличие социального интеллекта. Такие роботы демонстрируют человекоподобный социальный интеллект, основанный на основе глубинных моделях человеческих познавательных способностях и социальной компетентности [5]

Роботы, применяемые в обучении, относятся к подмножеству образовательных технологий, где они используются для облегчения процесса обучения и улучшения успеваемости учащихся. Роботы обеспечивают физическое взаимодействие и возможность включить социальное

взаимодействие в образовательный контекст и, следовательно, успех обучения на основе программного обеспечения, примером такого робота может служить робот «Pepper» (рис. 1.1)

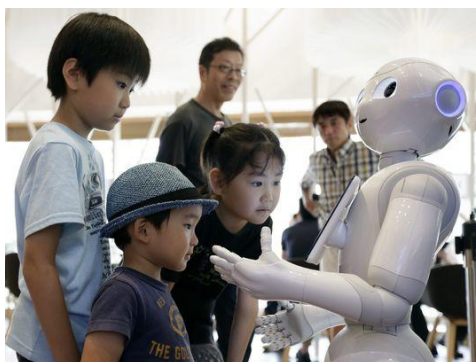


Рис. 1.1 "Робот Pepper"

Роботы могут служить развлекательными платформами для изучения компьютеров, электроники, машиностроения и языков. Например, в исследовании было показано, что маленькие дети продемонстрировали лучшие результаты на контрольном замере показателей после тренинга и больше заинтересованности, когда изучение языка происходило с помощью робота, в сравнении с аудиозаписями и книгами (Han, 2008). Два главных направления, где главным образом используются социальные роботы, - это робототехника и компьютерное образование (техническое направление) и нетехническое образование (естественнонаучное и языковое направления). В техническом образовании роботы применяются с целью представить информатику и программирование. Нетехнические предметы используют роботов как промежуточный инструмент, чтобы преподавать математику [5] или языки [6].

Роботы в образовании применяются как в учебном, так и во внеучебном процессе. Иногда соревнования с роботами включают в учебный процесс на постоянной основе, так как они проводятся в конце освоения курса и представляют собой форму аналоговую обучения. Обучение во внеурочной деятельности проводится в форме семинаров под руководством

преподавателей, дома под руководством родителей. Оно обычно предполагает более расслабленную атмосферу, допускает отклонения от учебного плана и поэтому его легче организовать. В процессе обучения робот может выполнять различные роли с регулированием уровня участия в учебной задаче: пассивную роль в виде средства обучения / учебного пособия; роль равноправного партнера, что предполагает активное и непосредственное участие в деятельности, или даже роль наставника, когда робот адаптирует арифметические упражнения под уровень успеваемости учащегося. Роботы широко используются в образовании в качестве средств обучения, как роботы-игрушки для детей, страдающих аутистическим спектральным расстройством (ASD), как вспомогательное устройство [7] и как учебные пособия в специальном образовании [8]

Таким образом, в нашем проекте взаимодействие робота и ребенка будет осуществлено на основе кооперативной конкуренции (соревнования) в форме воплощенного обучения с применением различных задач на числовой линии. Робот будет в роли равноправного партнера ребенка. Они должны будут выполнить одни и те же арифметические задания, двигаясь вдоль числовой линии параллельно и используя одинаковое оборудование, чтобы маркировать свой ответ на линии при решении каждой числовой задачи. Мы предполагаем, что воплощенное обучение, комбинированное с социальным взаимодействием в игровой форме, будет иметь благоприятное воздействие на развитие числового познания у детей.

## ГЛАВА 2 ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧИСЛОВЫЕ ТРЕНИНГИ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ У ДЕТЕЙ

### 2.1 Пространственно-числовые тренинги как результативный метод усовершенствования арифметических способностей у детей

Традиционно к обучению базовым навыкам оперирования числами относятся написание чисел, сравнение числовых величин, расположение чисел в порядке возрастания (убывания), определение позиции числа на числовой линии, прямой и обратный счет, вычисления с одно- и двузначными числами. Эти базовые навыки оперирования числами в дальнейшем выступают основой для развития более сложных математических компетенций и для определения уровня развития арифметических способностей у детей [9].

В настоящее время возрастает интерес к пространственно-числовым тренингам и развивающим программам, например, к таким как компьютерные развивающие программы "Числовая гонка" (рис. 2.1) и "Спасение Калькуляриса"; интернет игр, и групповых числовых настольных игр (линейные настольные игры рис. 2.2).



Рис. 2.1 "Числовая гонка"



Рис. 2.2 "Number Craps"



Проведенные исследования показали, что задания с числовой линией непосредственно связаны с навыками вычисления, и точное определение положения числа на линии коррелирует с базовыми математическими и арифметическими способностями [9]. Все типы пространственно-числовых тренингов оказываются успешными в усовершенствовании математических навыков у детей.

Кроме того, как уже отмечалось до этого, двигательная активность всего тела, используемая в пространственно-числовых тренингах, является очень эффективной и перспективной стратегией в формировании базовых пространственно-числовых представлений и в развитии более сложных математических навыков [8]. В основе тренингов лежит идея о том, что систематические непрерывные воплощенные переживания пространственно-числовой взаимосвязи благотворно влияют на обучение математике. Дети во время движения слева направо вдоль числовой линии усваивают на сенсорном уровне, что большие числа требуют перемещения на большие дистанции по сравнению с малыми числами, когда достаточно сделать несколько шагов и достичь цели. Различные типы систематических движений тела вдоль числовой линии в соответствии с ориентацией слева направо могут быть использованы для усовершенствования арифметических навыков и точности при определении положения числа на линии. Кроме того, интенсивное развитие пространственно-числовых представлений способствует развитию вычислительных способностей с основными арифметическими операциями: сложением и вычитанием, даже если их развитие не являлось целью тренинга. Например, у детей продуктивность сложения однозначных чисел без перехода через десяток ( $4 + 5 = 9$ , когда сумма двух чисел меньше 10), а также с переходом через десяток ( $7 + 8 = 15$ , когда сумма в разряде единиц превышает 9, и, таким образом, 1 должна быть перенесена в разряд десятков) улучшилась после воплощенного обучения с помощью числовой линии [3]. Тренируемые навыки соответствовали тем математическим компетенциям, которые

изучаются в соответствующем возрасте и являются неотъемлемой частью учебного плана для соответствующей возрастной группы (начиная со сравнения однозначных чисел в детском саду и заканчивая определением пространственно-числовой зависимости во 2-м классе).

Таким образом, пространственно-числовые тренинги на основе воплощенного познания показывают надежные результаты, подтверждающие высокую эффективность их применения в качестве нового и привлекательного способа развития математических способностей у детей в относительно легкой и привлекательной форме, даже в рамках краткосрочных развивающих программ. В нашем проекте такой тренинг с использованием числовой линии на основе воплощенного познания будет сочетаться с социальным взаимодействием в виде активной игры (рис 2.3).

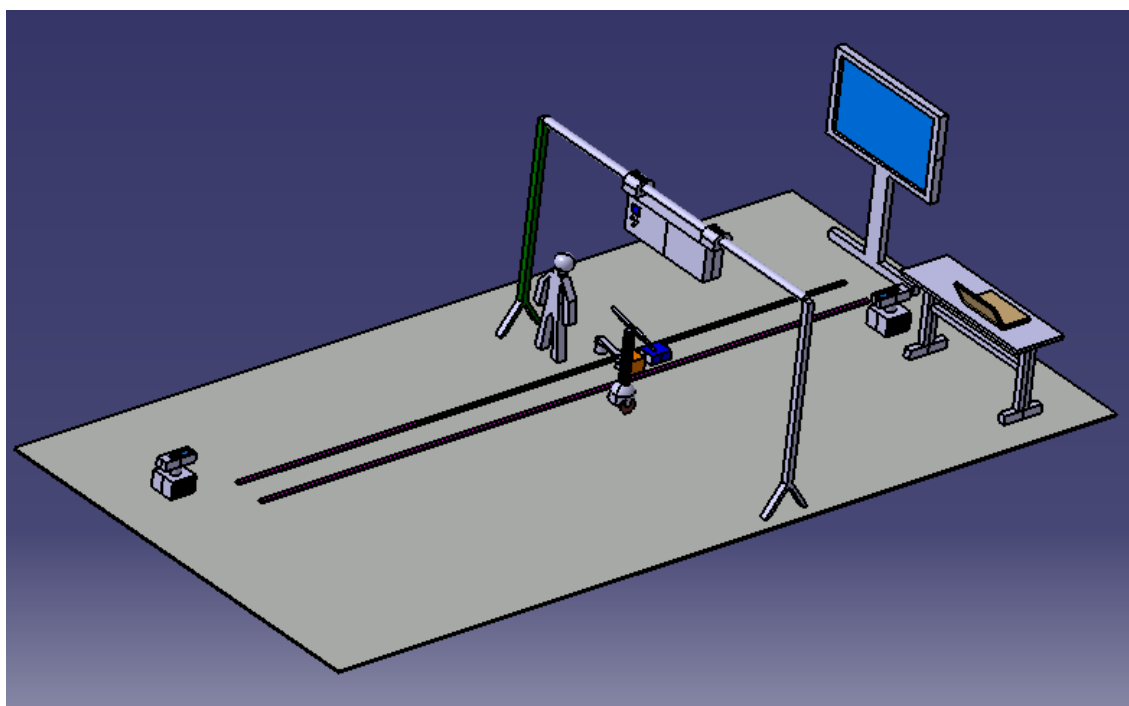


Рис. 2.3 Тренинг с использованием числовой линии

## 2.2 Пример пространственно-числового тренинга

На рисунке 2.4 приведена структурная схема тренинга «Числовая прямая». Все компоненты комплекса синхронизированы и связаны в беспроводную локальную сеть (центральный компьютер, к которому присоединен проектор, 2 дальномера, лазерный построитель числовой линии, 2 цифровых коробки).

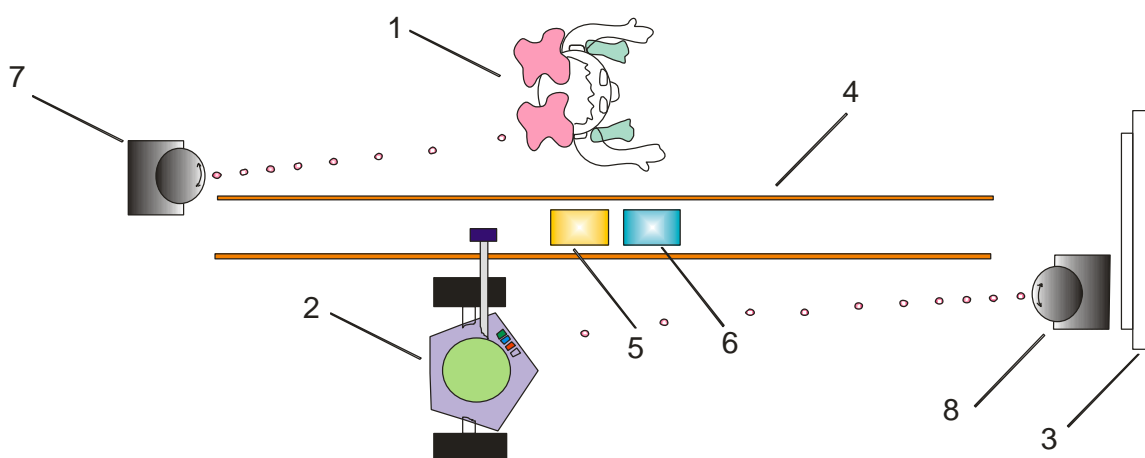


Рис. 2.4 структурная схема программно-аппаратного комплекса

- 1- Ребенок
- 2- Робот (двухколесный)
- 3- Экран проектора
- 4- Числовая линия, нарисованная лазером
- 5- Коробка ребенка
- 6- Коробка робота
- 7- Лазерный дальномер (А) с поворотным по углу устройством
- 8- Лазерный дальномер (Б) с поворотным по углу устройством

Математические задания выводятся на экране проектора (3), который должен быть закреплен на стене в видимой доступности для обоих участников. Так как все математические задачи требуют оценки положения числа на числовой линии, ребенок (1) и робот (2) одновременно начинают двигаться вдоль числовой линии. Лазерная числовая линия (4) состоит из двух сплошных линий, созданных при помощи лазерного излучателя с небольшой мощностью

излучения (сопоставимой с лазерной указкой), закрепленного на потолке. С целью фиксации ответа на числовой линии, робот и ребенок могут ставить коробочки соответственно 5 и 6, чтобы блокировать сегменты на числовой линии (2 сегмента до и 2 после выбранного в качестве ответа числа автоматически блокируются). При этом на одно и то же место можно поставить только одну коробку. Расстояние от начала числовой линии до ребенка и робота определяется при помощи двух лазерных дальномеров 7,8 с изменяемым углом поворота. Также, с помощью лазерных дальномеров определяется текущее местоположение коробок 5 и 6. Эта схема может быть реализована в различных типах взаимодействия: ребенок - робот, ребенок – ребенок.

Решение пространственных числовых задач в сочетании с движением всего тела вдоль числовой линии и взаимодействие с роботом или другим ребенком в качестве партнера в форме соревнования во время тренинга позволит получить значительные образовательные результаты, подтверждая тем самым функциональное преимущество использования телесного опыта в развитии математических способностей и навыков.

# ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА ПРОГРАММНО АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ЧИСЛОВАЯ ЛИНИЯ

## 3.1 Разработка структурной схемы программно-аппаратного комплекса

На основе данной структурной схемы (рис. 3.1) предполагается изготовить модуль управления прототипа робота взаимодействующего с ребенком при тренинге.

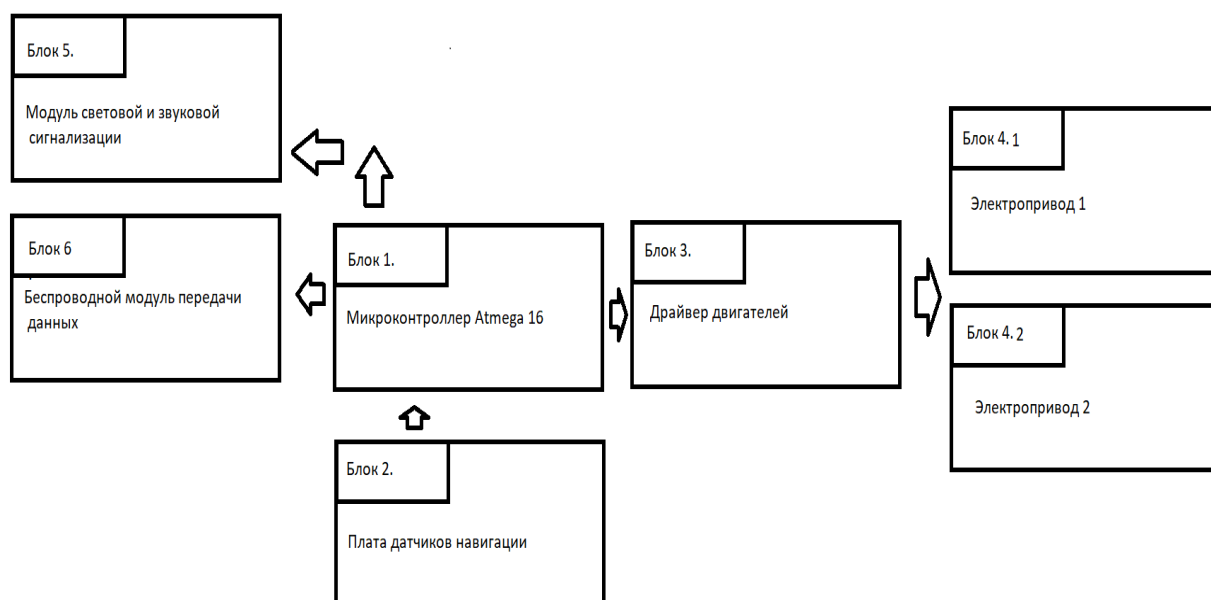


Рис. 3.1 – Структурная схема робота

Микроконтроллер - микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами и осуществления взаимодействия между ними в соответствии с заложенным алгоритмом. Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ и (или) ПЗУ. Схема выполнена на 8-ми битном микроконтроллере Atmega 16 фирмы Atmel (его характеристики представлены ниже).

Структурная схема электронной части робота состоит из следующих элементов:

1) Базовой платы на основе микроконтроллера Atmega 16. Atmega 16 - 8-разрядный высокопроизводительный AVR микроконтроллер с малым потреблением со следующими характеристиками:

- Тактовая частота 16 МГц;
- Объем ROM-памяти 16 Кб;
- Объем RAM-памяти 1 Кб;
- Напряжение питания от 4.5 В до 5.5 В.

2) Модуля управления двигателями L293D. Драйвер двигателей представляет собой устройство преобразующее малые токи управляющих сигналов в токи достаточные для питания моторов. Микросхема L293D представляет собой четырехканальный драйвер двигателей, что позволяет независимо управлять двумя моторами.

3) Блютуз модуля HC – 05, позволяющего обмениваться данными с персональным компьютером;

4) Гироскопа MPU 6050, позволяющего получать информацию для ориентирования робота в пространстве.

5) Дисплея WH-0802, способного выводить 16 символов полезной информации (две строчки по восемь символов).

Базовая плата на основе микроконтроллера выполняет следующие функции:

- принимает сигнал от датчика расстояния;
- производит обработку сигнала;
- в соответствии с заложенным алгоритмом принимает решение о поведении системы и посылает управляющий сигнал на драйвер двигателей;
- выводит необходимую информацию на дисплей.

### 3.2 Построение и исследование математической модели

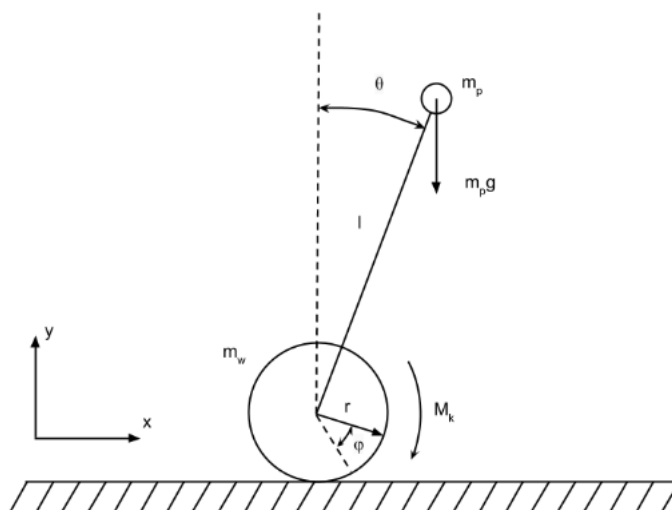


Рис. 3.2 – Схематическое изображение обратного маятника

Рассмотрим систему перевернутый маятник на колесе, изображённую на рисунке 3.2. Будем считать, что система движется без трения. Маятник представляет собой массу  $m_p$ , прикреплённую на невесомом стержне длины  $l$  к колесу. Колесо считается кольцом радиуса  $r$  и массой  $m_w$ . На колесо действует момент двигателя  $M_k$

$m_p$  - масса маятника;

$m_w$  - масса колес;

$l$  - длина маятника;

$r$  - радиус колеса;

$\theta$  - угол между маятником и вертикальной прямой;

$\varphi$  - угол поворота колеса относительно его начального положения;

$M_k$  - момент двигателя.

Для исследования системы воспользуемся уравнениями Эйлера-Лагранжа.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}}(q, \dot{q}) \right) - \frac{\partial L}{\partial q}(q, \dot{q}) = \tau \quad (3.1)$$

Выразим положение центра колеса через угол поворота:

$$x = r\phi \quad (3.2)$$

Заметим, что координаты центра масс маятника находятся по следующим соотношениям:

$$x_g = x + l\sin(\theta) \quad (3.3)$$

$$y_g = l\cos(\theta) \quad (3.4)$$

Вычислим представление для кинетической энергии системы. Кинетическая энергия маятника равна:

$$T_p = \frac{1}{2}[m_p \dot{y}_g^2(t) + m_p \dot{x}_g^2(t)] \quad (3.5)$$

Кинетическая энергия колеса равна:

$$T_w = \frac{1}{2}[m_w \dot{x}^2(t) + m_w r^2 \dot{\phi}^2(t)] \quad (3.6)$$

Подставив уравнения 3.1 – 3.4 в 3.5 и 3.6 получим полную кинетическую энергию:

$$T = \frac{1}{2}m_p l^2 \dot{\theta}^2 \sin^2(\theta) + \frac{1}{2}m_p r^2 \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}m_p l^2 \dot{\theta}^2 \cos^2(\theta) + m_w r^2 \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}m_p l^2 \dot{\theta}^2 \quad (3.7)$$

Выражение для полной потенциальной энергии имеет вид:

$$\Pi = m_p g l \cos(\theta)$$

Так как функция Лагранжа представляет собой разность кинетической и потенциальной энергии, получим:

$$L = \frac{1}{2}m_p l^2 \dot{\theta}^2 \sin^2(\theta) + \frac{1}{2}m_p r^2 \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}m_p l^2 \dot{\theta}^2 \cos^2(\theta) + m_w r^2 \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}m_p l^2 \dot{\theta}^2 - m_p g l \cos(\theta)$$

Уравнения движения выведем с помощью уравнений Лагранжа второго рода (1.1). В качестве обобщённых координат возьмём углы поворота колеса и маятника. Тогда вектор обобщённых координат представляется в виде



$$q = \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \end{pmatrix}$$

Вектор обобщенных сил выглядит следующим образом:

$$\tau = \begin{pmatrix} M_k \\ 0 \end{pmatrix}$$

Подставив в уравнения Лагранжа (1.1) производные, выводим уравнения движения:

$$r \cos(\theta) l m_p \ddot{\theta} + r^2 (m_p + 2m_w) \ddot{\phi} - r \sin(\theta) \theta^2 l m_p = M_k$$

$$\ddot{\phi} \cos(\theta) l m_p r - m_p g l \sin(\theta) + 2m_p l^2 \ddot{\theta} = 0$$

Системе можно придать стандартный вид:

$$M(q)\ddot{q} + C(\dot{q}, q)\dot{q} + G(q) = \tau, \text{ где}$$

$$q = \begin{pmatrix} \phi \\ \theta \end{pmatrix},$$

$$M(q) = \begin{bmatrix} r^2(m_p + 2m_w) & r \cos(\theta) l m_p \\ r \cos(\theta) l m_p & 2m_p l^2 \end{bmatrix}$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -r \dot{\theta} \sin(\theta) l m_p \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$G(q) = \begin{pmatrix} 0 \\ -m_p g l \sin(\theta) \end{pmatrix}$$

$$\tau = \begin{pmatrix} M_k \\ 0 \end{pmatrix}$$

Для управления полученной системой построим линейно-квадратичный регулятор. Для этого проведём линеаризацию полученных уравнений движения (1.5) и (1.6) в окрестности нулевого положения маятника:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = AX + BM_k = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-m_p g}{r(m_p + 4m_w)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{g(m_p + 2m_w)}{l(m_p + 4m_w)} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2}{r^2(m_p + 4m_w)} \\ 0 \\ \frac{1}{lr(m_p + 4m_w)} \end{bmatrix} M_k$$

Моделирование производилось в Simulink результаты представлены ниже:

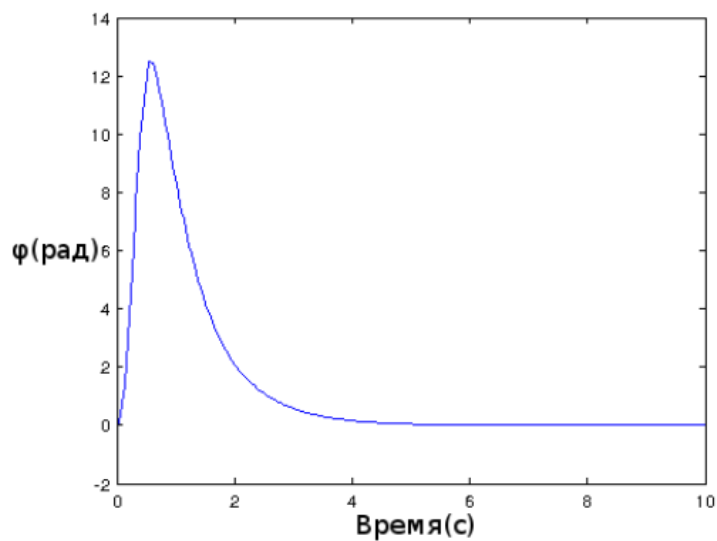


Рис. 3.3 – Зависимость угол поворота колес от времени

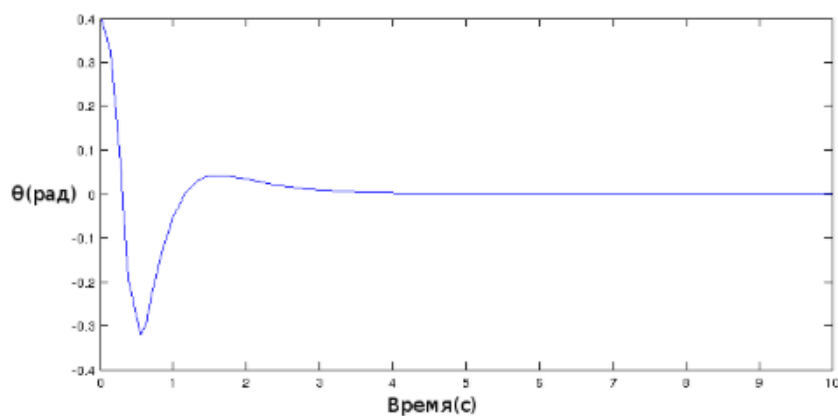


Рис. 3.4 – Зависимость угла поворота маятника от времени

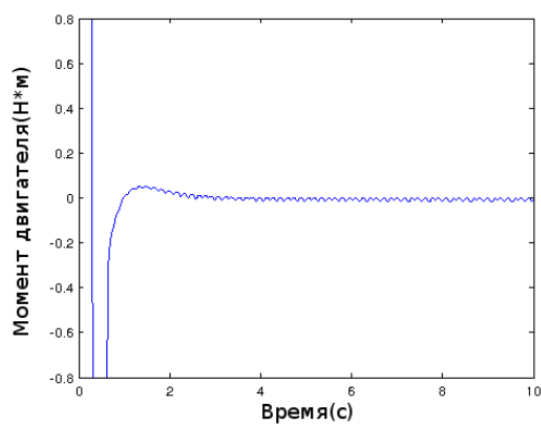


Рис. 3.5 – Зависимость момента двигателя от времени

### 3.3 Описание основных фрагментов программного обеспечения

Для вычисления угла данные с акселерометра и гироскопа поступают в комплементарный фильтр(РС-фильтр), фрагмент кода представлен на рисунке 3.6.

```
float lastCompTime=0;
float filterAngle=1.50;
float dt=0.005;//0.002 //0.005

float comp_filter(float newAngle, float newRate) {

dt=(millis()-lastCompTime)/1000.0;
float filterTerm0;
float filterTerm1;
float filterTerm2;
float timeConstant;

timeConstant=0.5; // default 1.0

filterTerm0 = (newAngle - filterAngle) * timeConstant * timeConstant;
filterTerm2 += filterTerm0 * dt;
filterTerm1 = filterTerm2 + ((newAngle - filterAngle) * 2 * timeConstant) + newRate;
filterAngle = (filterTerm1 * dt) + filterAngle;
lastCompTime=millis();
return filterAngle;
}
```

Рис. 3.6 – Инициализация данных с акселерометра

Для считывания данных с квадратурных энкодеров, установленных на двигателях использовалась следующая функция (рис 3.7) :

```
void doEncoder() {
  if (digitalRead(encoder0PinA) == HIGH) {
    if (digitalRead(encoder0PinB) == LOW) {

      encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
    }
    else {
      encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
    }
  }
  else
  {
    if (digitalRead(encoder0PinB) == LOW) {

      encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
    }
    else {
      encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
    }
  }
}
```

Рис. 3.7 – функция считывания данных с квадратурных энкодеров

Далее значения со всех сенсоров поступают в LQR регулятор (рис. 3.8):

```
float K1=0.1,K2=0.29,K3=6.5,K4=1.12;
long getLQRSpeed(float phi,float dphi,float angle,float dangle){
    return constrain((phi*K1+dphi*K2+K3*angle+dangle*K4)*285,-400,400);
}
```

Рис. 3.8 – LQR регулятор

После чего управляющий сигнал поступает на электромоторы.

### 3.4 Проектирование и изготовление электронной части макета

Для изготовления печатной платы необходимо:

- 1) Создание схемы электрической принципиальной;
- 2) Создание схемы электрической;
- 3) Перенесение схемы на текстолит и травление;
- 4) Нанесение компонент;

I. Схема электрическая принципиальная базовой платы робота (ведущего контроллера) представлена на рисунке 2.3.1.

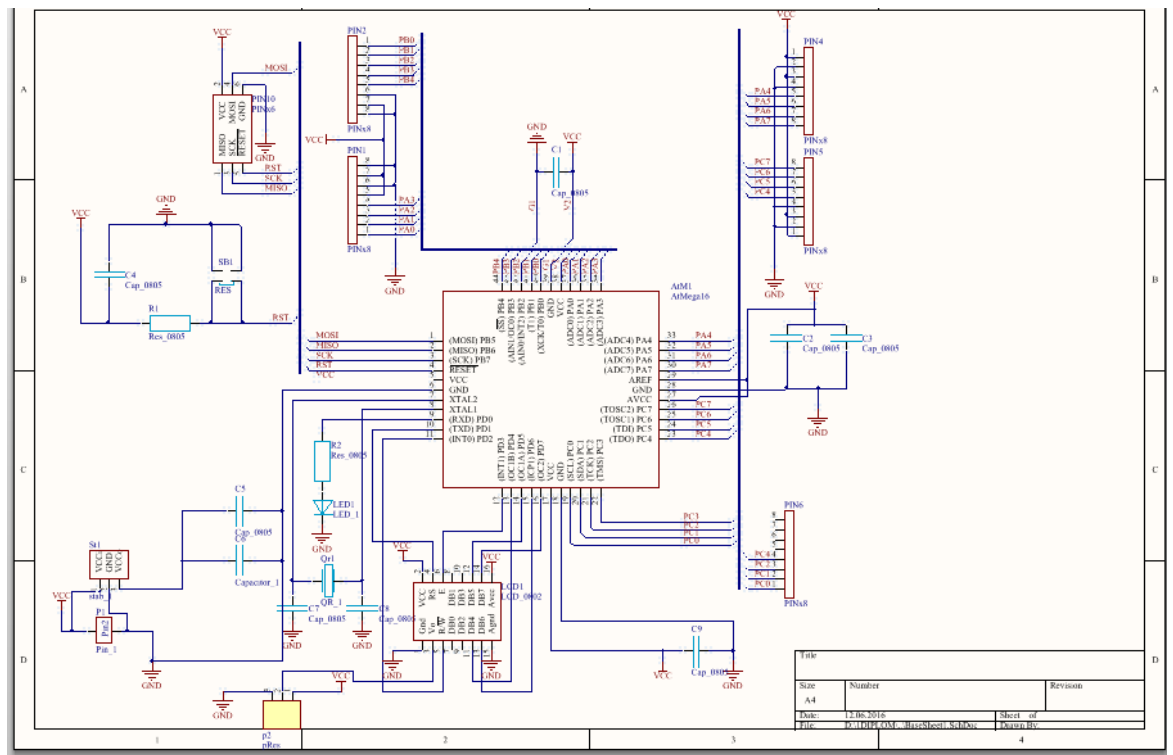


Рис. 3.9 – схема электрическая принципиальная базового модуля

Основным элементом базового модуля является микроконтроллер Atmega 16, работающий на тактовой частоте 16 МГц, задаваемой кварцевым резонатором QR1. Стабилизация питания производится микросхемой DCDC преобразователя ST1. Тактовая кнопка SB1 производит сброс микроконтроллера. С помощью разъема PIN10 осуществляется программирование по интерфейсу ICSP. Разъемы PIN1, PIN2, PIN4, PIN5, PIN6 могут использоваться для подключения периферийных устройств. LCD1 – дисплей, с помощью которого выводится необходимая для пользователя информация. Потенциометр P2 позволяет регулировать контрастность изображения на дисплее.

Схема электрическая принципиальная модуля управления двигателями представлена на рисунке 2.3.2. Его основным элементом является микросхема L293D – DD1, питаемая напряжением 5 В. Разъем PIN3 позволяет принимать управляющий сигнал с микроконтроллера, к разъемам PIN1 и PIN2 подключаются электродвигатели. Разъемы P1, P2 обеспечивают питание электромоторов и микросхемы соответственно.

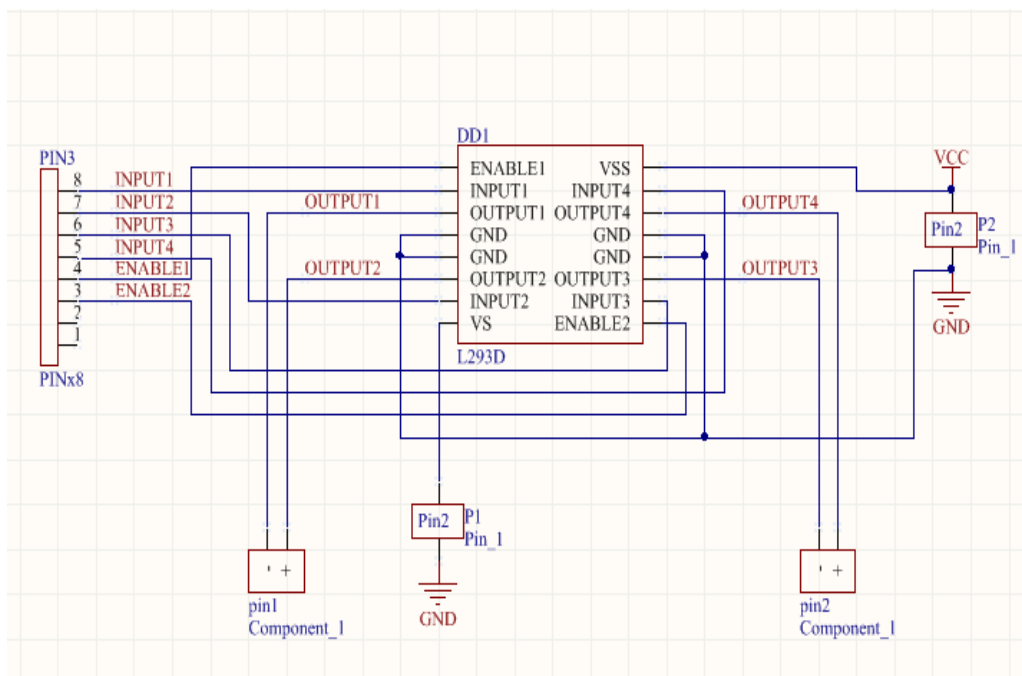


Рис. 3.10 – схема электрическая принципиальная драйвера двигателей

II. Трассировка всех печатных плат выполнена в САПР Altium Designer. Для трассировки печатной платы необходимо выполнить следующие операции:

- создать документ платы;
- создать схему электрическую принципиальную;
- перейти в режим трассировки;
- разместить компоненты на печатной плате;
- растрассировать схему, при этом изначально задается ширина дорожек - 0,5 мм, для VCC и GND - 1 мм;
- ограничить плату контуром и разместить площадки для монтажа.

Чертежи печатных плат - базовой и платы управления двигателями показаны на рисунках 3.11, 3.12. Печатные платы выполнены на одностойном текстолите и имеют габариты 80ммX75мм и 45ммX40мм соответственно.

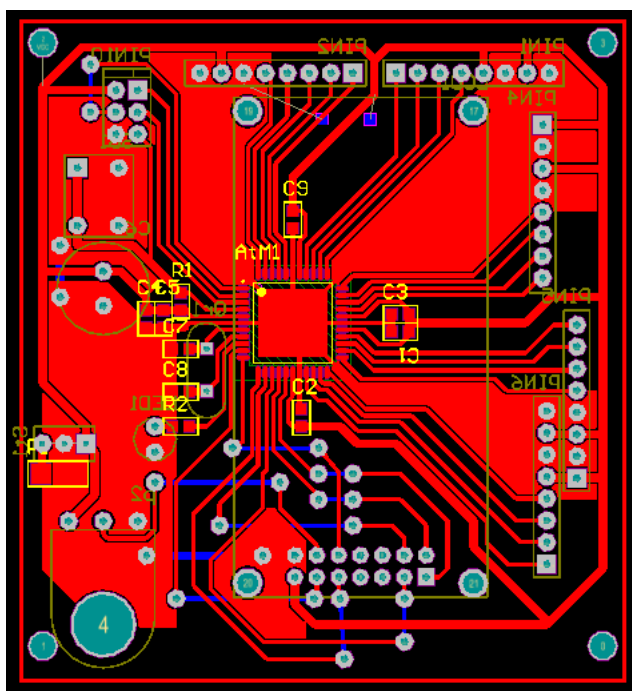


Рис. 3.11 – чертеж электрической схемы базового модуля выполненный в САПР

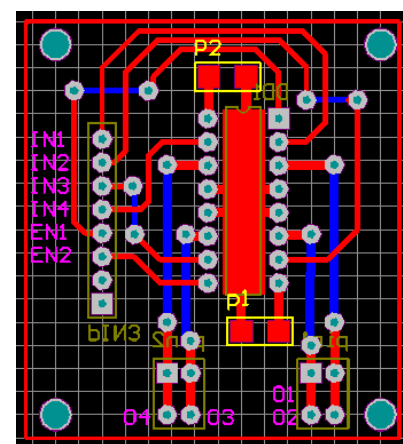


Рис. 3.12 – чертеж электрической схемы модуля драйвера двигателей выполненный в САПР

III. Чертеж печатной платы переносится на текстолит путем нагрева распечатанной заготовки и плитки текстолита (рис. 3.13). Затем плата кладется в раствор для последующего химического травления. Время травления зависит

от площади текстолита, содержания активного вещества, температуры раствора, и занимает от 15 минут до часа. После завершения данного процесса получают заготовки готовые к монтажу электронных компонент (рис.3.14).

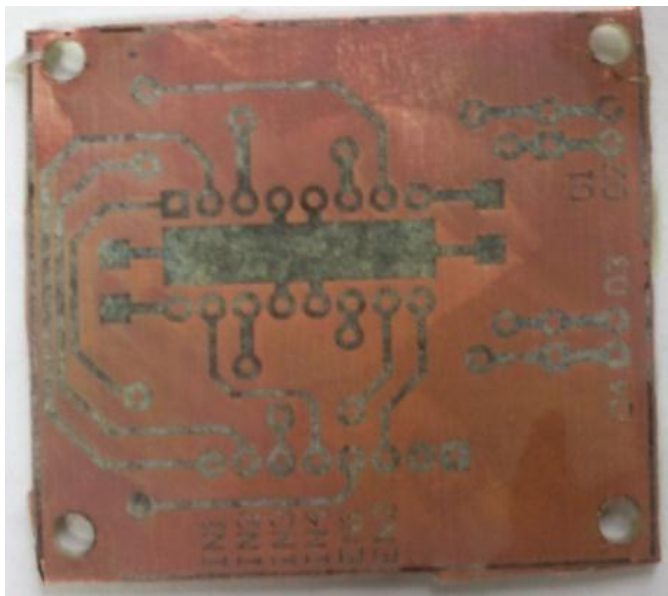


Рис. 3.13– плата готовая к травлению

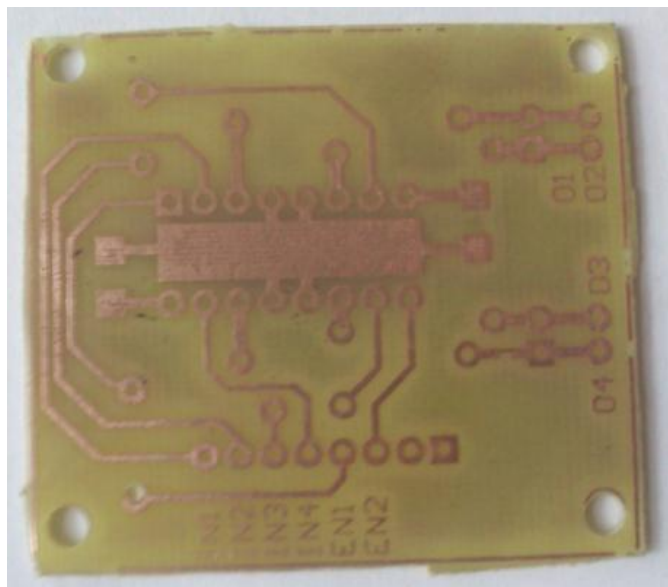


Рис. 3.14 – плата готовая к монтажу  
электронных компонент

### 3.4 Проектирование и изготовление несущей робота

Несущая конструкция для устройства была спроектирована в пробной версии программы Dassault Systemes (Catia V5) и вырезана на фрезерном станке с ЧПУ. 3D модель несущей изображена на рисунке 3.15.

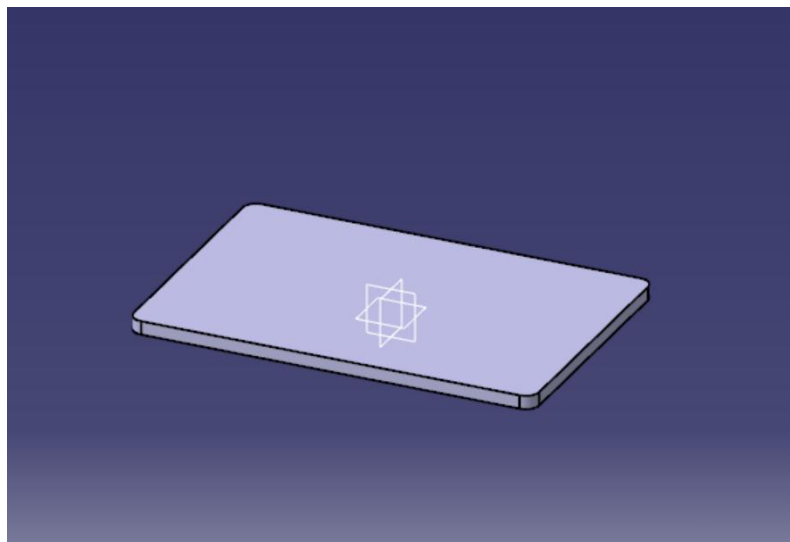


Рис. 3.15– Несущая

На рисунке 3.16. изображена несущая с установленными колесами и двигателями.

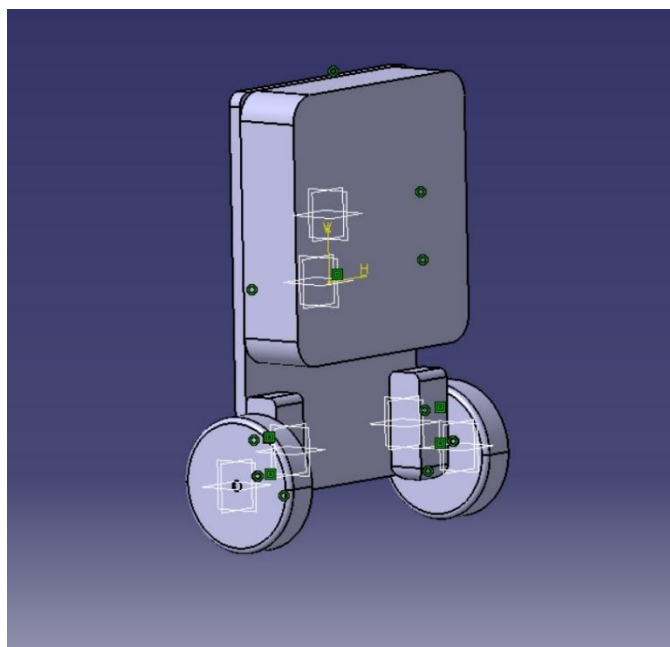


Рис. 3.16– трехмерная модель



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты:

создание блока управления робота;

создание программного обеспечения;

создание трехмерной модели макета и его изготовление.

Предложенные решения могут быть использованы при изготовлении опытного образца программно-аппаратного комплекса.

Мы ожидаем, что решение пространственных числовых задач в сочетании с движением всего тела вдоль числовой линии и взаимодействие с роботом или другим ребенком в качестве партнера в форме соревнования во время тренинга позволит получить значительные образовательные результаты, подтверждая функциональное преимущество использования телесного опыта в развитии математических способностей и навыков.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shalev R.S., in *Why Is Math So Hard for Some Children? The Nature and Origins of Mathematical Learning Difficulties and Disabilities*, D. B. Berch, M. M. Mazzocco, Eds. (Paul H. Brookes Publishing, Baltimore, MD, 2007), pp. 49–60.
2. Artemenko C., Daroczy G., Nuerk H.-C. (2015). Neural correlates of math anxiety – an overview and implications. *Front. Psychol.*, 01 September 2015
3. Википедия – свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dyscalculia>
4. Science. Dyscalculia: From Brain to Education [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science.sciencemag.org/content/332/6033/1049.abstract>
5. Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schönmann, C., Plangger, F, et al. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *NeuroImage* 57:782–95.
6. Siegler, R.S., and Ramani, G.B. (2008). Playing linear numerical board games promotes low income children's numerical development. *Developmental Science, Special Issue on Mathematical Cognition* 11:655–61.
7. Wilson, A.J., Revkin, S.K., Cohen, D., Cohen, L., Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behav. Brain Funct.* 2:20.
8. Domahs F, Moeller K, Huber S, Willmes K, Nuerk H-C (2010) Embodied numerosity: implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition* 116:251–266.
9. Hudson C, Price D, Gross J (2009) The long-term costs of numeracy difficulties. London, UK: Every Child a Chance Trust. 55 p.
10. Link, T., Moeller, K., Huber, S., Fischer, U., Nuerk, H.C. (2013). Walk the number line – An embodied training of numerical concepts, *Trends in Neuroscience and Education*, Vol. 2, Nr. 2, 74–84. doi:10.1016/j.tine.2013.06.005

11. Link, T., Nuerk, H.C., Moeller, K. (2014). On the relation between the mental number line and arithmetic competencies, *The quarterly journal of experimental psychology*, Vol. 67, Nr. 8, 1597–1613. doi:10.1080/17470218.2014.892517

12. Fischer, U., Link, T., Cress, U., Nuerk, H.-C., Moeller, K. (2015). Math with the dance mat: On the benefits of embodied numerical training approaches, In: Lee V, editor, *Learning Technologies and the Body: Integration and Implementation in Formal and Informal Learning Environments*, New York: Routledge, p. 149–163