

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ школьников  
«Высший пилотаж»

**Шахматная магия: интерактивная доска CheckMate для обучения игре в шахматы**

Проект

Направление «Технические и инженерные науки»

Авторы: учащиеся 11 «Е» класса, ГБОУ школы №1955:  
Косухин Кирилл Олегович, Романов Вадим Александрович

Москва, 2024

## Оглавление

Аннотация	3
Актуальность	4
Анализ существующих решений	6
Описание разработанного решения	7
2.1 Аппаратная часть	8
2.2 Программная часть	13
2.2.1 Алгоритм распознавания речи	13
2.2.2 Алгоритм выстраивания путей для перемещения фигур	13
2.2.3 Алгоритм работы искусственного интеллекта	14
Заключение. Анализ функционирования разработанного устройства	15
Выводы	16
Приложение	17
Список литературы	21

## Аннотация

Автоматизированные шахматы на голосовом управлении представляют инновационное образовательное средство, способствующее эффективному обучению игры в шахматы. С использованием голосовых команд игроки могут взаимодействовать с доской, получая персонализированные уроки, тренировочные сценарии и моментальную обратную связь. Этот проект не только совершенствует игровой опыт, но также обеспечивает уникальные образовательные возможности, сделав обучение шахмат более интересным и доступным для всех уровней игроков. Интеллектуальная шахматная доска автоматизирует игровой процесс, перемещает фигуры самостоятельно, а голосовой ассистент распознает команды пользователя, который играет против искусственного интеллекта. Наше нововведение потенциально может сделать игру более инклюзивной – возможной для людей с ограниченной мобильностью.

Наш проект отличает уникальный набор функций по распознаванию команд и перемещению шахмат, понятное управление и возможности для обучения. Интеллектуальная шахматная доска станет будущим игры.

## Актуальность

Проект "Шахматы с голосовым управлением" актуален в контексте современных трендов в области технологий и развития интеллектуальных игр.

Современные тренды включают в себя:

1. Развитие искусственного интеллекта и машинного обучения, которые могут быть использованы для создания более интеллектуальных и образовательных игровых систем.
2. Рост интереса к обучению и развитию навыков стратегического мышления и логики, особенно у детей и молодежи.
3. Увеличение спроса на интерактивные и обучающие игры, которые могут быть использованы для развития умственных навыков.

Проблемы, которые решает проект "Шахматы с голосовым управлением", включают в себя улучшение доступности и охвата аудитории для обучения шахматам. Мы предоставляем более интерактивный и удобный способ игры в шахматы, а также развитие уникальной технологической системы для поддержания интереса к шахматам и улучшения навыков игры.

**Цель проекта** – создать уникальную образовательную платформу для обучения на базе роботизированной шахматной доски с голосовым управлением и поддержкой игры против искусственного интеллекта разного уровня сложности. Предмет автоматизации заключается в том, что человек не должен касаться игрового поля или фигур во время игры в шахматы. Необходимо разработать интеллектуальный модуль для анализа игровых партий, а также создать удобный интернет-сервис для пользователей, где можно посмотреть игровую статистику.

### **Задачи проекта:**

- Проанализировать текущий мировой опыт применения информационных технологий для создания автоматизированных систем на голосовом управлении.
- Организовать командную работу
- Собрать аппаратную часть проекта согласно поставленным проектным требованиям
- Разработать программный код проекта
- Протестировать и доработать систему

Кирилл подбирал необходимые материалы и комплектующие, он был ответственен за монтаж электротехнической схемы и сборку всего устройства. Он был также ответственен за проектирование пользовательского опыта и интерфейса приложения.

Вадим работал с микрокомпьютером Raspberry Pi и платформой Arduino. Он разрабатывал программное обеспечение для всей системы, выстраивал алгоритмы искусственного интеллекта, распознавания речи, передвижения фигур. На нем лежала ответственность за реализацию работы интерактивного интернет-сервиса для анализа игровой статистики.

### **Использованные программные и аппаратные составляющие:**

- Язык программирования **Python** (Нативный ЯП для Raspberry Pi, универсальность, легкость, большое количество полезных библиотек)
- Программирование микроконтроллера Arduino осуществляется на языке C++, расширенном макросами.
- Редактор кода **Visual Studio Code** (Редактор кода с эффективной экосистемой, обладающей множеством дополнительных расширений. Он сопоставим по функционалу с интегрированной средой разработки, что является его главным преимуществом. Также имеет встроенную поддержку для работы с системой контроля версий Git)
- Библиотека **Vosk** (Оффлайн распознавание речи, компактная речевая модель (50 Мб))
- Сервис **Google Speech** (Онлайн-сервис распознавания речи от Google)
- Набор инструментов **Kaldi** (Набор инструментов для работы с распознаванием речи, используется для обработки сигналов с микрофона)
- Движок **Stockfish** (Шахматный движок, используемый для просчитывания и анализа шахматных ходов, мультиплатформенный, является 13-кратным победителем в шахматы среди шахматных движков)
- Вся система управляется при помощи микрокомпьютера **Raspberry Pi 3 Model B+** и микроконтроллера **Arduino UNO**. На двух макетных платах были размещены элементы микроэлектроники: драйверы для управления шаговыми двигателями, преобразователь напряжения, цепь токоограничивающих резисторов и полевых транзисторов.
- Используются аддитивные технологии **3D печати** при изготовлении некоторых компонентов системы.

## Анализ существующих решений

Анализ существующих решений показывает, что разработчики активно экспериментируют с различными подходами к созданию интерактивных шахматных досок с голосовым управлением. Стоит упомянуть, что компании располагают большими ресурсами для создания подобных проектов.

Компания Square Off создала автоматизированную шахматную доску, способную перемещать фигуры автоматически. Доска также имеет возможность подключения к голосовому ассистенту и мобильным устройствам для управления игрой. Однако у пользователей возникают проблемы с перемещением фигур, также наблюдаются сбои в работе устройства. Системы анализа партии и игровой статистики недостаточно оптимизированы. Любители и профессионалы шахмат не оценили опыт использования устройства: <https://clck.ru/388pnq>

Существует другое подобное решение от компании GoChess. <https://clck.ru/38A3T4>

Среди достоинств этого продукта можно выделить:

- Возможность играть с любым человеком в любой точке мира, используя платформы Lichess и Chess.com.
- Возможность двигать свои фигуры голосом
- Возможность получать подсказки, советы и обратную связь от встроенного ИИ

Среди недостатков этого продукта можно выделить:

- Высокую стоимость (от 200 до 400 долларов в зависимости от версии и типа фигур).
- Необходимость подключения к смартфону для работы доски.
- Возможные технические сбои и ошибки в работе доски, фигур, ИИ или приложения
- Большая вероятность поломки. Несовершенный метод перемещения фигур

## Описание разработанного решения

Разработанное устройство обеспечивает процесс игры в шахматы с искусственным интеллектом и автоматически перемещает фигуры, согласно распознанным голосовым командам игрока.

Но еще мы продумали всевозможные пользовательские сценарии и внедрили дополнительные функции, чтобы в итоге получился интересный продукт, который легко использовать каждому.

Если Вы играете за нашей умной шахматной доской в первый раз, встроенный и основательно проработанный голосовой ассистент поможет Вам научиться ею управлять. Достаточно сказать: «Чекмейт, расскажи о себе» – прозвучит краткая инструкция и Вы можете начать игру.

Реализовано 6 различных уровней сложности. Если Вы совсем новичок, выберите легкий уровень. Адаптивный искусственный интеллект не станет продолжительно анализировать Вашу игру, и у Вас появится возможность выиграть. Для высококлассных гроссмейстеров есть специальный хардкор режим – Вам нужно будет внимательно следить за игрой, ведь ИИ не будет допускать никаких ошибок в своих ходах.

В случае ввода неверной команды или команды, противоречащей правилам игры, красный светодиод на доске и голосовой ассистент предупредят Вас об этом. Реализовано ограничение времени обдумывания ходов. Голосовой ассистент предупредит Вас о превышении лимита на принятие решения – не более двух минут.

Задержка между завершением команды и началом движения манипулятора не превышает одной секунды. Роботизированная система передвигает фигуры по поверхности доски, не допуская их соприкосновения. Скорость перемещения фигур высокая, а позиционируются они ровно в центре клетки.

«Съеденные» шахматные фигуры паркуются в отдельные поля, специально обозначенные на игровом поле. Хотите завершить игру – скажите об этом голосовому ассистенту или нажмите 3 раза кнопку на корпусе. После этого все фигуры вернуться на свои исходные позиции, и Вы сможете начать игру заново. По умолчанию пользователь играет за белые шахматы, но можно сыграть и за черные, если сказать об этом голосовому помощнику.

Разработано web-приложение для введения дополнительного функционала. У пользователя будет возможность использовать таймер-табло на экране своего телефона вместо голосового таймера. Более чем 30 миллионов игроков по всему миру смогут сыграть вместе с Вами по сети. Искусственный интеллект будет анализировать Ваш уровень игры и подстраиваться под него. Вы сможете пересматривать свои игровые матчи, наблюдать за

ошибочными и успешными стратегиями и повысить навык игры в шахматы благодаря интерактивной системе обучения.

## 2.1 Аппаратная часть

Наша команда самостоятельно проанализировала возможные методы реализации роботизированного комплекса и выбрала самый эффективный и оптимальный. Было решено сделать скрытое нижнее расположение автоматизированного механизма передвижения фигур. Он установлен внутри корпуса под верхней плоскостью шахматной доски. В основе системы передвижения лежит модифицированная нами концепция перемещения Core XY, которая часто применяется в конструкции 3D принтеров.

Электромагнит, закрепленный на управляемой платформе, служит для захвата заданной фигуры в определенном квадрате шахматного поля. В основании фигуры закреплен неодимовый магнит небольшого размера. Принцип перемещения фигуры заключается в том, что в необходимый момент времени электромагнит включается, примагничивает фигуру и передвигает ее по нужному пути следования. Каретки XY-направляющих и каретка с электромагнитом приводится в движение приводным механизмом, который обеспечивает их позиционирование по двум осям. Проектирование системы велось с расчетом на то, что рабочая область, по которой перемещается магнит, была достаточной для возможности размещения шахматного поля с размерами 40x40 см и двух зон для отвода фигур размером 8x40 см. Также будут использованы транспортные поля, которые занимают ряд с буквами и цифрами на шахматной доске. Каждый квадрат поля имеет сторону 42 мм, а диаметр основания фигурок составляет 25 мм.

Вся аппаратная часть вместе с электроникой установлена в корпусе размером 600x800 мм. Его боковые стенки, шириной в 10мм, выполнены из ламинатной доски, а нижнее основание из листовой фанеры толщиной 8 мм. Выбранный материал для верхней плоскости – черный полистирол, толщиной 4 мм.

Механизм перемещения включает в себя амортизированную опорную раму на алюминиевых V-образных конструкционных профилях 20x20, и трех кареток с направляющими роликами на шарикоподшипниках, одна из которых предназначена для перемещения электромагнита по оси X, а две других по оси Y. Реализована система ременной передачи на ведущих зубчатых шкивах, направляющих шкивах на шарикоподшипниках и ремней типа GT-2. С помощью аддитивных технологий 3Д печати мы изготовили крепление для магнита, поддержки шкивов и моторов из доступного PLA пластика. А роликовая каретка Y направляющей выполнена из металла для увеличения жесткости и стабильности системы. Схема компонентов механической части устройства размещена на рисунке 1.

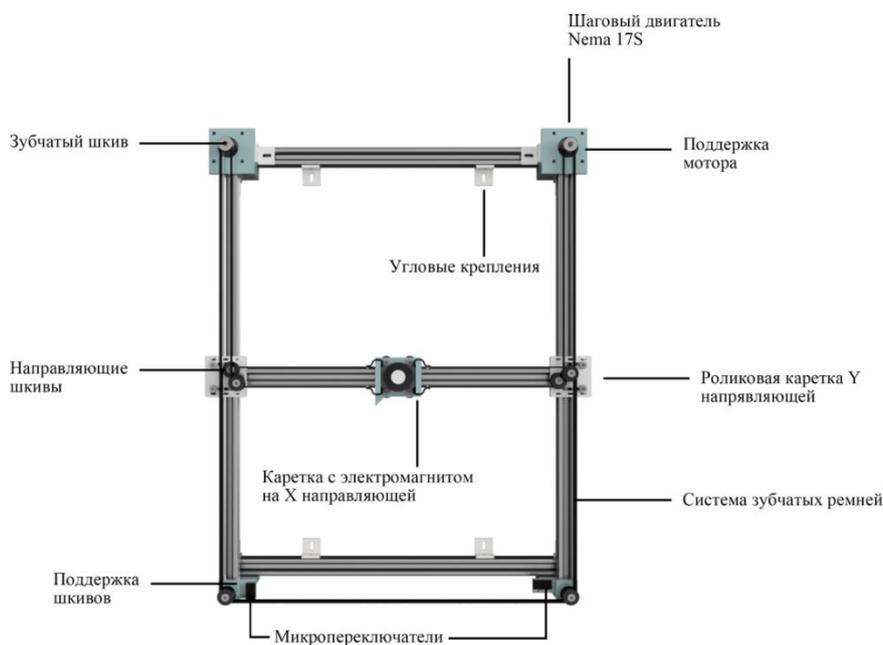
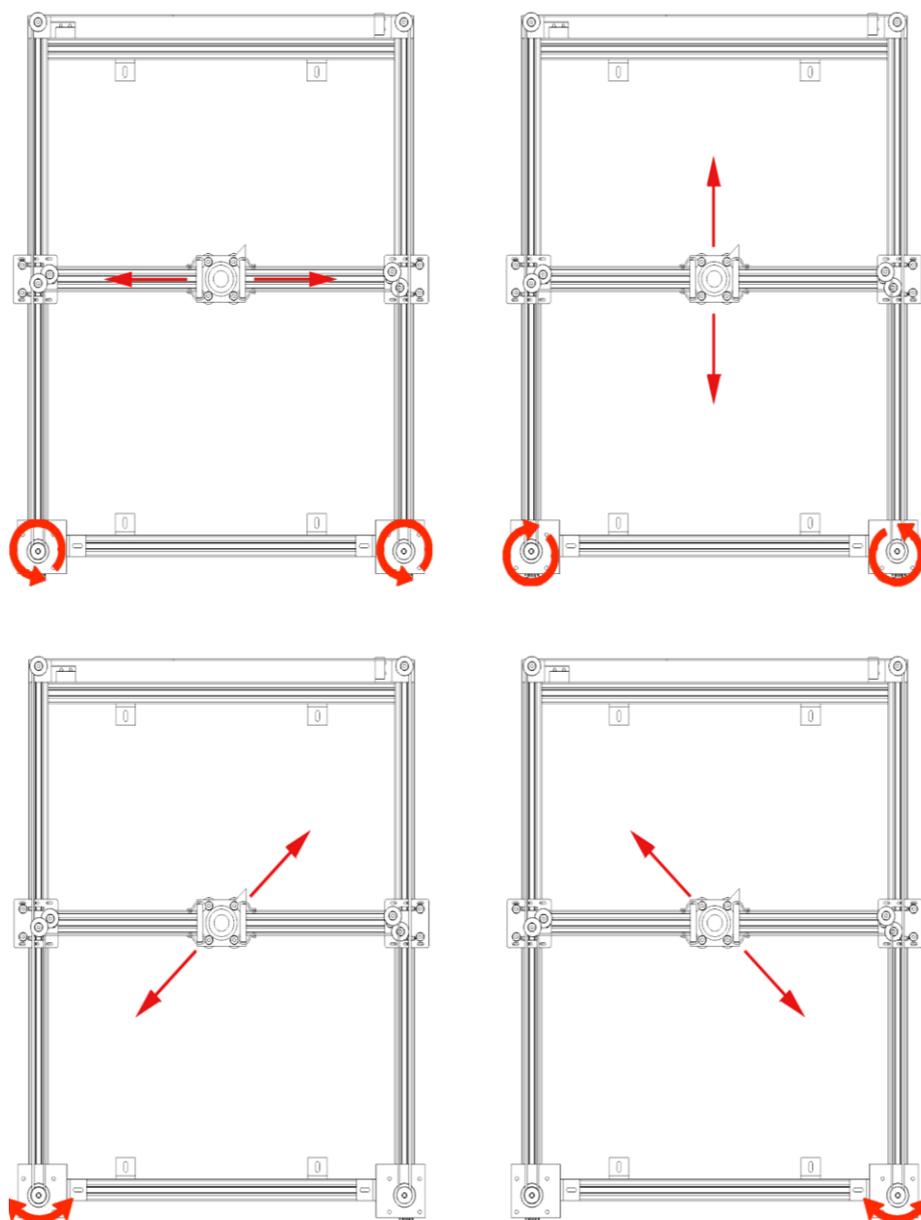


Рисунок 1. Схема компонентов механической части

Конструкция Core XY позволяет двигать каретку с магнитом по диагонали, если вращается только один двигатель. При вращении двух двигателей в противоположных направлениях, произойдет вертикальное смещение. Горизонтальное смещение осуществляется за счёт вращения двух двигателей в одном направлении. Изменение направления вращения приведет к обратному движению. Кинематическая схема представлена на рисунке 2.



*Рисунок 2. Кинематическая схема конструкции Core XY*

Система позиционирования «нулевой точки» игрового поля реализована с использованием двух микропереключателей, расположенных по осям X и Y. Каретка для крепления магнита была спроектирована в соответствии с размером магнита и профиля. Специальный выступающий элемент на ней нужен для того, чтобы замыкать микропереключатель для инициализации системы передвижения при каждом подключении доски к сети питания.

В качестве приводов использованы шаговые двигатели постоянного тока Nema-17S. Нужно было установить драйверы, позволяющие ими управлять. На входе драйвера — команда на сколько шагов повернуть вал и в какую сторону. На выходе — последовательность сигналов на обмотки электромотора. Во время первоначального проектирования были

выбраны драйверы A4988, однако после пробных испытаний системы пришлось отказаться от использования данных драйверов из-за шумной работы и неточности позиционирования. В окончательном варианте применены драйверы TMC 2208. С ними моторы вращаются плавно, не перегреваются и работают тихо. Схема компонентов электрической цепи размещена на рисунке 3.

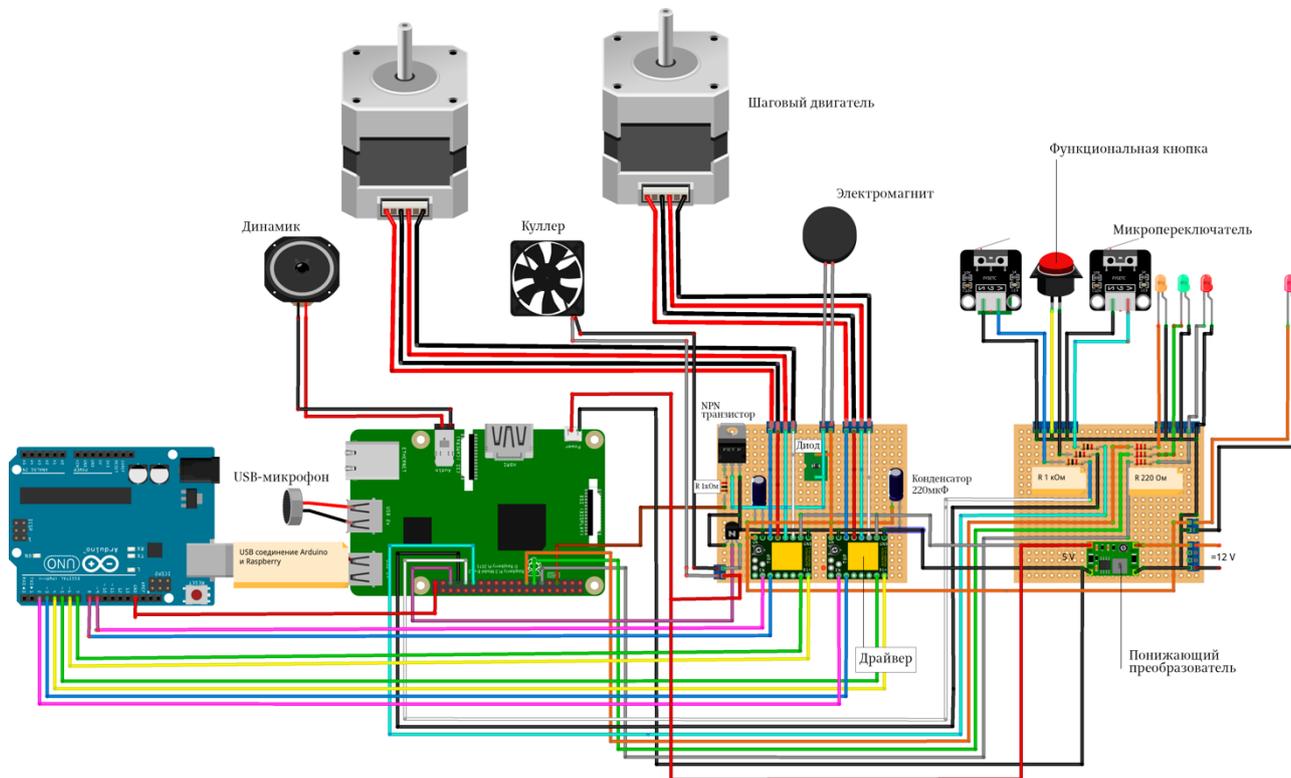


Рисунок 3. Схема компонентов электрической цепи

Силовая цепь питания электромагнита реализована на NPN транзисторе TIP120. Электромагнит выбран с удерживающей силой 18 кг и размерами сердечника в 18 мм. Функциональная кнопка и сигнальные светодиоды подключены через токоограничивающие резисторы к входам и выходам микрокомпьютера. Напряжение питания устройства – 12 В DC, что является минимальным значением для работы шаговых двигателей. Для питания микрокомпьютера, сигнальных светодиодов применен DC-DC преобразователь 12/5 В. Все устройства микроэлектроники смонтированы на двух макетных платах, размерами 50X70 мм. (рисунок 4)

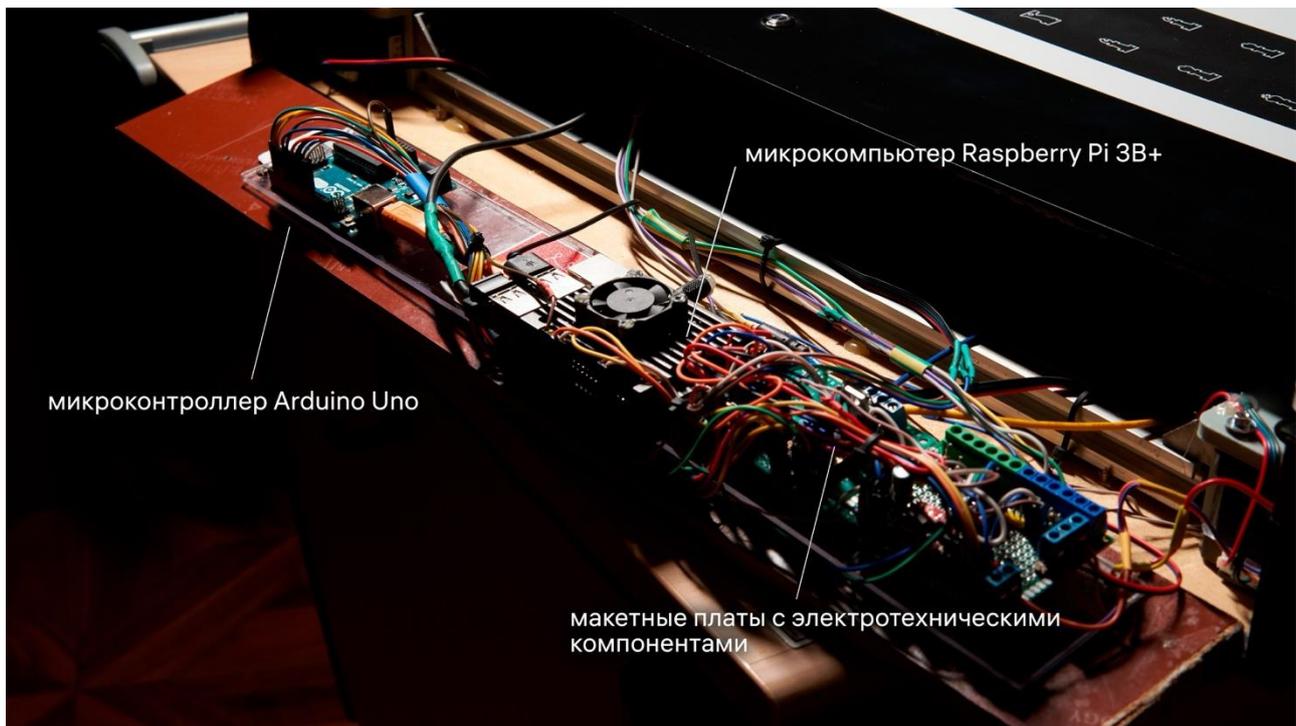


Рисунок 4. Фото электрических компонентов устройства

Также система может работать от внешнего аккумулятора питания 12 В, подключить который можно через цилиндрический разъем на корпусе устройства.

Управление всем устройством берет на себя микрокомпьютер Raspberry Pi 3B+. USB портам микрокомпьютера подключены динамики, расположенные внутри устройства и внешний микрофон, WIFI адаптер, а также микроконтроллер Arduino Uno. Две макетные платы и микрокомпьютер с контроллером закреплены на боковой стенке с петлями, которую можно открыть, не снимая верхнюю крышку (рисунок 5)

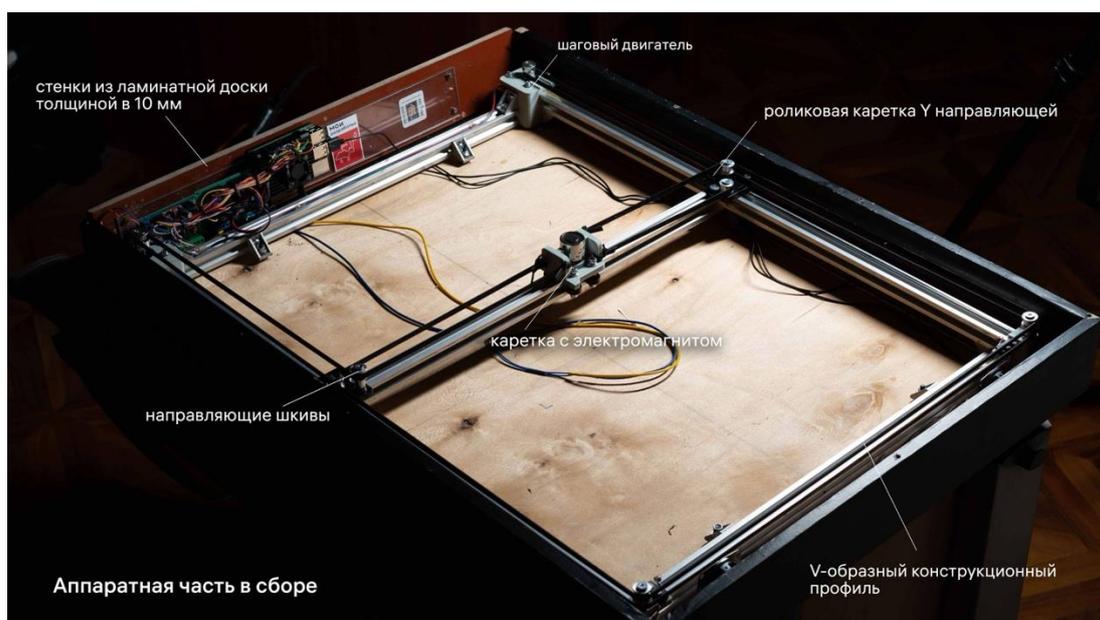


Рисунок 5. Расположение компонентов внутри корпуса

## 2.2 Программная часть

### 2.2.1 Алгоритм распознавания речи

Алгоритм распознавания речи построен на взаимодействии локальной модели распознавания и онлайн системы голосового ввода от Google. Для активации голосового ассистента пользователю нужно сказать: «Чекмейт», после чего произнести команду.

Каждую секунду устройство анализирует звук с микрофона. Сервис от Google имеет свои лимиты на использование и возможно не всегда доступен. Чтобы не делать запрос на сервер при каждом сказанном слове, у системы предусмотрено отслеживание обращения «Чекмейт» с помощью локальной модели, но с меньшим объемом тренировочных данных.

Как только устройство обнаружит, что к нему обратились, начнется запись речи пользователя до секундного молчания. После этого на мощный сервер от Google будет отправлено записанное аудио, которое конвертируется в текст. Полученный результат распознавания нужно соотнести с шаблонами команд на основе регулярных выражений и алгоритма нахождения расстояния Левенштейна. Как только речь будет сопоставлена с командой и процент сходства будет достаточным, устройство добавит команду в очередь, после чего начнется ее выполнение.

### 2.2.2 Алгоритм выстраивания путей для перемещения фигур

Одним из ограничений является то, что сторона квадрата «а» клетки игрового поля должна быть меньше  $1,8d$ , где «d» — диаметр подошвы фигуры. Шахматы при перемещении не должны соприкасаться или задевать другие. Из-за этого двигать фигурки по сторонам клетки невозможно. Мы прозвали это проблемой в 55% ( $1 / 1.8 \approx 0.55$ ).

Спроектированный алгоритм находит максимально эффективную последовательность перемещения фигур для выполнения хода. Он реализует в себе использование нескольких алгоритмов: A\* (A STAR) и алгоритм Дейкстры. Также на конечный алгоритм большое влияние оказал принцип движения пятнашек.

Вначале алгоритм находит наименьший возможный путь между начальной клеткой и конечной. Чтобы избежать столкновения шахмат, будет перебираться последовательность для отвода этих фигур, которые после завершения основного хода переставляются обратно. После этого с помощью метода Дейкстры алгоритм рассчитает максимально эффективную комбинацию действий, будь то перемещение по диагонали или змейкой.

Алгоритм опирается на возможности эффективного использования транспортных полей, которые располагаются по краям клеточного поля на рядах с буквами и цифрами. Они нужны для того, чтобы совершать эффективные скоростные ходы с одного края доски на другой. На транспортных полях фигуры на пути отсутствуют.

### 2.2.3 Алгоритм работы искусственного интеллекта

В основе алгоритма лежит принцип присваивания оценки каждой фигуре и клеточной позиции. Это требуется для того, чтобы алгоритм смог сделать оценку более предпочитаемых фигур для атаки и сохранения. После этого алгоритм составляет матрицу оценки клеточных позиций, так алгоритм оценивает более эффективные позиции на поле. После оценки позиций и фигур, алгоритм перебирает всевозможные ходовые комбинации и, основываясь на оценке каждого такого хода, алгоритм составляет самый эффективный ход.

Искусственный интеллект устройства является адаптивным. Он использует различные параметры, в зависимости от выбранного режима игры. Вы можете выбрать любой из 6. Алгоритм предусматривает повтор оценки на несколько ходов вперед на высоких уровнях сложности.

Система уровней сложности:

1. Easy: алгоритм редко основывается на оценке ходов, в основном выполняет случайные ходы.
2. Medium: алгоритм часто основывается на оценке ходов, однако иногда прибегает к произвольным.
3. Hard: алгоритм основывается на оценке ходов, иной раз посматривает за игрой игрока.
4. Very hard: алгоритм основывается на оценке ходов, всегда анализирует игру игрока.
5. Hardcore: алгоритм основывается на множественной оценке ходов, имеет тенденцию быть впереди игрока наперед.
6. Nightmare: алгоритм работает на полной силе своих возможностей, такой уровень может обыграть только такой же ИИ

В **Приложении** размещено описание системы на концептуальном уровне по средствам четырех диаграмм (рисунок 6, 7, 8, 9)

## **Заключение. Анализ функционирования разработанного устройства**

За 1 месяц нам удалось реализовать весь основной функционал роботизированного комплекса для игры в шахматы с голосовым управлением. На данный момент специальный механизм перемещает фигуры, согласно распознанным голосовым командам. Приложено видео, в котором мы протестировали работу устройства: [https://drive.google.com/drive/folders/1LP24Xt6aAjt-N97G84CRO4JMLcByp2es?usp=share\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1LP24Xt6aAjt-N97G84CRO4JMLcByp2es?usp=share_link)

Необходимо расширить возможности голосового ассистента, заготовить больше вариантов обратной связи. Перед началом передвижения фигурки противника (ИИ) будет озвучиваться позиция, на которую он ставит фигуру.

Проводить целые шахматные турниры с использованием нашей шахматной доски станет возможным с реализацией специального web-приложения. Вы сможете пересматривать свои игровые матчи и повысить навык игры в шахматы благодаря интерактивной системе обучения, которая также находится в разработке.

Каждый из нас успешно справился с поставленными задачами. За умной шахматной доской уже играют наши одноклассники, и никто из них так и не прикоснулся к шахматному полю во время игры, ни одна фигурка не задела другую, а после завершения партии шахматы встали на свои исходные места.

## Выводы

В ходе работы над проектом были достигнуты ключевые цели и решены важные задачи. Одним из основных достижений является успешная интеграция голосового управления, что значительно расширяет удобство использования шахматной системы. Пользователи могут управлять фигурами и проводить игру, используя свой голос, что делает процесс игры более интуитивным и доступным.

Технологическая сторона проекта также заслуживает внимания. Реализованная архитектура обеспечивает стабильную и эффективную работу приложения, а использование передовых технологий в области искусственного интеллекта сделало систему игры более интеллектуальной и адаптивной. Система обучения также была реализована эффективно. Она предоставляет пользователям возможность улучшать свои шахматные навыки через персонализированные уроки, анализ партий и рекомендации. Используя передовые алгоритмы машинного обучения, система адаптируется к уровню игрока, предоставляя ему наилучший опыт обучения.

Систему отличает надежность и стабильность работы. Несмотря на ограниченные ресурсы, продукт достиг уровня конкурентов в лице компании GoChess. Мы продолжим развивать функционал и дорабатывать систему, и в скором времени предложим эффективное коммерческое решение по цене намного меньше, чем у подобных продуктов на рынке для того, чтобы продукт получил возможность широкого распространения.

# Приложение

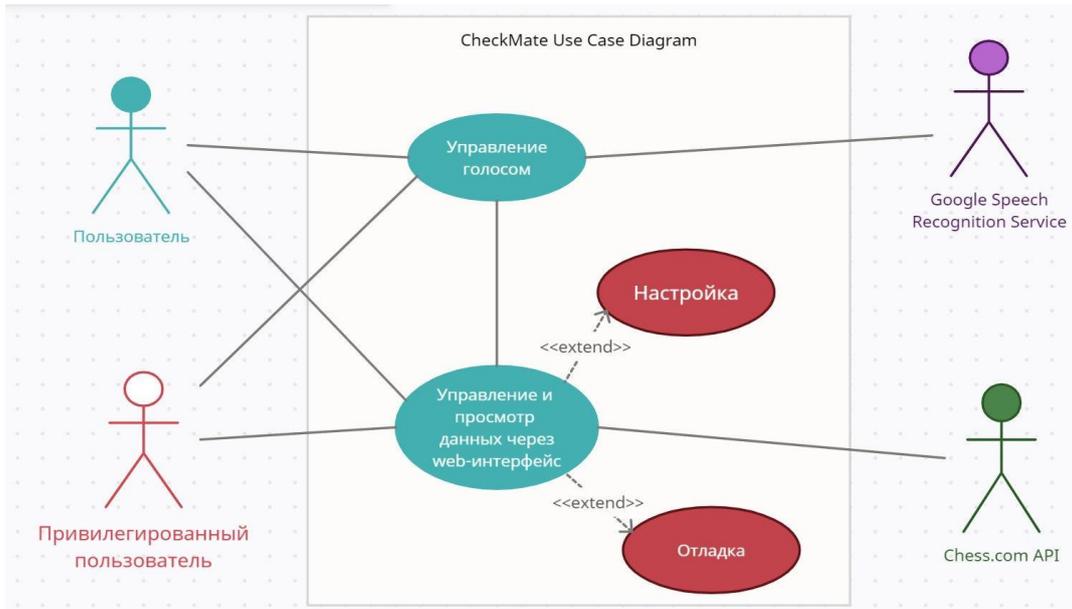


Рисунок 6. Use Case Diagram

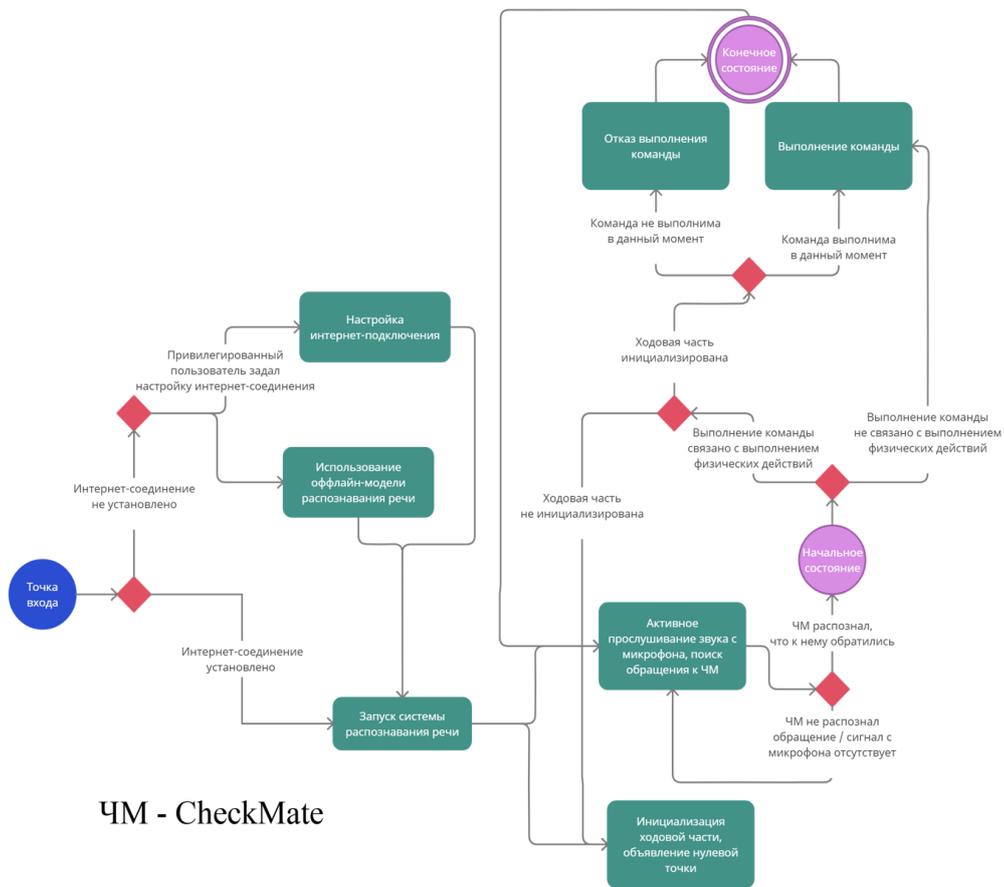


Рисунок 7. Диаграмма автомата (state machine diagram);

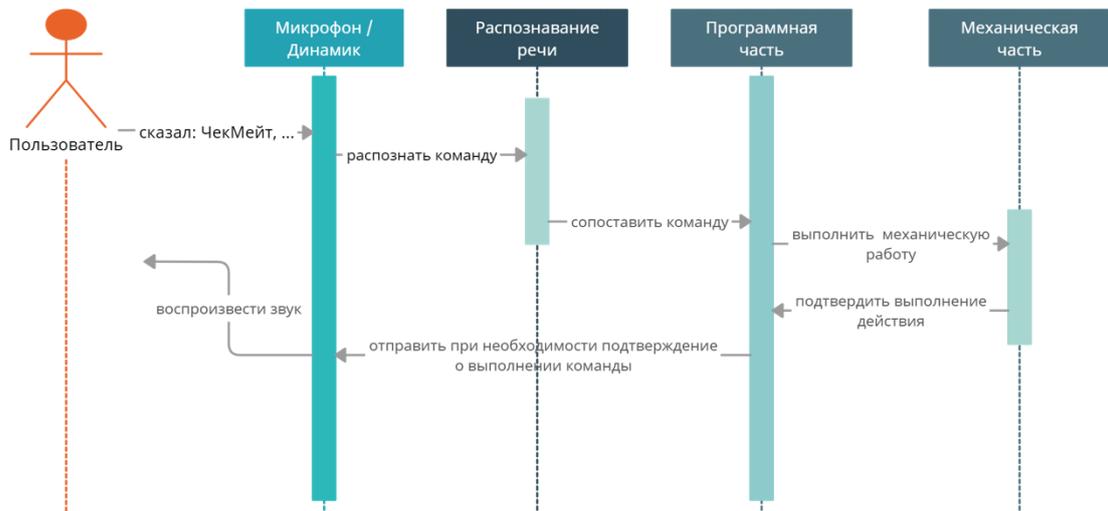


Рисунок 8. Диаграмма последовательности (sequence diagram);

## Component Diagram

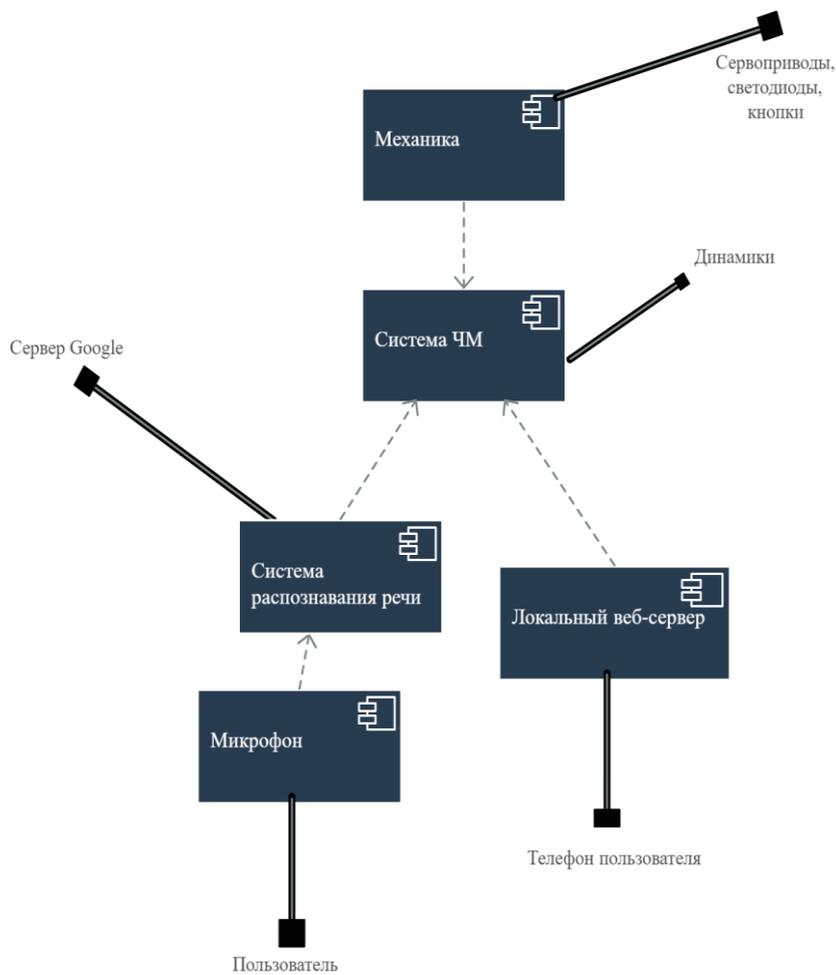


Рисунок 9. Диаграмма компонентов (component diagram).



*Рисунок 10. 3D-макет умной шахматной доски*



*Рисунок 11. Умная шахматная доска в сборе*

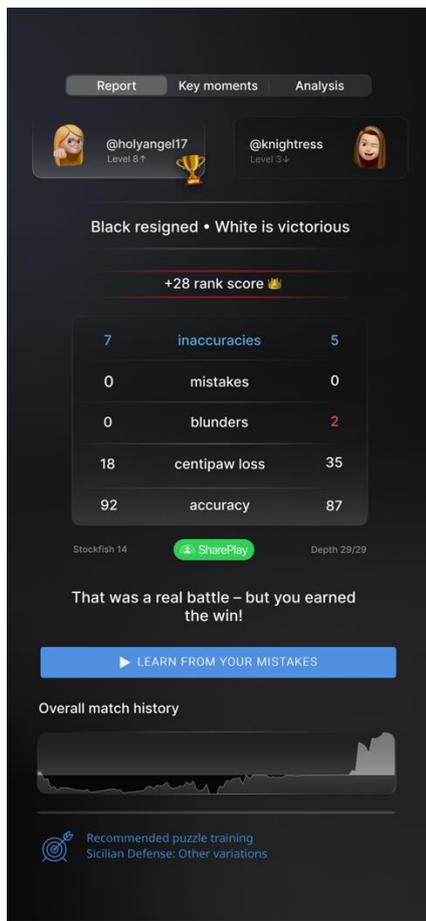


Рисунок 12. Концепт интерактивного веб-сервиса с игровой статистикой и онлайн режимом

## Список литературы

1. Гик Е. Я. Шахматы и математика / Е. Я. Гик. – Москва : Наука, 1976. – 176 с.
2. Сливинская А. Г. Электромагниты и постоянные магниты. Учебное пособие для студентов вузов. / А. Г. Сливинская. – Москва : Энергия, 1972. – 248 с.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник. В 2 частях. Часть 2. / Л.А. Бессонов. – М : Юрайт, 2017. – 348 с.
4. Нейман З.Б. Крупные вертикальные электродвигатели переменного тока / З.Б. Нейман, В.З. Пекне, Л.С. Моз. – Москва : Энергия, 1974. – 376 с.
5. Полупроводниковые приборы: транзисторы / В.Л, Аронов, А.В, Баюков, А.А. Зайцев [и др.]. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 904 с.
6. Адлер Ю.П. Алгоритмически неразрешимые задачи и искусственный интеллект / Ю.П. Адлер. – Москва : Научная библиотека, 2018. – 29 с.
7. Официальная документация Raspberry Pi : сайт. – URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/> (дата обращения: 22.12.2022)
8. Петин В. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things / В. Петин. – Санкт-Петербург : БВХ-Петербург, 2017. – 319 с.
9. Персиваль Г. Паттерны разработки на Python: TDD, DDD и событийно-ориентированная архитектура/ Персиваль Г. – М. : Прогресс книга, 2022. – 384 с.
10. Саммерфилд М. Программирование на Python 3. Подробное руководство / Саммерфилд М. – М. : Символ-Плюс, 2009. – 360 с.
11. Пратик, Д., Искусственный интеллект с примерами на Python. / Д., Пратик,. – Санкт-Петербург : Диалектика, 2019. – 448 с.