

**Желтиков Дмитрий Евгеньевич**

*студент четвертого курса направления 09.03.01 Информатика и  
вычислительная техника*

*Сибирский федеральный университет,*

*Институт космических и информационных технологий*

*89835752323d@gmail.com*

**Борзова Анна Евгеньевна**

*студент четвертого курса направления 09.03.01 Информатика и  
вычислительная техника*

*Сибирский федеральный университет,*

*Институт космических и информационных технологий*

*anua.yakovleva.1979@gmail.com*

**Научный руководитель Макуха Любовь Витальевна**

*старший преподаватель*

*Сибирский федеральный университет,*

*Институт космических и информационных технологий*

*makuha\_lv@mail.ru*

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО СТОЛА. АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ**

**Аннотация:** В статье рассматривается значение микроконтроллеров и низкоуровневого программирования при создании встроенных систем. Представлен учебный проект, демонстрирующий взаимодействие программного обеспечения с аппаратными компонентами для автоматизации задач.

Решение реализовано на основе датчиков и исполнительных устройств, управляемых напрямую через ресурсы микроконтроллера. Такой подход позволяет на практике изучить работу с регистрами, таймерами и портами ввода-вывода.

Проект направлен на развитие навыков написания оптимизированного и отказоустойчивого кода для систем с ограниченными ресурсами. В статье

описаны ключевые этапы разработки: выбор архитектуры, подбор компонентов и реализация алгоритмов управления.

Материалы могут быть полезны в образовательном процессе при подготовке специалистов в области автоматизации и встраиваемых систем.

**Ключевые слова:** интерактивный стол, аппаратная часть, сенсорные датчики, светодиоды, прототип, микроконтроллер Arduino Mega, датчик времени, LCD экран.

**Abstract:** The article discusses the importance of microcontrollers and low-level programming in the creation of embedded systems. A training project is presented that demonstrates the interaction of software with hardware components for automating tasks.

The solution is implemented on the basis of sensors and actuators controlled directly through the resources of the microcontroller. This approach allows you to learn how to work with registers, timers, and I/O ports in practice.

The project is aimed at developing the skills of writing optimized and fault-tolerant code for systems with limited resources. The article describes the key stages of development: the choice of architecture, the selection of components and the implementation of control algorithms.

The materials can be useful in the educational process when training specialists in the field of automation and embedded systems.

**Keywords:** interactive table, hardware, touch sensors, LEDs, prototype, Arduino Mega microcontroller, time sensor, LCD screen.

Современное развитие технологий характеризуется стремлением к повсеместной автоматизации производственных процессов и бытовых задач. Практически каждое электронное устройство – от бытовой техники до промышленного оборудования содержит встроенные контроллеры, управляющие его работой. Микроконтроллеры служат «мозгом» таких систем, обеспечивая взаимодействие программного кода с физическими компонентами: считывание данных с датчиков, управление исполнительными механизмами и обмен информацией между узлами.

Широкое распространение концепции Интернета вещей (IoT) и умных устройств подтверждается статистикой: к концу 2024 года количество подключённых IoT-устройств в мире прогнозируется на уровне около 18,8 млрд единиц. Это отражает растущую роль встроенных контроллеров в повседневной жизни.

Микроконтроллер представляет собой миниатюрный компьютер на одном кристалле, способный выполнять программу, загруженную в его память, для управления внешними устройствами. Благодаря компактности и низкому энергопотреблению микроконтроллеры применяются повсеместно – в системах автоматизации, робототехнике, автомобильной электронике и многих других областях.

Эффективное использование микроконтроллеров требует умения разрабатывать низкоуровневое программное обеспечение, которое напрямую взаимодействует с аппаратной частью. Низкоуровневое программирование предполагает работу на уровне, близком к машинному коду (например, на языках Си или ассемблере), что обеспечивает максимальный контроль над ресурсами устройства и временем выполнения операций. Несмотря на появление множества высокоуровневых средств разработки, низкоуровневый подход остаётся актуальным и не утратит значимости в обозримом будущем.

Преимущества низкоуровневого программирования для встроенных систем заключается в высокой эффективности использования ресурсов микроконтроллера, отслеживаемости времени исполнения операций, доступность к регистрам и периферийным устройствам для управления аппаратными компонентами и надёжность кода, обеспечивающего предсказуемость за счёт минимизации абстракций и накладных расходов.

Перечисленные преимущества делают низкоуровневое программирование незаменимым при создании высоконадёжных и высокоточных систем. Критически важные устройства, такие как медицинская аппаратура, системы безопасности автоматизированных производственных линий или бортовая электроника автомобилей, часто разрабатываются с использованием низкоуровневого кода, чтобы избежать сбоев и задержек.

Неудивительно, что спрос на решения с применением микроконтроллеров постоянно растёт.

Подтверждением востребованности микроконтроллеров служат и рыночные показатели: глобальный рынок микроконтроллеров для IoT оценивался в 6,09 млрд долларов США в 2024 году, а к 2032 году, по прогнозам, достигнет 16,39 млрд долларов.

Интерактивный стол – это электронная система в форме стола, способная реагировать на действия пользователя на своей поверхности с помощью встроенных сенсоров и средств визуализации. Такие устройства применяются в образовании, бизнесе (например, для презентаций и совместной работы), а также в развлекательных и интерактивных экспозициях.

Коммерчески доступные интерактивные столы обычно основаны либо на крупноформатных сенсорных дисплеях, либо на сложных оптико-электронных системах распознавания касаний, что обуславливает их высокую стоимость и сложность внедрения.

В рамках данного проекта предлагается разработка более доступной альтернативы, использующей недорогие и распространённые компоненты, с акцентом на аппаратную часть системы. Ключевая задача – создание аппаратной платформы интерактивного стола, способной обнаруживать прикосновения или присутствие объектов на поверхности и мгновенно отображать отклик (например, световую индикацию) в месте взаимодействия.

Для её реализации в статье рассматривается полный цикл проектирования – от анализа существующих решений до сборки и тестирования собственного прототипа. Основное внимание уделяется выбору и интеграции датчиков, построению электронной схемы, а также поэтапному изготовлению и отладке устройства.

Процесс разработки интерактивного стола был разбит на ряд ключевых этапов, каждый из которых решает определённую задачу в рамках проекта:

**Анализ аналогичных решений.** Изучение существующих интерактивных столов и технологий, применяемых для реализации сходной функциональности, с целью выбора оптимального подхода.

**Формулировка требований к системе.** Определение функциональных и технических требований к интерактивному столу на основе целей проекта и результатов анализа аналогов.

**Моделирование и разработка тестового модуля.** Создание уменьшенного прототипа (фрагмента) системы для проверки выбранных технических решений (сенсорной системы, схем управления и т.п.) в упрощённых условиях.

**Проектирование основного модуля.** Разработка полной схемы аппаратной части интерактивного стола, включающей весь набор датчиков, исполнительных элементов и электронных модулей управления, необходимых для функционирования устройства в целом.

**Реализация первой версии устройства.** Сборка интерактивного стола в первоначальной конфигурации (v1) согласно разработанной схеме, запуск и первичные испытания работоспособности системы.

**Модернизация и реализация второй версии.** Анализ работы первой версии, выявление недостатков и их устранение. Внесение изменений в конструкцию и электронику, сборка улучшенной версии устройства (v2) и проверка её соответствия всем требованиям.

На начальном этапе был проведён анализ существующих интерактивных столов и технологий, применяемых для реализации интерактивных поверхностей. Рассмотрены различные подходы, каждый из которых обладает своими достоинствами и недостатками:

- **Сенсорные дисплеи большого размера [2].** Коммерческие интерактивные столы представленные на рисунке 1, часто представляют собой большие ЖК-дисплеи с встроенным ёмкостным мультитач-экраном. Такой подход обеспечивает высокое разрешение ввода и поддержку одновременных касаний, однако стоимость подобных устройств очень высока, а реализация требует использования готовых промышленных решений.

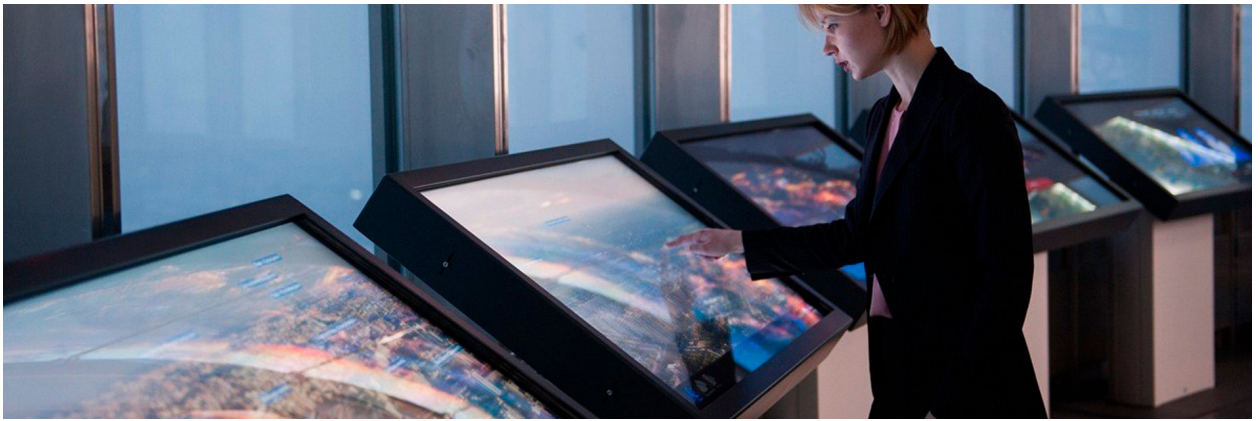


Рисунок 1 – Большой сенсорный экран

- **Оптико-камера системы.** Другой подход использует камеры и проекторы для отслеживания объектов на поверхности (как, например, в ранних версиях Microsoft Surface с технологией PixelSense [3] представленный на рисунке 2). В таком случае касания или объекты распознаются с помощью видеокамер и инфракрасной подсветки. Данный метод позволяет фиксировать сложные жесты и даже идентифицировать объекты, но отличается сложностью аппаратной части и требователен к ресурсам (необходимы высокочувствительные камеры, мощный процессор обработки изображений и пр.).



Рисунок 2 – Microsoft PixelSense

- **Матрица дискретных датчиков.** Широко распространены DIY-проекты интерактивных столов, использующие сетку из множества небольших датчиков (чаще всего инфракрасных) и соответствующих индикаторов (например, светодиодов) под поверхностью стола. При таком подходе стол реагирует на локальное изменение сигналов датчиков (например, отражение ИК-излучения от руки или объекта) и включает подсветку конкретной ячейки. Преимущества этого метода – относительная простота реализации и умеренная стоимость, однако снижается «разрешение» взаимодействия (размер ячейки сенсорной сетки ограничивает минимальный размер обнаруживаемого объекта), а также требуется калибровка и защита датчиков от помех внешнего освещения.

В результате проведенных исследований было решено использовать подход на основе матрицы сенсорных датчиков и светодиодов для построения интерактивного стола. Такой подход выбран как наиболее приемлемый по сочетанию стоимости и сложности реализации, обеспечивающий при этом

требуемый интерактивный функционал. Данный метод позволяет самостоятельно сконструировать систему из доступных электронных компонентов и адаптировать конфигурацию под поставленные задачи.

На основе целей проекта и анализа аналогов были сформулированы ключевые требования к разрабатываемому интерактивному столу. Эти требования определяют необходимые функции и характеристики системы:

- **Обнаружение касания/объекта:** Стол должен фиксировать присутствие предмета, касания рукой или другого объекта на всей площади рабочей поверхности. Каждая элементарная зона (ячей) поверхности должна быть «чувствительной».

- **Визуальная индикация:** при обнаружении касания или объекта система должна мгновенно отображать визуальный отклик – подсветку соответствующей области поверхности. Подсветка позволяет пользователю видеть результат взаимодействия в реальном времени.

- **Множественные одновременные взаимодействия:** Интерактивный стол должен корректно работать при одновременном взаимодействии в нескольких зонах. То есть система должна распознавать и отображать несколько касаний или объектов одновременно (мультикасательная функциональность на аппаратном уровне).

- **Высокая скорость реакции:** Задержка между действием пользователя (касанием) и откликом (подсветкой) должна быть минимальной – это обеспечивает естественность взаимодействия. Требуемое время реакции – доли секунды, незаметные невооружённым глазом.

- **Помехоустойчивость:** Работа датчиков не должна существенно зависеть от внешних условий освещения. Система должна быть устойчива к внешнему магнитному фону, чтобы предотвратить ложные срабатывания или пропуски касаний.

- **Безопасность и надёжность:** Аппаратная часть должна быть электрически безопасна для пользователя (применение низковольтного питания, изоляция проводников) и механически надёжна (прочность

конструкции, защита электронных компонентов от повреждений при эксплуатации).

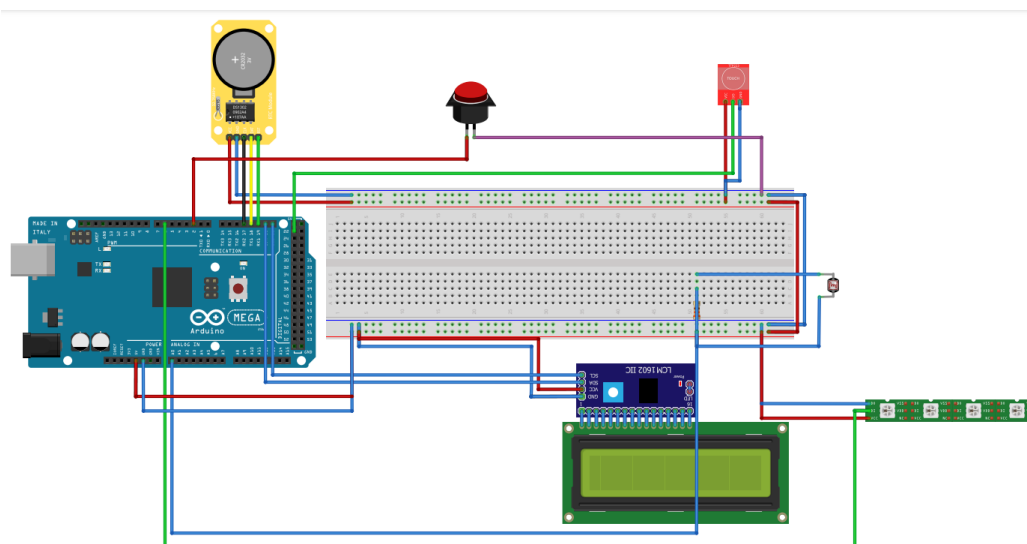
После определения требований разработка перешла к этапу моделирования, на котором последовательно созданы две аппаратные модели: сначала **тестовый модуль**, а после **основной модуль** интерактивного стола.

На первом этапе моделирования был разработан тестовый модуль – упрощенный прототип, предназначенный для отработки заложенных технических решений в малом масштабе. По сути, тестовый модуль представлял собой фрагмент интерактивного стола, включающий ограниченное число сенсорных ячеек. Каждая такая ячейка содержит сенсорный датчик для обнаружения объекта и соответствующий светодиод для индикации. Тестовый модуль позволил проверить работоспособность выбранных датчиков, принцип реагирования на объект и алгоритм управления подсветкой в одной ячейке. В ходе экспериментов с тестовым модулем были настроены параметры чувствительности датчиков, оценена скорость реакции и выявлены возможные помехи (например, от внешнего света) на небольшом количестве элементов. Модель тестового модуля интерактивного стола представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Тестовый модуль интерактивного стола

На основании положительных результатов, полученных в ходе испытаний созданного тестового фрагмента, была разработана полноценная конструкция основного модуля, охватывающего всю поверхность стола. Этот модуль представляет собой завершённую аппаратную часть интерактивного стола с равномерно распределённым массивом сенсоров и световых индикаторов. В разработанной модели вся поверхность условно разделена на ряд идентичных ячеек, в каждой из которых размещена пара «датчик + светодиод». Все датчики подключены к центральному контроллеру (микроконтроллеру) через соответствующие интерфейсы. Учитывая большое число элементов, в схему основного модуля введены решения для упрощения подключения: например, использование мультиплексоров и драйверов для считывания сигналов с датчиков по строкам/столбцам, применение сдвиговых регистров или портовых расширителей для управления множеством светодиодов и т.д. Данная модульная организация позволяет контроллеру опрашивать датчики поочередно или блоками и зажиганием светодиодов обозначать активные ячейки. Схема основного модуля обеспечила масштабируемость системы – при необходимости можно изменить число ячеек без радикального пересмотра архитектуры, добавляя дополнительные модули датчиков. Проектная схема (модель) основного модуля представлена на рисунке 4.



## Рисунок 4 – Основной модуль интерактивного стола

После этапа моделирования и проектирования была выполнена практическая реализация аппаратной части интерактивного стола. Процесс реализации проходил в две итерации: сначала была собрана и протестирована первая версия устройства, а затем – с учётом выявленных недостатков и возможностей для улучшения – разработана доработанная вторая версия. В качестве элементной базы использовались сенсорные датчики, светодиоды, микроконтроллер Arduino Mega [1], модуль реального времени, LCD-дисплей, кнопка и фоторезистор. Ниже подробно рассматриваются особенности обеих версий устройства.

Первая версия (далее – v1) представляет собой прототип интерактивного стола, собранный согласно разработанной схеме основного модуля. Аппаратная часть v1 включала в себя следующие основные компоненты: матрица сенсорных датчиков и светодиодная лента, микроконтроллер для считывания сигналов с датчиков и управления светодиодами. Датчики расположены равномерно по площади стола в соответствии с выбранной сеткой (размер ячеек был задан на этапе проектирования). Светодиоды размещены таким образом, чтобы их свечение было направлено на область той же ячейки, где установлен соответствующий датчик, обеспечивая локальную подсветку в месте касания.

Для упрощения разработки в v1 использовалась отладочная плата микроконтроллера, что ускорило процесс прототипирования. Электронные компоненты первоначально смонтированы на макетной плате и соединены проводами согласно схеме. Был написан базовый программный код микроконтроллера, реализующий периодический опрос датчиков и зажигание соответствующих светодиодов при обнаружении объекта.

При сборке и начальном тестировании первой версии интерактивного стола подтвердилось, что система в целом работоспособна: при помещении руки или объекта на поверхность соответствующие светодиоды успешно загораются, указывая на обнаружение. Время реакции оказалось близким к

мгновенному и соответствовало требованию высокой скорости отклика. Однако в ходе испытаний была выявлена проблема с недостаточной чувствительной площадью сенсорных датчиков – срабатывание происходило лишь при точечном касании центральной части сенсора. Для устранения этого недостатка было принято решение дополнительно установить медное кольцо на каждый из датчиков, такая доработка позволила значительно расширить область чувствительности, обеспечив более стабильное и уверенное срабатывание при взаимодействии с поверхностью стола.

На рисунке 4 показан внешний вид собранной первой версии устройства (прототип интерактивного стола).

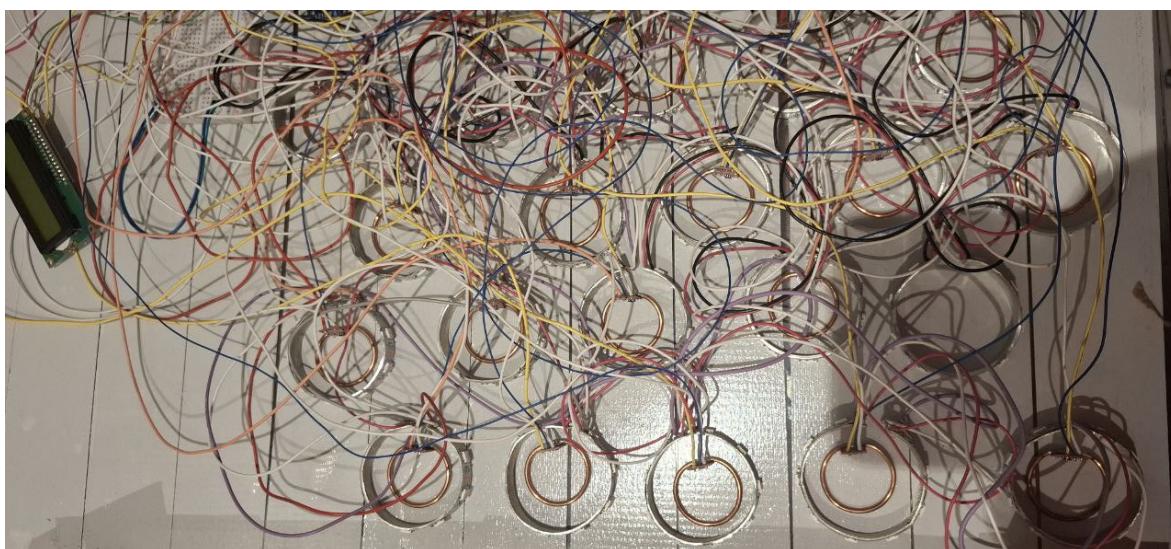


Рисунок 4 – Первая версия устройства

При этом испытания v1 выявили ряд недостатков, требующих улучшения. Во-первых, обнаружилась чувствительность инфракрасных датчиков к уровню внешнего освещения: при ярком дневном свете иногда возникали ложные срабатывания или снижение чувствительности. Во-вторых, распределение яркости подсветки было неравномерным – при одновременном срабатывании множества датчиков некоторые светодиоды светили слабее из-за ограничений по току источника питания. Кроме того, сложность монтажной проводки на макетной плате приводила к потенциальной ненадёжности

контактов при длительной эксплуатации. Эти наблюдения стали основой для доработки конструкции.

Вторая версия (далее – v2) интерактивного стола была разработана с учётом опыта, полученного при работе с первым прототипом. Основная цель модернизации – повысить надёжность и точность системы, устранив выявленные проблемы. Были внесены следующие ключевые изменения во вторую версию устройства:

- **Повышение помехоустойчивости датчиков:** для снижения влияния внешнего освещения применены меры защиты инфракрасных датчиков. В частности, добавлены оптические фильтры для датчиков или использована модуляция ИК-излучения с последующей фильтрацией сигнала на приемнике. Это позволило значительно уменьшить количество ложных срабатываний при ярком внешнем свете и обеспечить стабильное обнаружение объектов в различных условиях.

- **Улучшение системы питания и индикации:** для равномерного свечения всех светодиодов усовершенствован блок питания – использован источник с большим запасом по току. Каждая ячейка получила необходимые ограничительные резисторы и, при необходимости, транзисторные ключи для обеспечения стабильной яркости независимо от числа одновременно горящих светодиодов. В результате подсветка стала более равномерной, и стол корректно отображает несколько одновременных касаний без просадки напряжения.

- **Повышение надёжности конструкции:** Во второй версии электронные компоненты перенесены с макетной платы на печатную плату, специально разработанную под данную задачу. Это значительно упростило проводку: все датчики и светодиоды подключены к контроллеру через надёжные разъемы на печатной плате, что устранило проблемы с контактами. Кроме того, компактное размещение компонентов на плате снизило уровень наводок и шумов, улучшив стабильность показаний датчиков.

В результате проведенной модернизации v2 интерактивного стола полностью удовлетворяет изначальным требованиям. Система уверенно

распознает прикосновения и объекты по всей поверхности, демонстрируя корректную работу сенсоров без ложных срабатываний. Визуальная индикация происходит мгновенно и равномерно, независимо от количества одновременных точек активации. На рисунке 5 представлен окончательный вид интерактивного стола в v2.

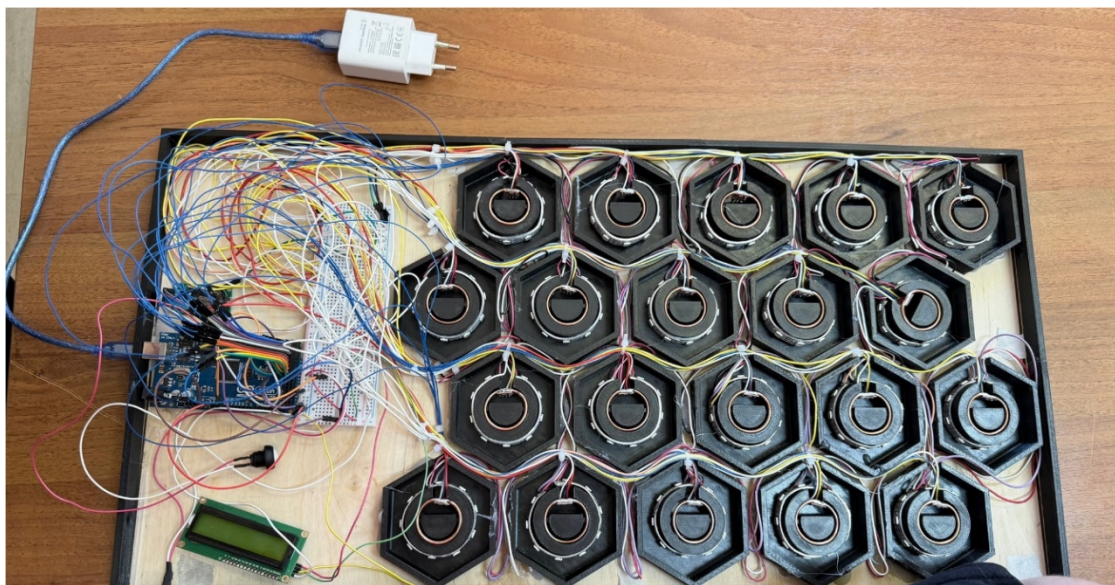


Рисунок 5 – Вторая версия интерактивного стола

Моделирование и изготовление тестового модуля подтвердили жизнеспособность выбранных технических решений. Последовательная реализация двух версий прототипа дала возможность улучшить систему: в финальной версии интерактивный стол надёжно обнаруживает объекты на поверхности и мгновенно визуализирует взаимодействие, демонстрируя устойчивость к помехам и соответствуя критериям безопасности.

Разработанный интерактивный стол может найти применение в качестве обучающего или демонстрационного инструмента, а также послужить базой для дальнейших исследований в области интерактивных интерфейсов. В дальнейшем планируется развитие программной части системы – создание программного обеспечения, позволяющего расширить сценарии взаимодействия с пользователем. Таким образом, проведенная работа заложила основу для недорогого и эффективного интерактивного стола,

который сочетает в себе простоту аппаратной реализации и широкие возможности для развития функционала.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Arduino Mega // Официальный сайт компании Arduino. – URL:  
<https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560?ysclid=maibq0oml2921531356> (дата обращения: 10.05.2024).
2. Microsoft PixelSense // Информация о продукте. -URL:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_PixelSense](https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_PixelSense)
3. Производитель промышленных сенсорных продуктов. -URL:  
<https://touchgames.ru/baza-znaniyi/bolshie-sensornye-monitory>