

титул

задание

## РЕФЕРАТ

НИР 25с., 9 рис., 1 табл., 11 источников.

VELOSTAT, ARDUINO, ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ, БАДМИНТОН

Цель работы – исследовать применимость материала Velostat в тренировочных системах в бадминтоне.

В процессе исследования было проведено сравнение с существующими аналогами, а также оценены точность и быстродействие тренировочных систем на основе материала Velostat и микроконтроллера ATmega328.

Результатом исследования является определение возможности применимости материала Velostat в подобных системах, а также оценка потенциала его использования.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Системы контроля попаданий волана.....	7
1.1 Лучевые и проводные системы.....	7
1.2 Системы компьютерного зрения.....	9
1.3 Система на материале Velostat.....	10
2 Проектирование и сборка макетного образца.....	11
2.1 Микроконтроллер ATmega328.....	11
2.2 Чувствительный к давлению мат.....	13
2.3 Принцип работы.....	14
2.4 Макетный образец.....	14
3 Применение макетного образца.....	16
3.1 Анализ чувствительности.....	16
3.2 Анализ быстродействия.....	20
3.3 Анализ точности.....	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	23
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	24

## **ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

ALC (automated line calling) система — автоматизированная система контроля касания линии

ATP (Association of Tennis Professionals) — Ассоциация теннисистов-профессионалов

COM-порт (communications port) — последовательный порт

ITF (International Tennis Federation) — Международная федерация тенниса.

TEL (Tennis Electronic System) — теннисная электронная система

TTL (transistor-transistor logic) — транзисторно-транзисторная логика

USB (Universal Serial Bus) — универсальная последовательная шина

WTA (Women's Tennis Association) — Женская теннисная ассоциация

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достижения науки плотно вошли в повседневную жизнь человека, упрощая её, позволяя осуществлять то, что раньше казалось невозможным. «Умный дом» уже не вызывает удивления, а различные технологии позволили разнообразить досуг. Особенно отчетливо это можно увидеть в спорте. Уже сложно представить, чтобы человек вышел на пробежку без приложения, отслеживающего пройденную дистанцию. «Умные часы» помогают считывать пульс и давление, отслеживать состояние, собирают статистику.

Используются технологии как во время тренировок, позволяя улучшить качество подготовки спортсменов, так и во время соревнований, обеспечивая честную игру в спорных ситуациях. Бадминтон не является исключением в этом плане. Однако текущий перечень специализированных приспособлений, использующихся в тренировочном процессе в данном виде спорта, довольно мал, а также дорог, ориентирован скорее на приобретение клубом, нежели для персонального использования. Именно поэтому так остро встает проблема поиска оптимальных решений, которые позволили бы не только разнообразить рынок, но и были доступны каждому спортсмену — как одиночке-любителю, так и профессионалу, члену сборной Российской Федерации.

В данной работе был проведен анализ материала Velostat, оценена возможность его применения для создания систем контроля попаданий волана в заданную зону бадминтонной площадки.

## **1 Системы контроля попаданий волана**

Когда возникает необходимость в определении, попал игровой снаряд в поле или в аут, люди обычно обращаются к ALC системам.

Большая часть ALC систем используется или использовалась в теннисе, как в более популярном (и более финансируемом) виде спорта, однако принцип работы для бадминтона не будет отличаться принципиально.

На конференции, созванной ITF в 2003 году, было представлено несколько различных типов ALC систем. Шрихарш Келкар (Shreeharsh Kelkar), автор «Сила зрения: Hawk-eye в теннисе» («The Power of Sight: The Case of Hawk-Eye in Tennis»), разделяет их на три вида (пункты 1.1 и 1.2 ниже).

### **1.1 Лучевые и проводные системы**

Лучевые системы, такие, как Циклоп, являются самыми первыми ALC системами. Принцип их работы заключается в том, что электромагнитные лучи перебрасываются с одного конца корта на другой. В Циклопе один луч направляют вдоль линии подачи, еще четыре — в зоне аута. Как только один из лучей был задет, все остальные выключаются. Если мяч вышел за пределы корта, Циклоп издает звуковой сигнал. Расположение лучей Циклопа представлено на рисунке 1.

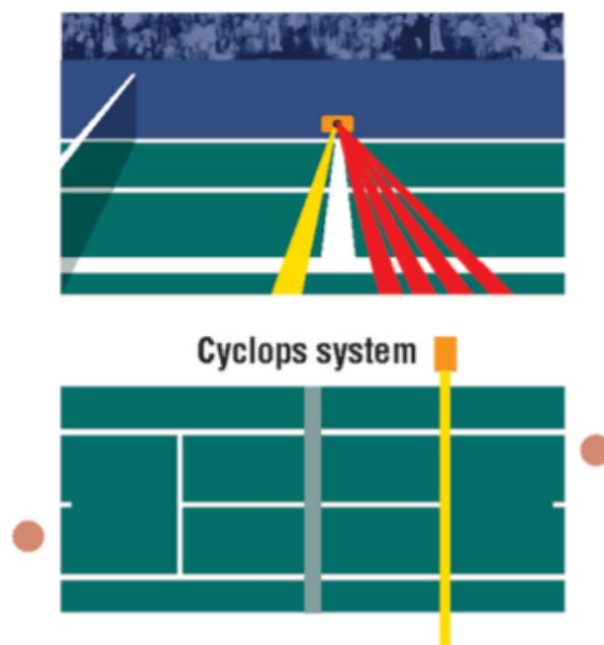


Рисунок 1 — Принцип работы системы Циклоп

У данной системы есть ряд существенных недостатков. Она может использоваться только при подаче, так как не различает, какой предмет возник на пути луча — мяч или что-либо другое. По этой же причине судья вынужден выключать Циклоп после подачи и включать перед началом следующего розыгрыша. Циклоп активно применялся начиная примерно с 1980 года (впервые применен на турнире в Уимблдоне) и окончательно вышел из использования с приходом в теннис Hawk-eye.

Принцип работы проводных систем полностью отражает их название — такие системы предусматривают наличие сенсоров, расположенных по линиям игрового поля. Иногда модифицируют и сами мячи.

Одной из самых первых таких систем является TEL. Линии поля могут «чувствовать», когда мяч находится близко к ним, а затем алгоритм рассчитывает отпечаток мяча. Этот алгоритм пытается учитывать деформацию снаряда и его скольжение. TEL был испытан в 1992 на US Open. В 9% спорных



моментов судья на вышке и система пришли к различным результатам, что является неплохим результатом. Также TEL один год успешно использовался на Кубке Хопмана. При этом присутствовал только судья на вышке, судьи на линии отсутствовали. Однако были выявлены следующие проблемы: на случай технической ошибки все равно требовалось наличие судей на линии, а также было необходимо перекапывать корт для установки. Нельзя не упоминать и о стоимости установки данной системы — от 80.000\$ до 100.000\$ (цены в газете 1992 года).

## **1.2 Системы компьютерного зрения**

Эпоха расцвета для ALC систем пришла с появлением систем компьютерного зрения. Предшественником системы Hawk-eye была система AutoRef. Она была протестирована и одобрена ITF в ноябре 2004 года. В декабре того же года Hawk-eye еще тестировалась.

Первым турниром высокого уровня, на котором была применена система Hawk-eye, стал Кубок Хопмана, проведенный в январе 2006 года в Австралии. Игрокам было разрешено оспаривать решения, принятые судьями. В таких случаях также рассматривались результаты, полученные с помощью системы Hawk-eye. Дебютным рейтинговым турниром стал мартовский Miami Masters того же года. Первым же турниром Большого Шлема, на котором использовался Hawk-eye, стал US Open 2006 года. Каждый игрок мог оспорить 2 мяча за сет. К марту 2008 года три руководящих органа в мире тенниса, ITF, ATP и WTA, создали стандарт правил по использованию системы Hawk-eye.

### 1.3 Система на материале Velostat

Несмотря на большую популярность системы Ястребиного глаза, нельзя отрицать, что стоимость ее установки делает её крайне недоступной для тренировочных целей. Лучевые и проводные системы являются более подходящими аналогами, однако у них есть существенные недостатки.

Если рассматривать тренировочный процесс, лучевые системы будут некорректно работать в случае «многоволанок», когда игровые снаряды остаются на площадке. Таким образом, они будут перекрывать друг друга, и система не сможет отследить попадание новых воланов. В данном случае необходимо постоянно очищать игровое поле.

Проводные системы предполагают внедрение изменений в сами линии корта и игровые снаряды. И если в случае тенниса подобное подошло бы для тренировок, то в случае бадминтона это маловероятно — масса волана не должна превышать 5,5 грамм, что делает его модификацию затруднительной (для сравнения, масса мяча для большого тенниса должна быть примерно в 10 раз больше).

В данном случае имеет смысл создание системы, которая не предполагает изменение игрового снаряда, но делает возможным добавление каких-либо элементов на корт. К примеру, мата, который способен определять, к каким его точкам приложено давление. Если определить на таком мате линию корта, при достаточной точности системы не составит труда определить, попал ли игровой снаряд в поле или в аут.

Velostat — токопроводящая пленка, изготовленная из непрозрачного, пропитанного углеродом, полиолефинового материала, обладающего объемной проводимостью. На проводящие свойства пленки не оказывает влияние влажность и дата изготовления.

Обычно она используется для обеспечения физической и электростатической защиты, однако, благодаря своему свойству менять сопротивление в зависимости от прикладываемого давления, Velostat приобрел большую популярность в проектах, где требуются датчики, фиксирующие силу нажатия — примером здесь являются устройства для диагностики вестибулярного аппарата, «умные стельки». Способствовала этому и цена материала — ~24.30\$ (~1784,47 руб. на 20.09.2021) за лист 80 см x 80 см. Единственной проблемой для российского рынка может быть то, что данный материал сложно достать в стране — он мало где продается, а потому возникает необходимость заказывать его из-за рубежа, к примеру, из Франции.

## **2 Проектирование и сборка макетного образца**

Макетный образец состоит из двух частей — самого мата и микроконтроллера, определяющего его поведение.

### **2.1 Микроконтроллер ATmega328**

Существует огромное множество различных микроконтроллеров. Однако работать непосредственно только с микросхемой может быть затруднительно, поэтому часто встречаются уже готовые модули на плате.

Одной из наиболее известных марок в этой области является Arduino. Она предоставляет программную оболочку для написания программ и аппаратную

часть, включающую в себя набор смонтированных печатных плат. По Arduino есть большое количество теоретического материала, сторонние производители также выпускают различные датчики и другие периферийные устройства, которые ориентированы на подключение к устройствам данной марки. Поэтому было принято решение использовать их.

В классической линейке устройств в основном применяются микроконтроллеры семейства Atmel AVR — ATmega2560, ATmega32U4, ATmega328, ATtiny85, ATmega168. В данной работе было решено использовать плату с микроконтроллером ATmega328.

ATmega328 — 8-битный микроконтроллер с низким энергопотреблением, созданный по КМОП технологии. В нем используется усовершенствованная компанией AVR RISC архитектура, предполагающая сокращение числа команд.

Этот микроконтроллер используется в платформе Arduino Pro Mini, в данной работе была использована именно она. Среди остальной линейки серии она отличается маленьким размером и энергопотреблением. Также Arduino Pro Mini отличается удовлетворительным соотношением цены к техническим требованиям для разработанного мата.

Питание платы в данной работе осуществляется от компьютера с помощью переходника USB в TTL. Также данную плату можно питать от батарейки до 12 В при питании через RAW вход.

## 2.2 Чувствительный к давлению мат

Если материал Velostat расположить между двумя проводящими слоями, можно использовать его в качестве датчика давления. В качестве проводящих слоев использована лента из меди.

Таким образом, строение мата представляет из себя следующее: лист материала Velostat располагается между рядами лент из меди. К листам меди припаиваются провода. К одному слою поступает питание, провода со второго слоя поступают на аналоговые входы собранной схемы.

Схема самого мата выглядит примерно так, как представлено на рисунке 2.

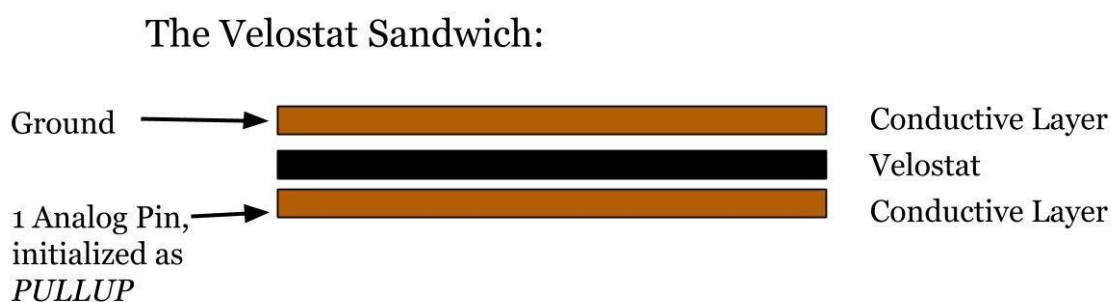


Рисунок 2 — Основа мата

Однако у Arduino Pro Mini есть только 6 аналоговых входов. Для увеличения их количества было принято решение использовать мультиплексор и демультиплексор.

Наиболее часто используемой в системах Arduino микросхемой является 16-канальный мультиплексор/демультиплексор CD74HC4067. Он также поставляется на плате, что облегчает его подключение к микроконтроллеру Arduino.

С помощью цифровых выходов Arduino Pro mini можно провести выборку необходимых линий. Последовательно подавая напряжение на все горизонтальные линии, можно произвести выборку с вертикальных линий, также последовательно выбирая, с какого входа мультиплексора считывать напряжение.

### **2.3 Принцип работы**

Принцип работы устройства следующий: с выходов платы микроконтроллера на 16-канальный аналоговый мультиплексор/демультиплексор CD74HC4067, работающий в режиме демультиплексора, поступают сигналы S0\_OUTPUT...S3\_OUTPUT и SIG\_OUTPUT. С помощью первых четырех сигналов выбирается один из 16 C0\_OUTPUT...C15\_OUTPUT (каналы демультиплексора), на который будет подаваться сигнал SIG\_OUTPUT. К выходам C0\_OUTPUT..C15\_OUTPUT подключены 16 линий медной ленты. Ток проходит по ленте через Velostat и поступает на другие 16 линий медной ленты, которые подсоединены к выходам C0\_INPUT...C15\_INPUT мультиплексора. С помощью сигналов S0\_INPUT...S3\_INPUT аналогично производится выбор нужного канала, сигнал с которого через выход SIG\_INPUT поступает на вход платы микроконтроллера.

Таким образом, выбрав нужный канал и зафиксировав изменение поступающего аналогового сигнала, можно отследить нажатия на собранный датчик.

### **2.4 Макетный образец**

Схема подключения к мату на основе материала Velostat представлена на рисунке 3.

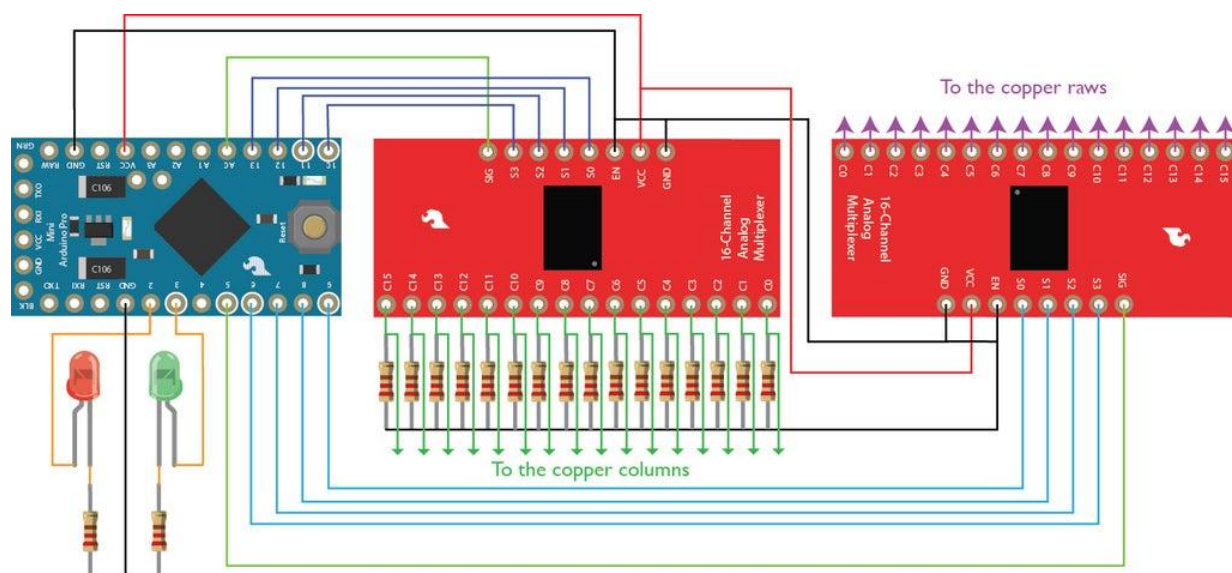


Рисунок 3 — Схема подключения

Внешний вид макетного образца представлен на рисунке 4.

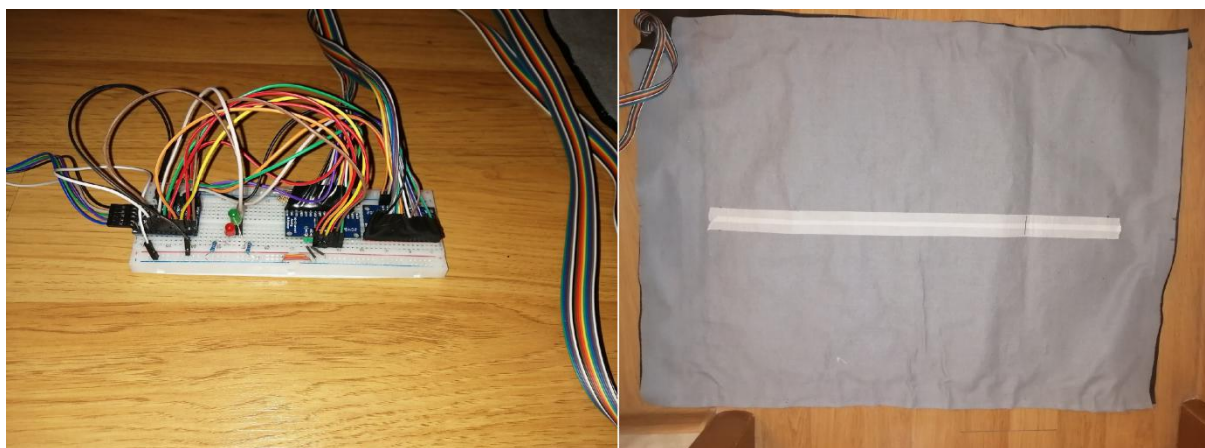


Рисунок 4 — Макетный образец

На рисунке 5 показано строение самого мата.



Рисунок 5 — Внутреннее содержимое мата — линии медной ленты и Velostat

### **3 Применение макетного образца**

#### **3.1 Анализ чувствительности**

В первую очередь необходимо было исследовать, сможет ли материал корректно реагировать на воздействие волана.

Для этого были проведены эксперименты — волан с различной высоты бросался на макет. Считывая значение с аналогового входа, можно было



определить, в какой момент происходило соприкосновение игрового снаряда с поверхностью мата.

Преобразование значения аналогового сигнала в напряжение производится по формуле 1:

$$V_{IN} = \frac{ADC \cdot V_{REF}}{1024}, \quad (1)$$

где  $V_{IN}$  — значение напряжения на аналоговом входе,  $ADC$  — значение, полученное с аналогового входа (от 0 до 1023),  $V_{REF}$  — напряжение питания, 5 В.

Из экспериментов было выявлено, что материал обладает высокой чувствительностью — вне зависимости от изменений высоты, в момент перед отскоком значение с аналогового входа находилось в районе 600-900. От высоты зависела сила, с которой волан давил на мат в момент после отскока, во время второго приземления, а также само это время отскока.

Для базового случая, когда волан опускается с небольшой высоты, были получены графики зависимости напряжения на аналоговом входе микроконтроллера при давлении падающего волана на Velostat от времени. Совместное представление части из этих графиков можно увидеть на рисунке 6.

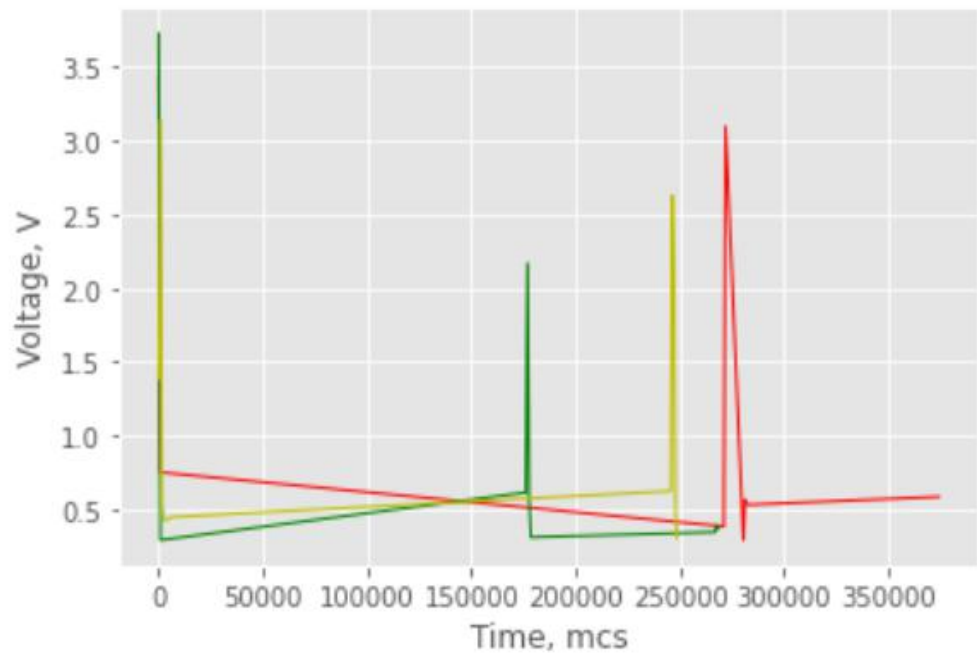


Рисунок 6 — Реакция материала на падение волана

Из рисунка видно, что графики обладают общей моделью поведения. В начальный момент наблюдения с аналогового входа получается максимальное значение — волан с максимальной кинетической энергией соприкасается с поверхностью мата. Затем происходит отскок, во время которого материал возвращается в состояние, близкое к начальному. После этого происходит второе касание, которое оказывает на мат меньшее давление.

Отдельно графики представлены на рисунках 7-9.

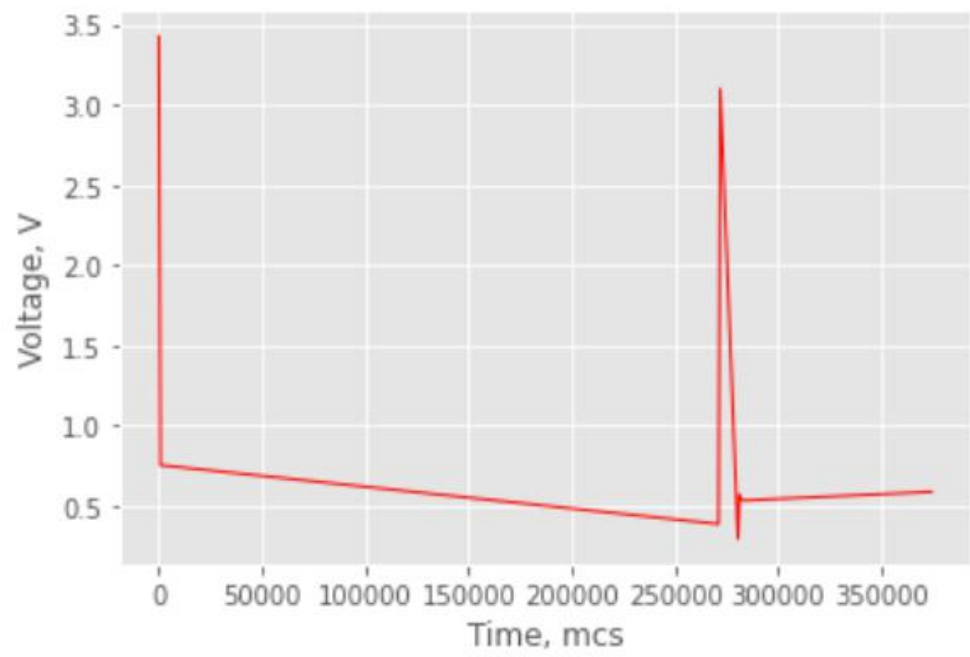


Рисунок 7 — Анализ чувствительности. Эксперимент 1

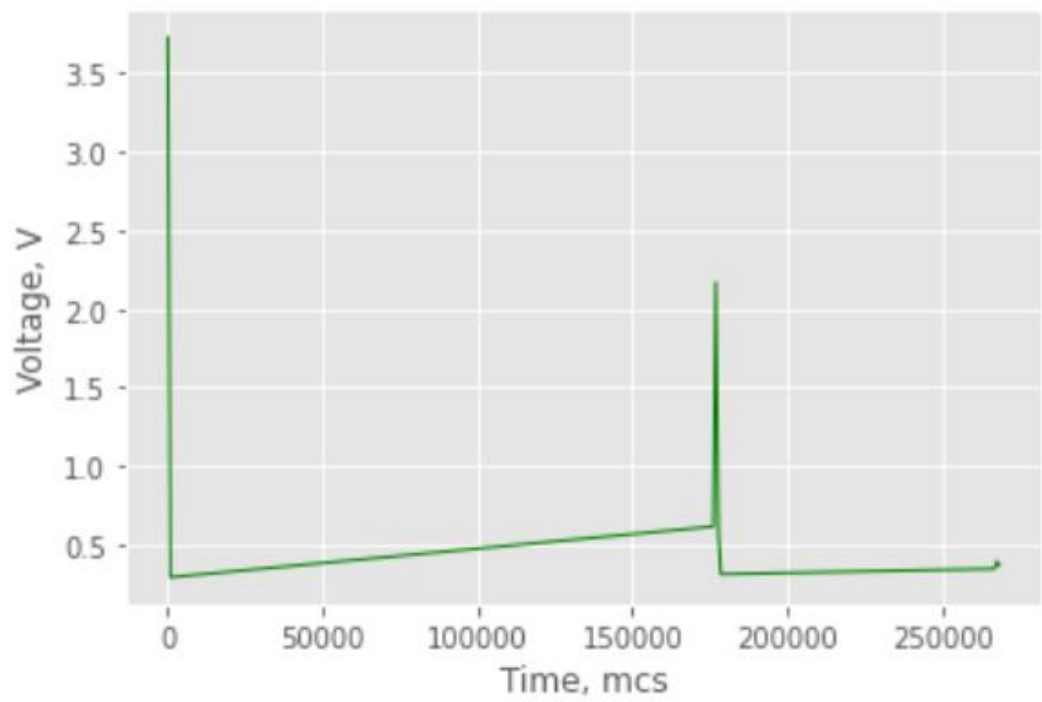


Рисунок 8 — Анализ чувствительности. Эксперимент 2

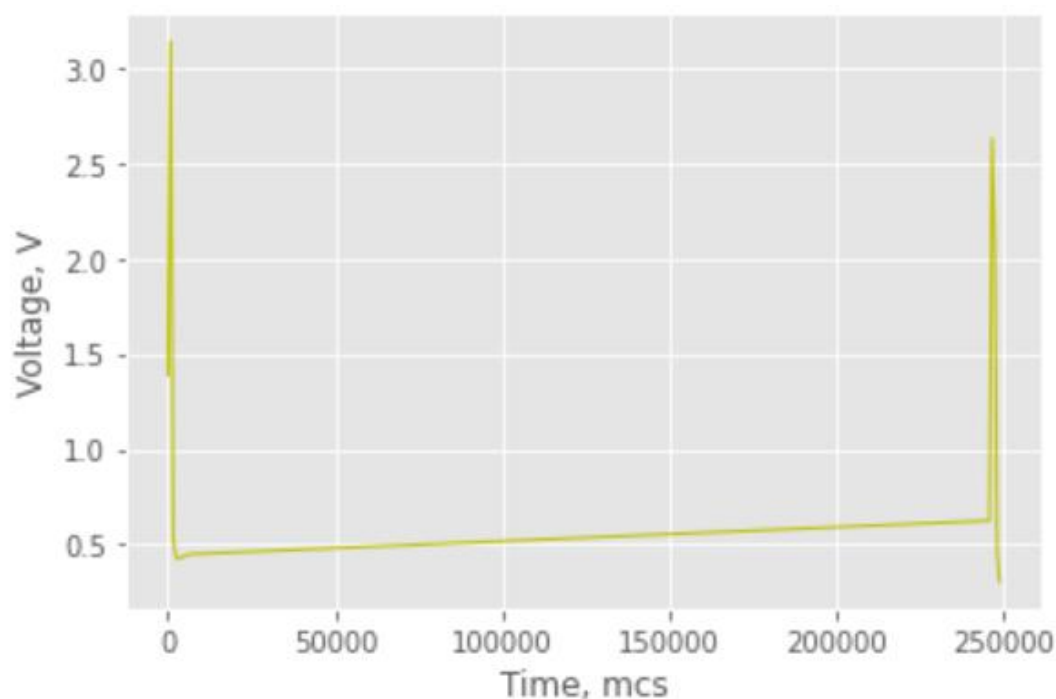


Рисунок 9 — Анализ чувствительности. Эксперимент 3

Как видно из графиков, среднее время возврата материала в исходное состояние не превышало 350 мс.

### 3.2 Анализ быстродействия

Для того, чтобы определить быстродействие схемы, с помощью внутреннего таймера микроконтроллера было посчитано время, затрачиваемое на:

1. Заполнение матрицы значений.
2. Передачу матрицы значений.

Для того, чтобы схема имела максимальное быстродействие, некоторые ее вычисления можно перенести на иное устройство, которое будет использоваться конечным пользователем — на телефон или компьютер. Уже там можно производить анализ полученной матрицы, то есть сравнивать ее элементы с минимальным значением с аналогового вывода в отсутствие

давления. Это также будет наиболее оптимальным выходом, поскольку появляется возможность задействовать многопоточность для таких вычислений.

В данном эксперименте передача значений производилась через COM-порт. Было произведено несколько замеров, после чего было высчитано их среднее. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Временные измерения

Вид измерения	Время, мкс
Заполнение матрицы значений	44216
Передача матрицы значений	390181

Таким образом, один полный проход занимает примерно 434 мс. При этом заполнение матрицы значений занимает меньшую часть этого времени, 44 мс.

Учитывая данные пункта 3.1, можно сделать вывод, что вероятность пропуска волана мала — частота попаданий волана не будет превышать допустимую, чтобы попасть в окно отправки данных на внешнее устройство .

### 3.3 Анализ точности

В основе мата находится сетка 16x16 из меди, которая позволяет считывать значения из 256 точек. Ширина линии меди составляет 40 мм — равна ширине линии корта. Расстояние между линиями составляет 2 мм. Ширина головки игрового снаряда составляет от 25 до 28 мм, ширина участка, которым производится касание с поверхностью, меньше — она составляет от 7 до 10 мм.

В случае полного попадания в зону линии медной ленты можно безошибочно определить результат. Проблему здесь представляют граничные касания — влияет ли близкое нахождение волана к одной линии на результаты считывания напряжения с другой линии?

Для проведения эксперимента был собран дополнительный макет, в котором использовались линии медной ленты меньшего размера, шириной 10 мм. При этом собранный макетный образец безошибочно определял результат при нажатии воланом на разные линии. Так как при обработке результатов приоритет отдавался линиям игрового «поля», а не «аута», с обработкой спорных ситуаций (снаряд оказался между двумя линиями) не возникло проблем.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате исследования можно сделать вывод, что Velostat возможно применять в тренировочных системах в бадминтоне в качестве ALC системы. С помощью макетного образца было доказано, что материал достаточно чувствителен, чтобы определять момент падения волана, а цена Velostat позволяет конечному продукту быть доступным широкому кругу пользователей.

Подобная система может оказать положительное влияние на подготовку спортсменов всех возрастов, помогая улучшить точность ударов, а также способствуя тренировке концентрации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 464 с
2. Справочник по пайке / Ред. Петрунин И. Е. - 2-е изд., перераб. и дополн. - М. : Машиностроение, 1984. - 398 с.
3. Yan Baodong. Hawkeye technology using tennis match (англ.) // COMPUTER MODELLING & NEW TECHNOLOGIES. —2014. — P. 400-402
4. H. Collins and R. Evans. You cannot be serious! Public understanding of technology with special reference to ‘Hawk-Eye’ (англ.) // Public Understanding of Science. — 2008. — Vol. 3, no. 17. — 26 p.
5. Shreeharsh Kelkar. The Power of Sight: The Case of Hawk-Eye in Tennis (англ.). — 2012. — 14 p.
6. Geoff Pollard. A MATHEMATICAL, STATISTICAL, PROBABILISTIC AND STRATEGIC ANALYSIS OF TENNIS (англ.). — 2017. — P. 49.
7. Документация на Arduino Pro Mini [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.delta-n.ru/Info/Arduino\\_Pro\\_Mini.pdf](https://www.delta-n.ru/Info/Arduino_Pro_Mini.pdf) (Дата обращения 2021-14-09)
8. Портал магистров ДонНТУ. Реферат по теме выпускной работы Кукукина И.Ю. [Электронный ресурс]. — URL: <https://masters.donntu.org/2013/etf/kuksin/diss/index.htm> (дата обращения 2021-09-02)
9. Alterozoom. Velostat [Электронный ресурс]. — URL: <https://alterozoom.com/ru/documents/43822.html> (дата обращения 2021-09-02)



10. Cyclops in Tennis: Assisted Line Judging Before Hawkeye [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.perfect-tennis.com/cyclops-in-tennis/> (дата обращения 2021-10-01).

11. ITF [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.itftennis.com/en/> (дата обращения 2021-10-05).