[Глава I. Цель и задачи исследования 1](#_Toc12103)

[1 Современные технологии в бадминтоне 1](#_Toc23457)

[2 Постановка проблемы 3](#_Toc8081)

[3 Анализ статистических данных 4](#_Toc25526)

[4 Выбор решения проблемы 13](#_Toc26263)

[4.1 Лучевые и проводные системы 13](#_Toc12923)

[4.2 Системы компьютерного зрения 15](#_Toc18923)

[4.3 Система на велостате 15](#_Toc26677)

[5 Анализ применимости материала Velostat 16](#_Toc7609)

[5.1 Анализ чувствительности 17](#_Toc20853)

[5.2 Анализ быстродействия 20](#_Toc26906)

[5.2 Анализ точности 20](#_Toc14996)

Глава I. Цель и задачи исследования

1 Современные технологии в бадминтоне

Множество современных устройств не только упрощают нашу повседневную жизнь, но и помогают во многих сферах деятельности — медицине, инженерии, спорте, финансах и прочих. В спорте в том числе. Уже сложно представить просмотр теннисного матча без вызовов систем автоматического контроля линий (automatic line-calling system, ALC system). Hawk-eye (Хок-ай, Ястребиный глаз) помогает судьям принять решение при спорных ситуациях, моделируя полет игрового снаряда.

Используются технологии и в тренировочном процессе, не только упрощая его, но и делая более интересным для спортсменов. Особой популярностью пользуются умные часы — они позволяют измерить пульс, засечь время, а также собрать различную статистику, к примеру, сколько километров человек пробежал за тренировку. Таким образом, тренировочный процесс не превращается в однообразную рутину и приобретает соревновательный характер — полученные результаты можно сравнивать с результатами товарищей.

В бадминтоне на тренировках также иногда можно увидеть специализированные пушки для подачи воланов, подобно той, что представлена на рисунке 1. Они не только позволяют имитировать удары, но и позволяют спортсменам проводить «многоволанки» в одиночку, не привлекая второго игрока, набрасывающего волан. Однако стоимость большей части моделей подобного устройства превышает 100 тыс. рублей, что делает его трудно доступной для частных лиц [Topshin].



Рисунок 1 — Бадминтонная пушка SIBOASI модель B2000

Находят свое применение и различные новинки инженерии. Так, технологии дополненной реальности могут применяться в тренировочном процессе для отработки тактик [Коновалов]. Тренер прямо во время игрового процесса подсказывает спортсмену, куда лучше переместиться или ударить, позволяя наработать навык планирования игры, который крайне важен в таких высокоскоростных видах спорта, как бадминтон.

Как уже было видно выше, в спорте могут использоваться не только специализированные технологии, но и те изобретения, которые активно применяются в других сферах. Так, одним из известных примеров областей, где можно встретить окулографию, является UI/UX тестирование. Используется айтрекинг и в бадминтоне. С помощью него можно отследить, куда направлен взгляд спортсмена, и в случае необходимости тренировками расширить поле зрения [The Tech Race].



Рисунок 2 — Использование окулографии в тренировках

2 Постановка проблемы

Хорошего спортсмена отличает не только отличная физическая подготовка, но и умение продемонстрировать все свои навыки на соревнованиях. Однако часто сложно выложиться на свой максимум, и причины этому бывают самые разные, начиная с недосыпа из-за волнения и заканчивая болезнями.

Важно не только подготовить себя перед игрой, но хорошо выступить в процессе. Но возникает проблема, свойственная не только начинающим, но и многим опытным спортсменам — волнение. Именно оно зачастую становится преградой на пути к победе, из-за нервов человек просто не может сосредоточиться на игре.

С волнением все справляются по-разному — кто-то пьет успокоительные, кто-то больше времени уделяет размике. Редких счастливчиков эта проблема обходит стороной, а наиболее опытные научились справляться с эмоциями и направлять их в нужной русло.

Однако, помимо волнения, существует и другая проблема — потеря концентрации. Особенно она прослеживается в высокоскоростных видах спорта, которые требуют мгновенного принятия решений. Спортсмену приходится не только следить за своей техникой, но и за действиями соперника, на ходу меняя тактику, подстраиваясь под игру. Неудивительно, что после самых напряженных моментов человек устает не только физически, но и морально. После этого в партии часто могут наступить «провалы», когда спортсмен теряет много очков часто из-за самых простых ошибок. И хорошо, если он сможет прийти в себя и вернуться в игру. Но многие партии были проиграны именно из-за такой нестабильности.

Тренировочный процесс никогда не сможет сымитировать соревновательный, несмотря на возможность проведения игровых тренировок — подсознательно человек будет понимать, что на кону не стоит первенство, что это лишь очередная отработка навыков. Однако на тренировке также можно встретить проблему потери концентрации. Спортсмен может отвлечься на какие-то свои мысли и, не уделив достаточного внимания занятию, неправильно поставить себе какой-либо удар. А это в потенциале может привести к большим проблемам — переучить человека куда сложнее, чем обучить его чему-то новому.

В видах спорта, подобных теннису и бадминтону, правильность выполнения того или иного удара может определяться попаданием его в игровую зону. И, если волан или мяч летят в сетку, то это легко определить, но в залах со старой разметкой или в ходе продолжительной тренировки (когда лежащие на полу снаряды могут заслонять обзор) вопрос попадания в поле или аут может стоять наиболее остро. А во время статической отработки ударов (без перемещения человека по площадке) отвлечься на что-либо другое бывает очень легко.

Учитывая имеющиеся проблемы, легко поставить задачу разработки устройства, которое:

1. Сможет отслеживать попадание игрового снаряда в поле или в аут;
2. Сможет оповестить спортсмена при большом количестве аутов подряд.

3 Анализ статистических данных

Описанные выше проблемы возможно подкрепить собранными данными. Было проведено два опроса. В первом из них определялось общее отношение людей к современным технологиям в спорте и бадминтоне в частности. В опросе приняли участие 30 человек, их распределение по полу и возрасту представлено на рисунках 3-4. Большая часть респондентов — представители женского пола, в опросе принимали участие люди от 18 до 39 лет.

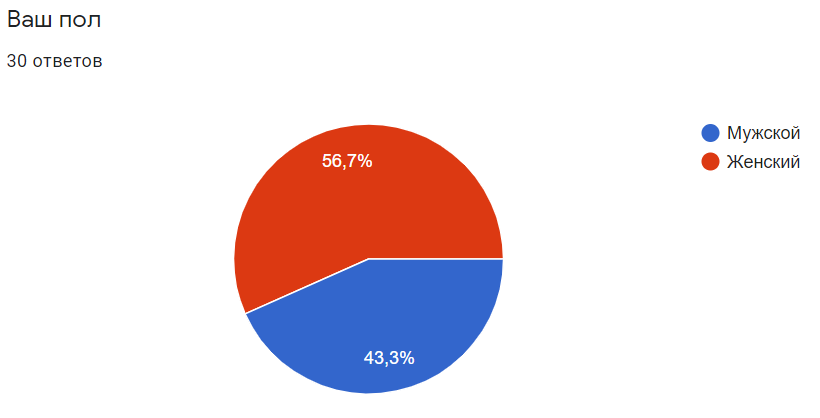


Рисунок 3 — Распределение респондентов по полу

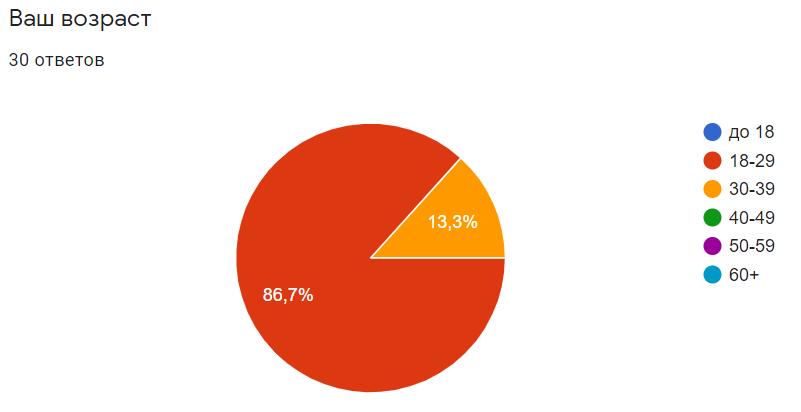


Рисунок 4 — Распределение респондентов по возрасту

Из опрошенных большая часть (26 человек из 30) занималась или занимается бадминтоном, что представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 — Распределение респондентов по вовлеченности в бадминтон

При этом меньшая часть опрошенных считает уровень использования технологий в спорте достаточным, распределение представлено на рисунке 6.



Рисунок 6 — Распределение респондентов по вопросу, считают ли они уровень используемых технологий в спорте достаточным

Далее респондентам был предложен список из наиболее популярных тренировочных технологий:

* Автоматические системы контроля линий компьютерного зрения (Hawk-eye, Foxtenn).
* Лучевые автоматические системы контроля линий (Циклоп).
* Проводные автоматические системы контроля линий (TEL).
* Системы видео повторов.
* Окулография (отслеживание движения глаз).
* Дополненная реальность (AR).
* Виртуальная реальность (VR).
* Спортивные тренажеры (беговые дорожки, велотренажеры и проч.).

Из указанных выше технологий респондентам предлагалось выбрать те, о которых они слышали или использование которых видели. Результаты представлены на рисунках 7-8.



Рисунок 7 — Ответы респондентов на вопрос знания спортивных технологий

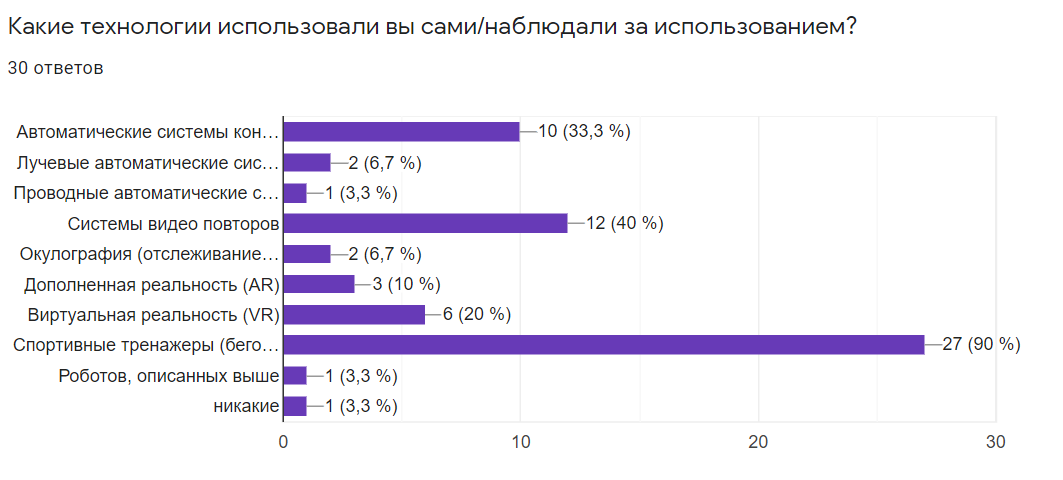


Рисунок 8 — Ответы респондентов на вопрос применения спортивных технологий

Повсеместная доступность тренажеров (не только в спортивных залах, но и на специально оборудованных площадках) определяет их лидерство. Известность видео повторов и автоматических систем контроля линий по типу Hawk-eye подтверждает то, что современные спортивные матчи, транслирующиеся по телевидению или сети интернет, уже невозможно представить без использования этих технологий.

Однако результаты опроса, представленного на рисунке 9, показывают что, несмотря на активное использование технологий на соревнованиях, в тренировочном процессе они не используются в достаточном количестве.



Рисунок 9 — Распределение респондентов по вопросу, считают ли они активность использования технологий в тренировочном процессе достаточной

Из устройств, наиболее часто используемых самими респондентами, абсолютным лидером стали «умные» часы (упомянуты в 11 письменных ответах из 24). Доступная цена, широкий спектр использования, включающий себя измерение пульса, отслеживание пройденного за день расстояния, а также удобство являются неоспоримыми преимуществами данного устройства, которые обуславливают его популярность.

Абсолютное большинство респондентов, как представлено на рисунке 10, считают, что технологии помогают разнообразить тренировки и сделать их более интересными.



Рисунок 10 — Распределение респондентов по вопросу, считают ли они , что применение технологий способно разнообразить тренировки

Результаты данного опроса показывают, что разработка новых устройств для спортивных тренировок является перспективным направлением деятельности.

Второй опрос был признан выявить, действительно ли проблема потери концентрации является большой проблемой для бадминтонистов.

В опросе приняло участие 24 человека в возрасте от 18 до 40 лет. Распределение опрошенных по полу и возрасту представлены на рисунках 11 и 12.

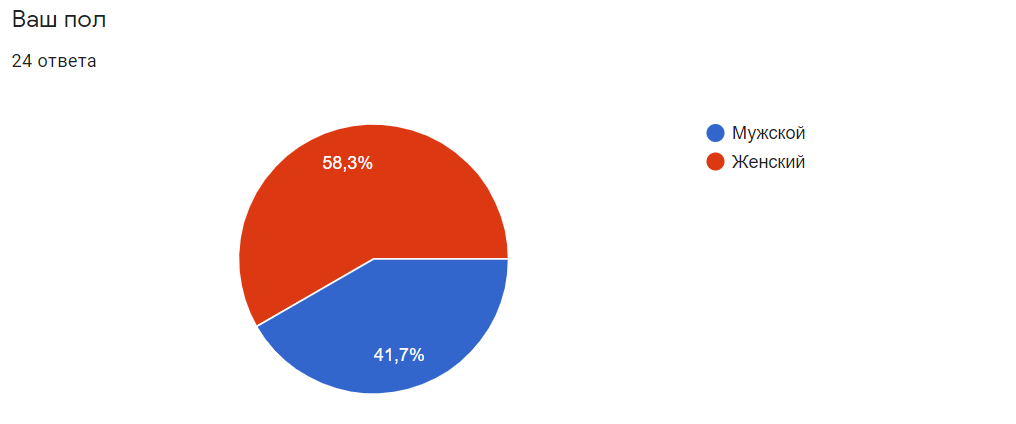


Рисунок 11 — Распределение респондентов-бадминтонистов по полу

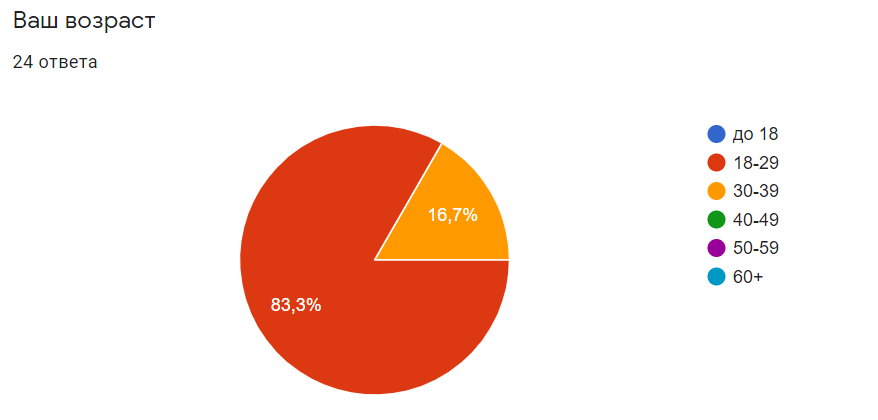


Рисунок 12 — Распределение респондентов-бадминтонистов по возрасту

Из них половина занимается данным видом спорта от 8 до 15 лет, еще 41,7% — больше 15 лет, что представлено на рисунке 13.

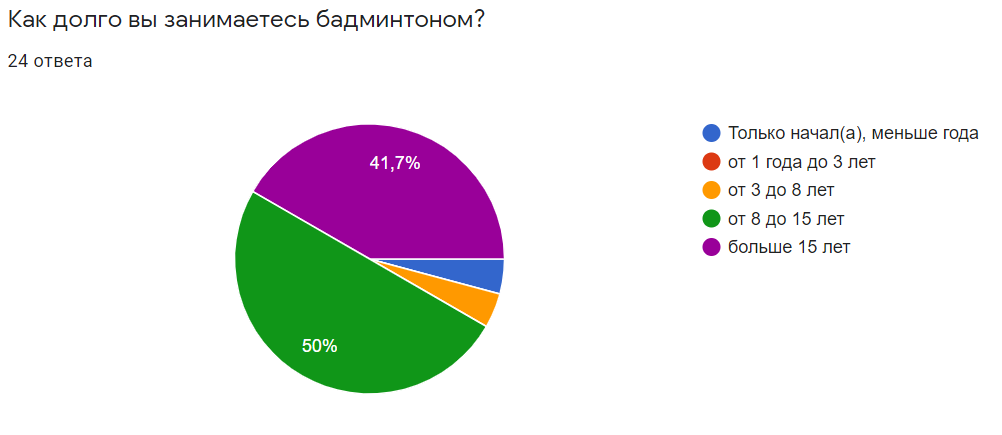


Рисунок 13 — Распределение респондентов-бадминтонистов по опыту игры

Большая часть из опрошенных когда-то занималась профессионально (принимало активное участие в соревнованиях), примерно треть занималась профессионально на момент опроса, распределение представлено на рисунке 14..

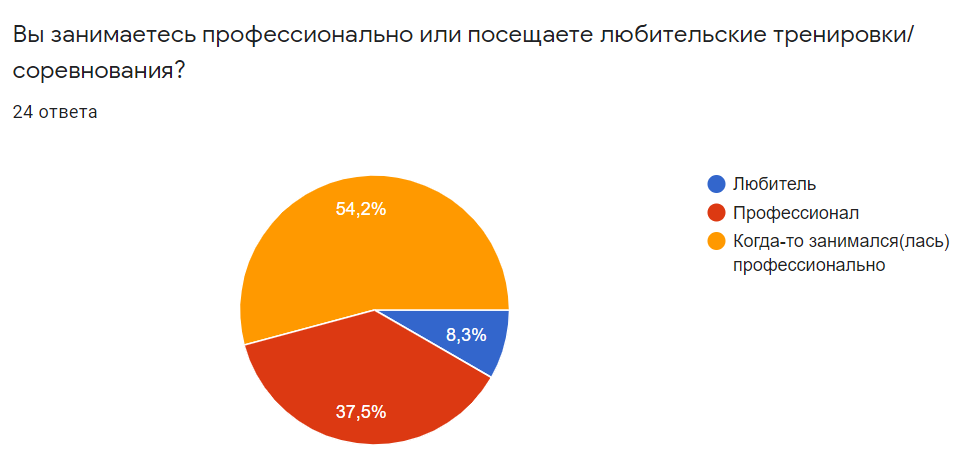


Рисунок 14 — Распределение респондентов-бадминтонистов по степени вовлеченности в данный вид спорта

Из опрошенных только один человек указал, что не сталкивался с проблемой потери концентрации, что представлено на рисунке 15.



Рисунок 15 — Распределение респондентов-бадминтонистов по частоте столкновения с проблемой потери концентрации

Как видно из рисунка 16, абсолютное большинство при этом сталкивается с данной проблемой не только во время соревнований, но и во время тренировок.



Рисунок 16 — Распределение респондентов-бадминтонистов по месту столкновения с проблемой потери концентрации

Все опрошенные отметили, что, потеря концентрации негативно сказывалась на уровне их игры. При этом большая часть отмечает причиной потери концентрации не столько физическую, сколько ментальную усталость, а также отвлечение мыслей от происходящего на игровой площадке, что представлено на рисунке 17.



Рисунок 17 — Ответы респондентов-бадминтонистов на вопрос о причинах потери концентрации

Наконец, как представлено на рисунке 18, большая часть респондентов пытается справится с проблемой своими силами. Части опрошенных вернуться к игре помогают замечания или сигналы тренера, напарника.



Рисунок 18 — Ответы респондентов-бадминтонистов на вопрос о способах решения проблемы потери концентрации

Таким образом, решение проблемы потери концентрации внимания действительно актуально и может помочь спортсменам при подготовке.

4 Выбор решения проблемы

Когда возникает необходимость в определении, попал игровой снаряд в поле или в аут, люди обычно обращаются к автоматическим системам контроля линий или 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 4.1 и 4.2 ниже)[].

4.1 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 19.

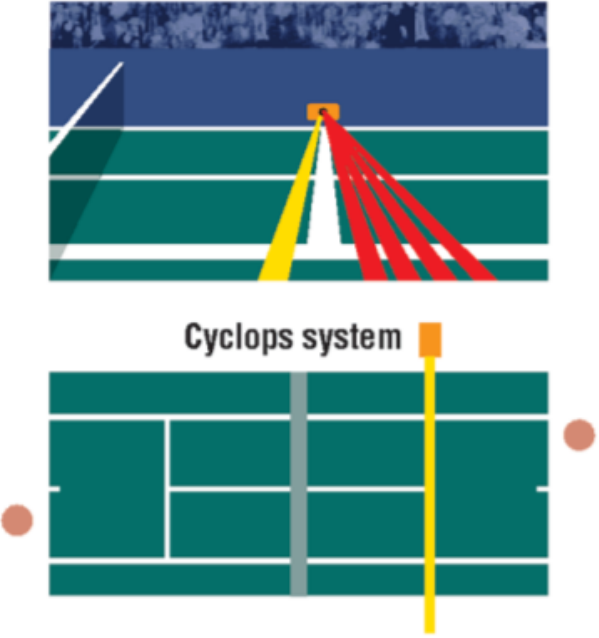


Рисунок 19 — Принцип работы системы Циклоп

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 также 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 довольно 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.

4.2 Системы компьютерного зрения

Эпоха расцвета для ALC систем пришла с появлением систем компьютерного зрения. Предшественником системы Hawk-eye была система AutoRef.

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.

4.3 Система на велостате

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.

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.

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 [Badminton: How], что делает его модификацию затруднительной (для сравнения, вес мяча для большого тенниса должен 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, но 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 [Портал магистров]. 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 с ebay.com) 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.

Среди действующих тренеров по бадминтону были проведены опросы, поможет ли, на их взгляд, подобный мат решить проблему потери концентрации среди спортсменов. Описание разработки было встречено положительно, большинство выразило готовность помочь в разработке путем использования макетов во время тренировок, предоставлением обратной связи, а также рассмотрением возможности применения готового продукта в индивидуальных программах подготовки спортсменов.

5 Анализ применимости материала Velostat

Для исследования применимости необходимо было собрать макетный образец устройства. Он состоит из двух частей — самого мата и микроконтроллера, определяющего его поведение.

Подробное описание разработки макетного образца и описание принципов его работы представлено в части 2.

5.1 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:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

где — значение напряжения на аналоговом входе, — значение, полученное с аналогового входа (от 0 до 1023), — 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 20.

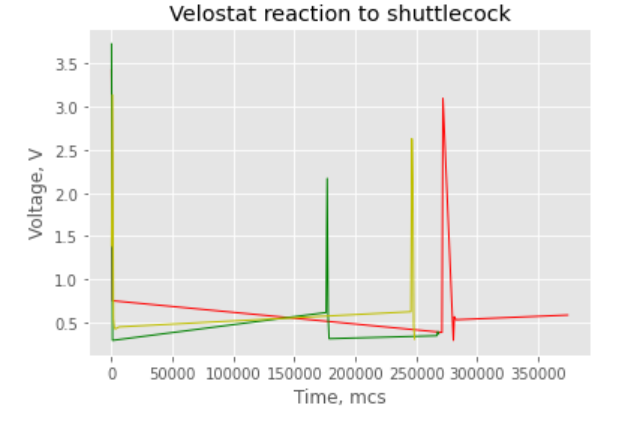


Рисунок 20 — Реакция материала на падение волана

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 21-22.

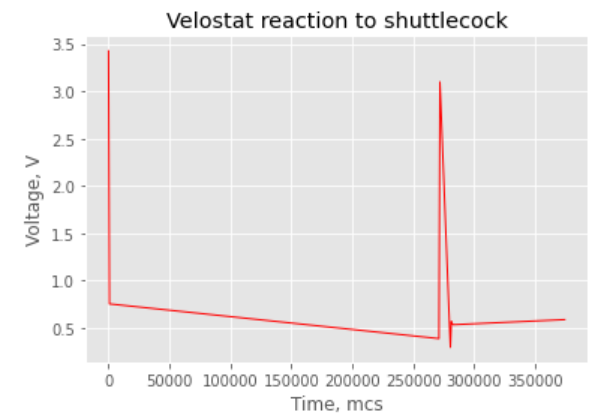


Рисунок 21 — Анализ чувствительности. Эксперимент 1

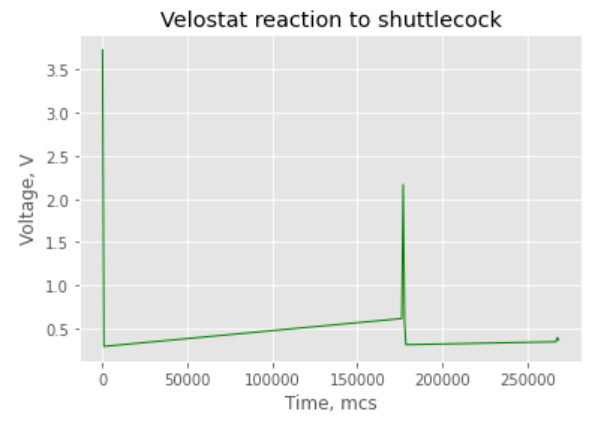


Рисунок 22 — Анализ чувствительности. Эксперимент 2

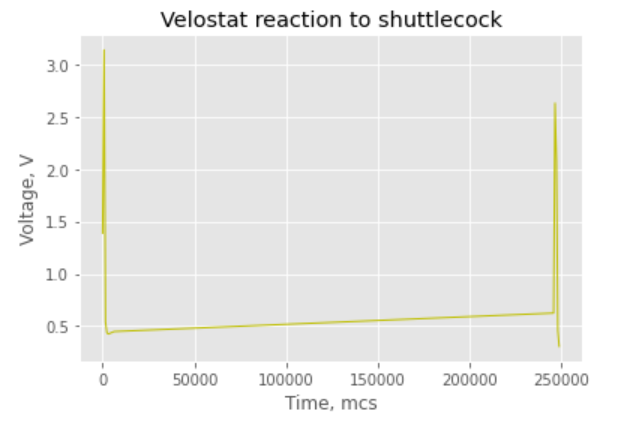


Рисунок 23 — Анализ чувствительности. Эксперимент 3

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

5.2 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 5.1, можно сделать вывод, что вероятность пропуска волана мала — частота попаданий волана не будет превышать допустимую, чтобы попасть в окно отправки данных на внешнее устройство .

5.2 Анализ точности

В основе мата находится сетка 16х16 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.

Глава II. Программная и аппаратная части системы

1 Аппаратная часть

1.1 Принцип работы аппаратной части

В аппаратной части системы контроля попадания волана в заданную зону можно выделить две основные части — устройство, состоящее из микроконтроллера и других микросхем, и датчик давления, созданный на основе материала Velostat и меди.

В данном устройстве в качестве проводящих слоёв была использована медная лента. Сам мат представляет из себя следующее: лист материала Velostat располагается между рядами лент из меди. К ним припаиваются провода. К одному слою поступает питание, провода со второго слоя поступают на аналоговые входы собранной схемы.

Общая схема мата выглядит примерно так, как показано на рисунке 2.1.

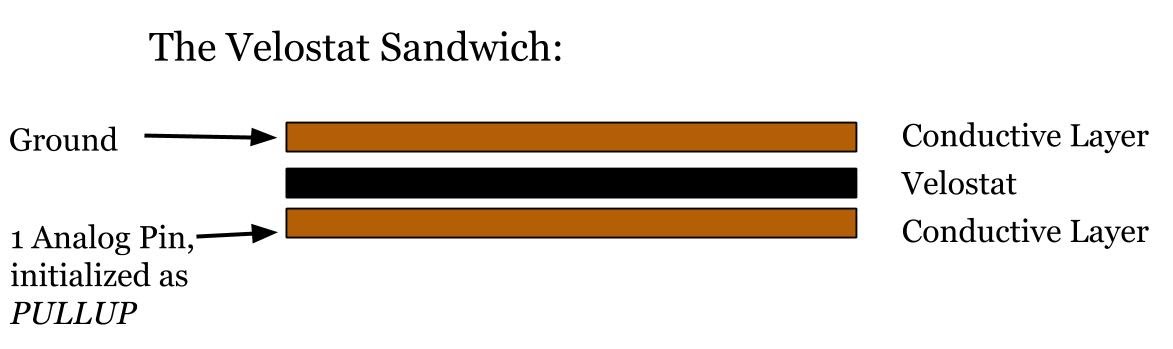
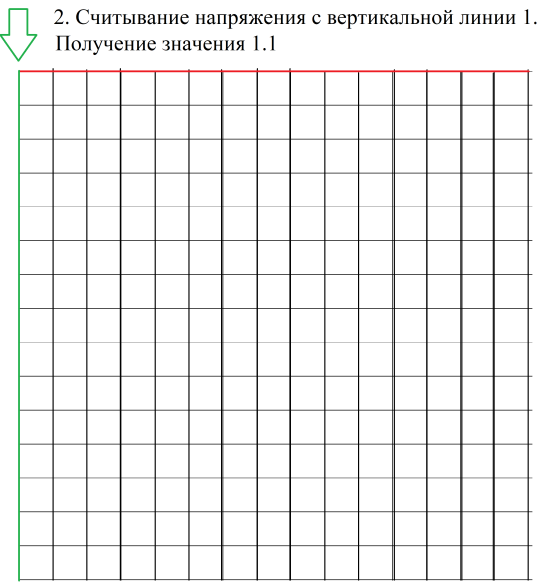
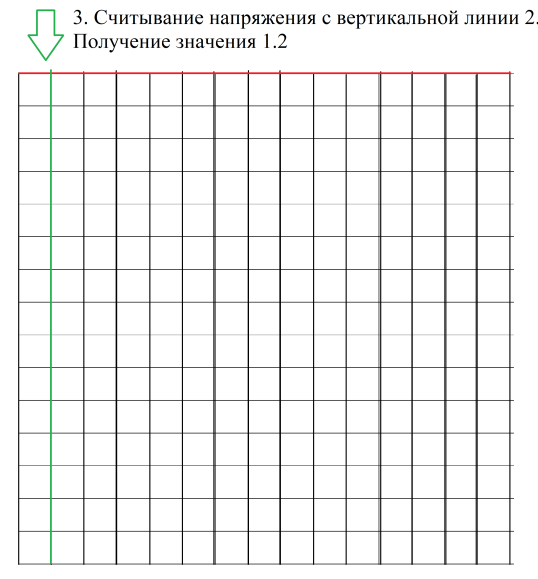
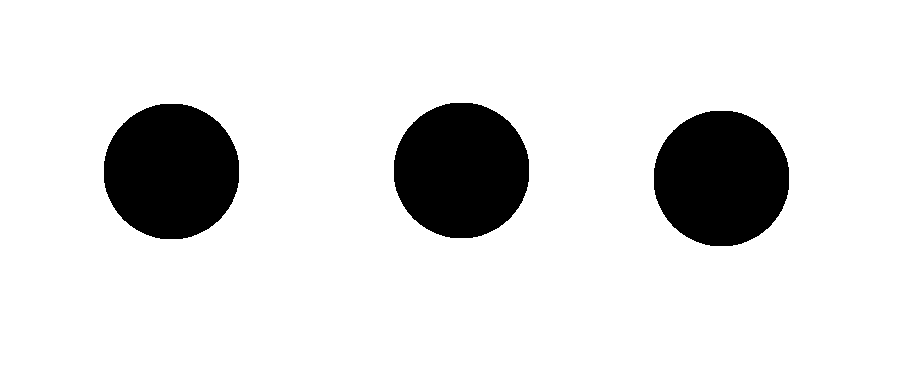


Рисунок 2.1 — Основа мата

Принцип работы заключается в следующем. С платы микроконтроллера с помощью подачи напряжения на цифровые выходы производится выборка текущей горизонтальной линии, которая будет подключена к питанию. Затем производится последовательная выборка 16-ти вертикальных линий. Если к мату приложено давление, в одной из этих точек напряжение будет ненулевым.

Данная выборка производится для всех горизонтальных линий, на которые последовательно подается напряжение. Если изображать схематически, весь процесс выглядит так, как представлено на рисунке 2.2.





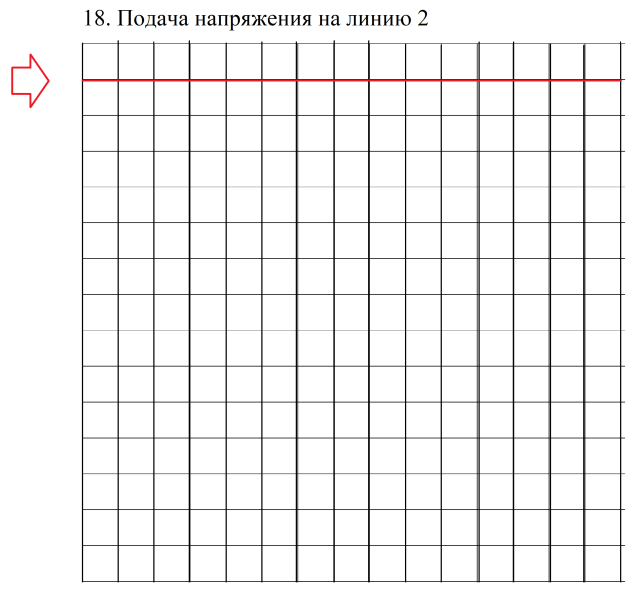
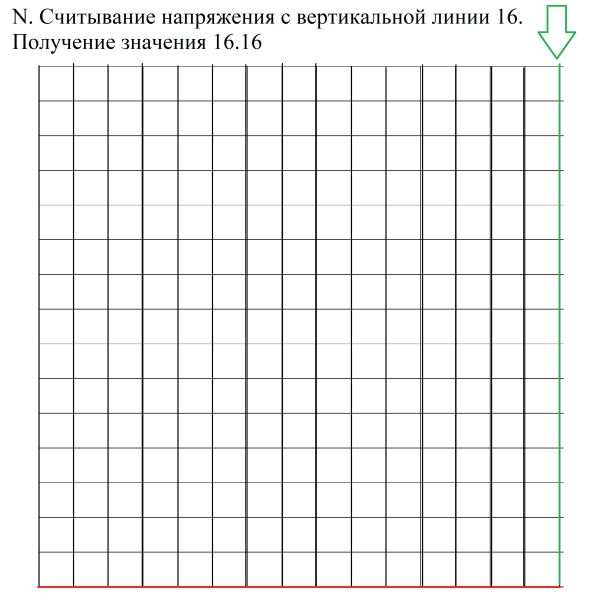
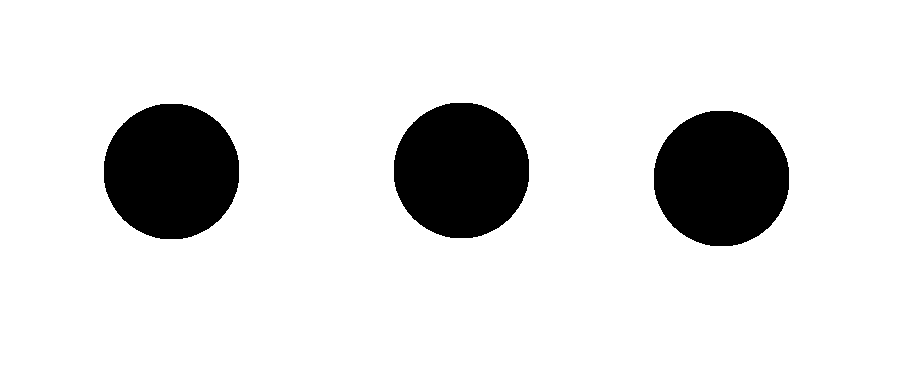


Рисунок 2.2 — Выборка точек