

DOI: 10.21122/2220-9506-2026-17-1-39-53

Семейство электронных стрелковых тренажёров «СТрИж»: разработка макетов и исследование погрешности тренажёра начального уровня

С.Ф. Егоров

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук,
ул. имени Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск 426067, Россия

Поступила 29.07.2025

Принята к печати 23.12.2025

Разработка стрелковых электронных тренажёров (т.е. для ручного оружия и не использующих боеприпасы) является важной задачей, т. к. производство любого вида стрелкового вооружения, согласно нормативным документам, требует и производства тренажёра для привития навыков прицеливания и стрельбы. Разрабатываемое семейство электронных стрелковых тренажёров «СТрИж» включает три общедоступных уровня для самостоятельной сборки: начальный, базовый и виртуальный. Приведены структурные схемы регистраторов точки прицеливания и имитаторов оружия начального уровня и разработана методика самостоятельной сборки тренажёра из общедоступных компонент: ноутбук, веб-камера, макеты оружия, ИК-светодиоды. Разработаны конструкции нескольких типов датчиков спускового крючка с рекомендацией использовать сенсорную кнопку (особенно для автомата). Предложены новые подходы к оценке погрешности математических моделей регистраторов точки прицеливания и проверены в том числе и новые модифицированные математические модели с целью минимизации количества тарировочных точек, что актуально при ручной настройке. Проверена инвариантность математических моделей от расстояния стрельбы с помощью второго ИК-диода и коррекции по нему координат, показана её работоспособность в небольшом диапазоне изменения расстояний. Ориентация на начальную стрелковую подготовку требует постоянного отслеживания и анализа траектории прицеливания с выдачей рекомендаций по корректировке хвата-прицеливания-удержания-спуска, а значит и высокоскоростных веб-камер. Проведённые исследования погрешности определения точки прицеливания на четырёх типах макетов тренажёра показали, что субъективная составляющая (глазомерный способ прицеливания при тарировке и при проверке) вносит самый существенный вклад в погрешность и рекомендуется тарировку макета проводить только опытным пользователям обязательно с упора и используя сенсорный датчик спускового крючка.

Ключевые слова: точка прицеливания, регистратор точки прицеливания, спусковой крючок, свал, срыв

Адрес для переписки:

Егоров С.Ф.
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
ул. имени Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск 426067, Россия
e-mail: stos.mitm@mail.ru

Address for correspondence:

Egorov S.F.
Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences,
T. Baramzina str., 34, Izhevsk 426067, Russia
e-mail: stos.mitm@mail.ru

Для цитирования:

С.Ф. Егоров.
Семейство электронных стрелковых тренажёров «СТрИж»:
разработка макетов и исследование погрешности тренажёра
начального уровня.
Приборы и методы измерений.
2026. Т. 17. № 1. С. 39–53.
DOI: 10.21122/2220-9506-2026-17-1-39-53

For citation:

Egorov S.F.
Electronic Shooting Simulator Family "STrIzh": Development
of Mock-Ups and Investigation of the Initial Level Simulator Error.
Devices and Methods of Measurements.
2026;17(1):39–53. (In Russ.).
DOI: 10.21122/2220-9506-2026-17-1-39-53

DOI: 10.21122/2220-9506-2026-17-1-39-53

Electronic Shooting Simulator Family "STrIzh": Development of Mock-Ups and Investigation of the Initial Level Simulator Error

S.F. Egorov

*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
T. Baramzina str., 34, Izhevsk 426067, Russia*

Received 29.07.2025

Accepted for publication 23.12.2025

Abstract

Development of rifle electronic simulators (i.e. for hand weapons and not using ammunition) is an important task, since the production of any type of small arms, according to regulatory documents, also requires the production of a simulator to instill aiming and firing skills. The developing family of electronic shooting simulators "STrIzh" includes three publicly available levels for self-assembly: initial, basic and virtual.

Structural diagrams of aiming point recorders and entry-level weapon simulators are given and a technique for self-assembly of the simulator from publicly available components is developed: laptop, webcam, weapon models, infrared LEDs. Several types of trigger sensors have been developed with a recommendation to use a touch button (especially for a machine gun). New approaches to estimation of mathematical models' error for aiming point recorders are proposed and new modified mathematical models are also tested in order to minimize the number of calibration points which is important during manual adjustment. Invariance of mathematical models from the firing distance using the second infrared LED and correction of coordinates by using this LED was checked, its performance in a small range of distance changes was shown. Orientation to initial shooting training requires constant tracking and analysis of the aiming trajectory with the issuance of instructions for adjusting the grip-aiming-holding-descent, and therefore high-speed webcams. The studies of the error in determining the aiming point for four types of mock-ups of the simulator showed that the subjective component (the ocular method of aiming during calibration and verification) makes the most significant contribution to the error and it is recommended that the calibration of the mock-up be carried out only by experienced users necessarily from the stop and using the trigger sensor.

Keywords: target point target point determiner, trigger, pile, failure, error

Адрес для переписки:

Егоров С.Ф.
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
ул. имени Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск 426067, Россия
e-mail: stos.mitm@mail.ru

Address for correspondence:

Egorov S.F.
Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences,
T. Baramzina str., 34, Izhevsk 426067, Russia
e-mail: stos.mitm@mail.ru

Для цитирования:

С.Ф. Егоров.
Семейство электронных стрелковых тренажёров «СТрИж»:
разработка макетов и исследование погрешности тренажёра
начального уровня.
Приборы и методы измерений.
2026. Т. 17. № 1. С. 39–53.
DOI: 10.21122/2220-9506-2026-17-1-39-53

For citation:

Egorov SF.
Electronic Shooting Simulator Family "STrIzh": Development
of Mock-Ups and Investigation of the Initial Level Simulator Error.
Devices and Methods of Measurements.
2026;17(1):39–53. (In Russ.).
DOI: 10.21122/2220-9506-2026-17-1-39-53

Введение

Разработка стрелковых электронных тренажёров (т. е. для ручного оружия и не использующих боеприпасы) является важной задачей, т.к. производство любого вида стрелкового вооружения, согласно нормативным документам, требует и производства тренажёра для привития навыков прицеливания и стрельбы. Электронный стрелковый тренажёр (СТ), безусловно, обладает большими функциональными возможностями и благодаря постоянному совершенствованию и удешевлению общедоступных электронных компонент исследование собранных из них регистраторов точки прицеливания и имитаторов оружия для широкого использования является актуальной задачей, обладающей практической ценностью [1–10].

С учётом опыта разработки, модификации и внедрения профессионального СТ «Ингибитор» (индекс 1У33) [11–14] проводится разработка и исследования по общедоступному семейству СТ «СТрИж» [15] с начальным, базовым и виртуальными уровнями реализации. Возможность самостоятельно собрать стрелковый тренажёр из общедоступных компонент (ноутбук, веб-камера, макеты оружия, ИК-светодиоды, проектор, лазерные излучатели, HD-камера, виртуальные шлемы, смартфоны) должна способствовать их широкому использованию. Анализировались зарубежные источники в области регистраторов точки прицеливания (РТПр) [16–19] и имитаторов оружия (ИО) [20–22].

Целью работы являлась разработка методики сборки конструкции СТ начального уровня (НУ) семейства «СТрИж» и оптимизация математических моделей РТПр, а также разработка конструкций ИО с контролем спускового крючка и исследование полученного макета СТ НУ на точность с анализом технологичности. Под технологичностью СТ НУ понимается простота и удобство самостоятельной сборки, настройки и эксплуатации.

Методика сборки тренажёра начального уровня

Принцип работы СТ НУ основан на распознавании на изображениях с веб-камеры со светофильтром, установленной на ИО, пятен

от реперных ИК-диодов у экрана дисплея с мишенной обстановкой (рисунок 1, возможно конфигурация только с ноутбуком) с определением координат точки прицеливания (ТПр) по математическим моделям (ММ) и с передачей сигнала со спускового крючка ИО через микрофон веб-камеры (или через микрофонный вход ноутбука). ММ требуют ежедневной ручной тарировки из-за не полной инвариантности изображений «пятна» репера от места стрельбы (из-за изменения ракурса веб-камеры) и особенно от дальности и от стабильности аппаратной сборки СТ (второй репер как раз даёт условную инвариантность и позволяет контролировать свал ИО). В СТ НУ возможна реализация имитации отдачи на ИО на вибро-моторчике (на стволе) или пружинном механизме, но это не обязательно и будет рассмотрено в следующей статье цикла.

Требования точности РТПр НУ 0,6–1,5 тысячных дальности (т.д.) и быстродействия 15–60 Гц (кадр/сек) [15] связаны с ориентацией СТ НУ на начальную подготовку и только на ИО пистолет Макарова (ПМ, у которого срединное отклонение пуль 1,8 т.д.) и автомат Калашникова (АК, с 0,4...0,6 т.д.), т. е. их баллистическое случайное рассеивание примерно такого же порядка, как и предел погрешности РТПр стрелкового тренажёра начального уровня.

Итак, методика самостоятельной сборки СТ НУ включает:

1. Изготовление рейки (уголка) под/на дисплей (или телевизор вместо дисплея или ноутбук в одноэкранной конфигурации, рисунок 1) с двумя ИК-диодами (излучение которых не видно человеческим глазом) с питанием от аккумуляторов ($U = 3,3\text{--}4,2\text{ В}$) или порта USB ($U = 5\text{ В}$, если на ноутбук) через сопротивления (подбираются по токовым характеристикам ИК-диодов I_d , как правило $R = 20\text{--}200\text{ Ом}$): $R = U/I_d$. Доступные ИК-диоды (например, из пульта дистанционного управления) узко направлены, поэтому строгая перпендикулярность крепления имеет большое значение для точности выделения реперов (влияет на яркость их изображений).

2. За основу ИО берётся макет или даже игрушечное оружие и утяжеляется до реального образца с выдерживанием центра тяжести (так вес ПМ 810 г, АК 3,6 кг и др., но надо вычесть вес веб-камеры), желательны реалистичные по ощущениям места хвата

(ручка, цевье) и прицельные приспособления с металлическим спусковым крючком. Усилие нажатия крючка должно быть для АК 15–25 Н, для ПМ со взведенным курком 15 Н (без – 35 Н) – корректируется пружиной. Реалистичный спусковой крючок – самый технически сложный узел для самостоятельной сборки, он должен отрабатывать начальный свободный ход, а потом усилие снятия взведённого курка, но на большинстве игрушечных изделий с пружинным механизмом это уже реализовано, даже с некоторой имитацией отдачи (апостериорного сбивания линии прицеливания, практически не влияющего на текущий выстрел). Планируется разработка отдельного блока «спусковой крючок», который отрабатывает все эти усилия и содержит датчики свала (бокового наклона) и срыва (дерганья) и включаемый в USB-разъём. Допустимы и доработанные реалистичные изделия для пневматических тиров, страйкбола (пейнтбола, орбибола), где механизм отдачи на сжатом воздухе практически встроен (хотя и требует некоторой доработки).

3. Под стволом ИО крепится веб-камера с пропуском провода, например, через магазин (необходимо для механической развязки веб-камеры от случайных воздействий на провод при эксплуатации), иногда удобнее крепить камеру «вверх ногами», что допустимо, но требует специальной пометки в настройках программного обеспечения (ПО) СТ. Обязательно требуется светофильтр плотности, например, как показали исследования из одной-двух слоёв

проявленных фотоплёнок для подавления паразитных засветок. Крепление за ствол может перекрыть линию прицеливания (например, для ПМ), поэтому можно крепить веб-камеру к скобе спускового крючка. Кабеля веб-камеры может не хватить до ноутбука, поэтому необходимо использовать USB удлинитель (некоторые удлинители могут снижать напряжение питания и вносить помехи в сигнал, ориентируйтесь на порт USB 3.0). Возможно постоянное встраивание платы разобранной веб-камеры в ИО, при этом рекомендуется извлечь ИК-фильтр с матрицы и использовать в качестве светофильтра уже более оптически плотную засвеченную фотоплёнку, что улучшает выделение реперов, так как такая плёнка пропускает только ИК-лучи. Итак, именно фотоплёнка является доступным фильтром плотности, но пропускающим ИК-лучи. Подбирать количество слоёв плёнки-фильтра надо так, чтобы паразитных засветок на изображении не было вообще, а яркость реперных меток была не в насыщении, но позволяющая легко их идентифицировать на чёрном фоне (в этом должно помочь ПО СТ). Основные проблемы – динамическое размывание пятна от репера при резком движении имитатора и разная яркость от двух реперных диодов, но для начального обучения это не критично. При креплении веб-камеры надо убедиться, что оба репера попадают в кадр с запасом по краям при прицеливании по периметру экрана, иначе надо сместить крепление камеры или увеличить рабочее расстояние до экрана.

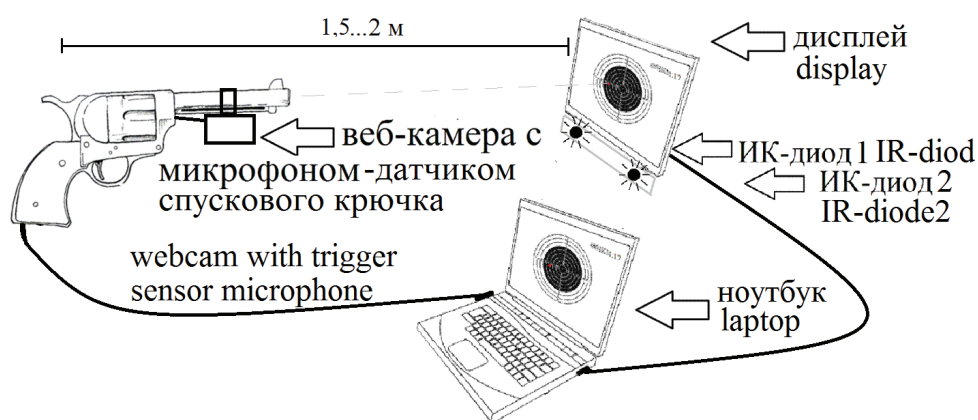


Рисунок 1 – Структура стрелкового тренажёра начального уровня

Figure 1 – Structure of the entry-level shooting simulator

4. Встраивается в ИО датчик спускового крючка (например, кнопка под крючок, см. далее). Самое технически сложное действие: необходимо выставить пружиной усилие нажатия как оригинала ИО (субъективно или прибором), планируется отдельная внешняя конструкция (в следующих статьях цикла). Но лучше параллельно крючку поставить одиночный контакт с автоматическим нажатием его пальцем (правильное нажатие крючка – это первым сгибом указательного пальца и подушечка как раз должны замкнуть контакт сбоку в момент спуска). Это лучший датчик на сенсорной кнопке (особенно для автоматической стрельбы, т. к. фиксирует удержание крючка). Контакт подаётся на микрофонный вход ноутбука (или на микрофон веб-камеры, что требует небольшого вмешательства в её конструкцию), а границы сигнала при срабатывании такого датчика настраиваются в ПО.

5. Подключаются все компоненты СТ НУ (рисунок 1) к ноутбуку с ПО и тарируется ММ РТПр [14] с автоматизированной (т. е. с участием и оценкой человеком) настройкой всех остальных параметров в диалоговых окнах (ПО СТ будет описано в следующих статьях цикла). Тарировка заключается в условной стрельбе по 3 раза с усреднением в 9 тарировочных точек (ТТ), расположенных 3×3 равномерно по экрану, и еще в левый реперный диод, далее автоматически выбирается ММ и рассчитываются её параметры. Иногда необходимо заклеить все горящие светодиоды питания/режимов (ноутбук, дисплей, «мышь» и др.), попадающие в поле обзора камеры (проверяется визуально), и исключить паразитные засветки (закрыть все темной тканью вокруг дисплея). Оптимальным расстоянием от глаза до экрана является 1,5–2 м (1–1,5 м от камеры до экрана), когда угловые размеры дисплея ещё позволяют выполнять многие упражнения и чувствительность камеры позволяет надежно фиксировать два репера с углом обзора по всему полю мишенной обстановки (а это дисплей/ноутбук шириной ≈ 35 –60 см, но можно использовать и широкоформатный телевизор на максимуме расстояния в 5 м).

Таким образом, перед эксплуатацией СТ НУ при тарировке ММ РТПр необходимо оценить и неравномерность яркости матрицы камеры (освещения), размеры и яркости изображений

реперов (для надёжности их идентификации, см. далее) и качество светофильтра плотности (должны быть видны только реперы, но по всему полю), что осуществляется в автоматизированном режиме (т. е. с подтверждением человеком). После чего необходимо настроить датчик спускового крючка на границу срабатывания по сигналу и по эталонному усилию нажатия (плавному), если выбрана соответствующая конструкция датчика (см. далее). А эксплуатация на начальном уровне подготовки фактически сводится к постоянному отслеживанию траектории прицеливания (с частотой 15–60 Гц) и при «выстреле» отображению траектории как минимум за 1,5 с до и после с оценкой устойчивости удержания ИО.

Исследование конструкций спускового крючка

Предлагаются несколько конструкций датчика спускового крючка:

1. Используется микрофон веб-камеры, улавливающий звук механического спуска курка (например, щелчок курка по бойку на «Макарыче» – макете ПМ), для большей надёжности фиксации щелчка рекомендуется механическая развязка микрофона и корпуса ИО через гасящую вибрацию прокладку (чтобы колебания корпуса от курка не доходили, так на «Макарыче» взвод курка может фиксироваться как выстрел). Срыв крючка (дерганье) при этом можно попытаться зафиксировать только по резкому изменению траектории прицеливания после выстрела.

2. Используется механическая кнопка вместо микрофона веб-камеры (требует вмешательства в конструкцию, что не всегда допустимо), но можно использовать внешнюю кнопку на отдельном кабеле микрофонного входа ноутбука (с удлинителем). Из-за конденсатора на микрофонном входе сигнал идёт с задержкой и носит дифференциальный характер (реакция на нажатие и на отжатие кнопки с программной точки зрения одинаковые, но с разными исходными значениями сигнала, рисунок 2а, б). Поэтому определение автоматического режима работы ИО не гарантируется (т. е. в этом случае удержание нажатого спускового крючка для очереди не определяется, что может быть неприемлемо для АК), срыв также не фиксируется.

3. Используется импульсная кнопка (временно замыкается при нажатии и тут же размыкается), что не позволяет определять автоматический режим работы ИО и срыв (рисунок 2с).

4. Используется сенсорная кнопка, когда микрофонный вход (ноутбука или веб-камеры) замыкается на палец (можно через контакт с крючком), даёт более быструю реакцию и позволяет отличать нажатие и отжатие (рисунок 2d, e), гарантируется автоматический режим работы ИО, возможна даже фиксация срыва (по крутизне фронта, но не гарантируется из-за электрической нестабильности системы «человек–микрофон»).

5. Используется датчик на базе бескорпусного манипулятора «мышь» (и даже беспроводного), когда средняя кнопка «мыши» выводится под крючок, позволяет отличить нажатие и отжатие крючка и даже скорость нажатия (срыв), если механически задействовать еще и

колесико «мыши». Камеру оптической «мыши» необходимо заклеить. Из-за габаритов платы рекомендуется только для АК.

6. Использование аналоговой конструкции кнопки – изменяет сопротивление при нажатии от максимума к минимуму, что позволяет оценить срыв по фронту сигнала (так называемое «дерганье» – слишком быстрое нажатие крючка, что считается ошибкой). Используется соленоид (катушка с подвижным сердечником, как в профессиональных тренажёрах [11]) со встроенной пружиной. Используется тензодатчик (изменяет сопротивление при изгибе, требуется термокомпенсация) или датчик Холла (реагирует на изменение магнитного поля). Подобные датчики позволяют оценить скорость нажатия спускового крючка, но требуют электронных схем с усилителями и даже микроконтроллером [11] и не подходят для СТ НУ (но будут рассмотрены в следующих статьях цикла).

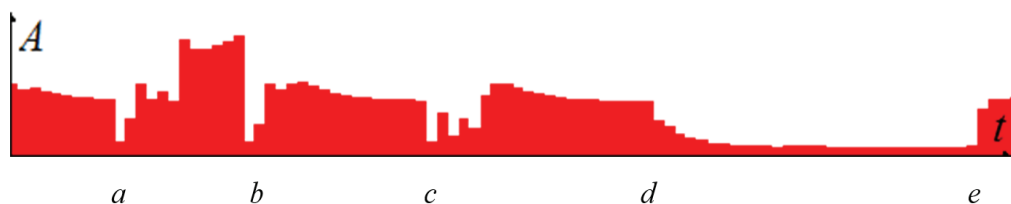


Рисунок 2 – Сигнал A с микрофонного входа с моделями крючка (опрос 50 Гц): a – замыкание кнопки; b – размыкание кнопки; c – импульсный контакт; d – контакт пальцем; e – размыкание пальцем

Figure 2 – Signal A from microphone input with hook models (50 Hz poll): a – closing the button; b – opening the button; c – pulse contact; d – finger contact; e – finger opening

Установка веб-камеры со светофильтром и датчика спускового крючка на ИО являются технически нетривиальными этапами сборки и очень сильно влияют в дальнейшем на эксплуатационную надёжность СТ НУ и даже на точность определения ТПр. Т. е. конструктивно реализации СТ НУ могут несколько отличаться, что и сказывается на их технических характеристиках, стоимости и технологичности сборки и эксплуатации.

Таким образом, самым простым вариантом датчика спускового крючка для СТ НУ по соотношению простота/функциональность является сенсорная кнопка (но без фиксации срыва). В ПО СТ НУ обязательна должна быть настройка границ нажатия спускового крючка и борьба с «дребезгом» контакта (ложными колебаниями сигнала переходного периода, рисунок 2с) через временную задержку анализа. При этом программную задержку на внутрен-

нюю баллистику (≈ 1 мс) вносить не надо при моделировании баллистики выстрела – микрофонный вход инерционен. А самым полноценным датчиком, но и трудоёмким, является датчик на базе платы манипулятора «мышь».

Уточнение математических моделей регистратора точки прицеливания

Исследования ММ РТПр проведены в [15] и выявили оптимальность ММ № 5 (частичный полином до 4 степени без чистых квадратов и кубов) для РТПр НУ, хотя ММ № 8 (полный полином 4 степени) показала погрешность в несколько раз меньше ММ № 5, но она требовала очень много тарифовочных точек (ТТ, не менее $24 = 6 \times 4$), что неприемлемо при не-однократной ежедневной ручной работе (когда чем больше ТТ, тем выше усталость и ниже точность ручного прицеливания).

Для РТПр НУ введены новые критерии проверки с.к.о. погрешностей ММ: кроме проверки в ТТ, как в [14], (с.к.о. погрешности σ_{tar} , рисунок 3), введена проверка погрешности в линейно интерполированных точках (σ_{inter}) и в линейно экстраполированных (σ_{extra}) за пределами периметра ТТ. Априори ММ координатной сетки РТПр считается близка к линейной (с некоторыми оптическими нелинейными искажениями и ракурсом веб-камеры).

Проведённые исследования ММ на макете СТ с параметрами системы «камера-экран»: наилучшая веб-камера Canyon CNS-CWC5

в режиме SD (640×480) [15], ширина экрана 1024 точек, рабочий угол камеры 28 о подтвердили приоритет ММ № 5 (таблица 1, ММ № 1 отражает уровень нелинейности системы координат камеры), которая при 9 ТТ (3×3) показала наименьшую погрешность по всем трём группам точек с 8-кратным усреднением. ММ с количеством неизвестных больше количества ТТ (указано в скобках), как ММ № 6–8, из-за некорректной разрешимости ММ естественно показали наихудшие результаты в промежуточных точках. Перевод в т.д.: $\sigma_{m0} \approx 0,506 \sigma_{pix}$ [15].

Таблица 1 / Table 1

Погрешность математических моделей по промежуточным точкам

Mathematical models error by intermediate points

Canyon CNS-CWC5 640×480	3×3 = 9 points			4×3 = 12 points		
	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix
ММ №1 (3) x	2.036	1.159	3.700	2.743	1.739	4.911
y	0.927	0.567	1.480	1.014	0.668	1.609
ММ №2 (4) x	0.453	0.304	0.638	0.485	0.356	0.644
y	0.808	0.497	1.249	0.993	0.659	1.546
ММ №3 (5) x	0.227	0.221	0.786	0.295	0.199	0.511
y	0.796	0.500	1.239	0.907	0.590	1.536
ММ №4 (6) x	0.218	0.217	0.645	0.289	0.203	0.426
y	0.321	0.340	1.017	0.550	0.410	1.344
ММ №5 (7) x	0.137	0.222	0.599	0.283	0.196	0.449
y	0.313	0.330	1.006	0.486	0.388	1.307
ММ №6 (10) x	0.000	38.240	171.17	0.113	6.395	30.998
y	0.000	44.403	198.82	0.087	3.314	16.031
ММ №7 (13) x	0.000	14.454	64.999	0.000	12.506	60.784
y	0.000	8.675	38.979	0.000	86.005	419.17
ММ №8 (15) x	0.000	6.127	28.211	0.000	43.973	219.79
y	0.000	7.094	32.308	0.000	71.534	357.11

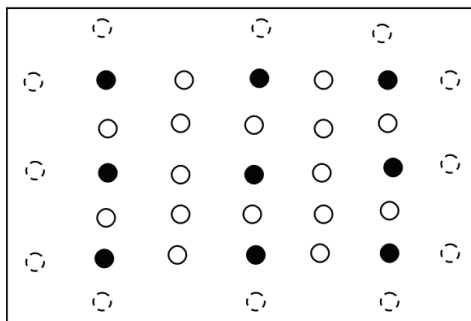


Рисунок 3 – Точки проверки погрешности тарировки: ● – тарировочные σ_{tar} ; ○ – интерполированные σ_{inter} ; ○ – экстраполированные σ_{extra}

Figure 3 – Calibration error check points: ● – main calibration σ_{tar} ; ○ – interpolated σ_{inter} ; ○ – extrapolated σ_{extra}

Интерполированные точки берутся по середине между соседними ТТ, что корректно с учётом априорной линейности координатной сетки, а экстраполированные точки строятся по линейной зависимости на полшага, что не всегда корректно, поэтому данная погрешность носит условный характер (но очень важна для оценки ММ СТ НУ).

Итак, для лучшей технологичности тарировки ММ РТПр НУ, когда удобнее её проводить по 9 или максимум по 12 точкам, и для попытки уменьшить погрешность предложены модифицированные ММ №5*, №5**, №5*** и №6* на 9 неизвестных и ММ №7* на 12 (для априорной оптимальности соотношения технологичность/точность тарировки):

$$\begin{aligned}
 \text{ММ } 5^*: rx_i &= a_1 + a_2x_i + a_3y_i + a_4x_iy_i + a_5x_i^2 + a_6y_i^2 + a_7x_iy_i^2 + a_8x_i^2y_i + a_9(x_iy_i)^2, \\
 ry_i &= b_1 + b_2x_i + b_3y_i + b_4x_iy_i + b_5x_i^2 + b_6y_i^2 + b_7x_iy_i^2 + b_8x_i^2y_i + b_9(x_iy_i)^2; \\
 \text{ММ } 5^{**}: rx_i &= a_1 + a_2x_i + a_3y_i + a_4x_iy_i + a_5x_i^3 + a_6y_i^3 + a_7x_iy_i^2 + a_8x_i^2y_i + a_9(x_iy_i)^2, \\
 ry_i &= b_1 + b_2x_i + b_3y_i + b_4x_iy_i + b_5x_i^3 + b_6y_i^3 + b_7x_iy_i^2 + b_8x_i^2y_i + b_9(x_iy_i)^2; \\
 \text{ММ } 5^{***}: rx_i &= a_1 + a_2x_i + a_3y_i + a_4x_iy_i + a_5x_iy_i^2 + a_6x_i^2y_i + a_7(x_iy_i)^2 + a_8x_iy_i^3 + a_9x_i^3y_i, \\
 ry_i &= b_1 + b_2x_i + b_3y_i + b_4x_iy_i + b_5x_iy_i^2 + b_6x_i^2y_i + b_7(x_iy_i)^2 + b_8x_iy_i^3 + b_9x_i^3y_i; \\
 \text{ММ } 6^*: rx_i &= a_1 + a_2x_i + a_3y_i + a_4x_i^4 + a_5y_i^4 + a_6x_iy_i^2 + a_7x_i^2y_i + a_8x_iy_i + a_9x_i^2y_i^2, \\
 ry_i &= b_1 + b_2x_i + b_3y_i + b_4x_i^4 + b_5y_i^4 + b_6x_iy_i^2 + b_7x_i^2y_i + b_8x_iy_i + b_9x_i^2y_i^2; \\
 \text{ММ } 7^*: rx_i &= a_1 + a_2x_i + a_3y_i + a_4x_iy_i + a_5x_i^2 + a_6y_i^2 + a_7x_iy_i^2 + a_8x_i^2y_i + a_9x_i^3 + \\
 &+ a_{10}y_i^3 + a_{11}x_iy_i^3 + a_{12}x_i^3y_i, \\
 ry_i &= b_1 + b_2x_i + b_3y_i + b_4x_iy_i + b_5x_i^2 + b_6y_i^2 + b_7x_iy_i^2 + b_8x_i^2y_i + b_9x_i^3 + b_{10}y_i^3 + \\
 &+ b_{11}x_iy_i^3 + b_{12}x_i^3y_i,
 \end{aligned}$$

где x_i, y_i – измеренные координаты пятна на камере; i – порядковый номер пятна; rx_i, ry_i – вычисленные (скорректированные) координаты ТПр на экране; $a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n$ – коэффициенты полиномов для коррекции координат x и y ; n – количество коэффициентов (зависит от используемой ММ).

Но исследование модифицированных ММ показали (таблица 2), что существенного снижения погрешности не получается и их использо-

вание не имеет особого смысла (разве что только ММ № 5*, у которой погрешность не только ниже на $\approx 5\%$, но и более ровная по координатам x и y).

Таблица 2 / Table 2

Погрешность модифицированных математических моделей по промежуточным точкам

Modified mathematical models' error using intermediate points

Canyon CNS-CWC5 640×480		3×3 = 9 points			4×3 = 12 points		
		$\sigma_{tar}, \text{ pix}$	$\sigma_{inter}, \text{ pix}$	$\sigma_{extra}, \text{ pix}$	$\sigma_{tar}, \text{ pix}$	$\sigma_{inter}, \text{ pix}$	$\sigma_{extra}, \text{ pix}$
ММ №5* (9) (+x ² +y ²)	x	0.000	0.226	0.579	0.289	0.208	0.451
	y	0.000	0.290	0.911	0.144	0.299	1.009
ММ №5** (9) (+x ³ +y ³)	x	0.000	0.360	1.338	0.206	0.330	1.458
	y	0.000	0.502	1.919	0.118	0.321	1.105
ММ №5*** (9) (+xy ³ +x ³ y)	x	0.000	39.883	179.9	0.154	1.482	7.179
	y	0.000	73.903	333.6	0.269	14.243	69.373
ММ №6* (9) (+x ⁴ +y ⁴)	x	0.000	0.459	1.863	0.154	0.422	1.953
	y	0.000	0.760	3.255	0.132	0.391	1.586
ММ №7* (12) (-x ⁴ -y ⁴ -x ² y ²)	x	0.000	40.883	184.34	0.005	614.5	3061
	y	0.000	42.864	193.78	0.006	697.9	3476

Таким образом, проведённые исследования погрешностей для оценки ММ на интерполяцию (расчёт значений между ТТ) и, главное, на экстраполяцию (расчёт значений за пределами периметра ТТ, что важно для РТПр НУ,

где тарировка для технологичности осуществляется только по центральной зоне) показали незначительное преимущество ММ №5* над базовой ММ №5 при 9 (3×3) ТТ и их и рекомендуется использовать в РТПр СТ НУ.

Уточнение инвариантности математических моделей

Принципиальная особенность РТПр НУ состоит в неинвариантности его ММ от рабочего места: любое изменение расстояния до экрана или смещения в сторону приводит к существенному снижению точности определения ТПр (из-за изменения масштаба изображения или ракурса – нелинейных искажений координатной сетки).

Поэтому для расширения возможностей РТПр НУ в конструкцию введён второй реперный ИК-светодиод (рисунок 1), что позволяет фиксировать свал $K_{свал}$ (наклон оружия в стороны более чем на 5° считается ошибкой прицеливания) и масштабировать мишенную обстановку по S_{xy} (в зависимости от расстояния до рабочего места) при перемещениях стрелка, что позволяет сделать ММ РТПр НУ более инвариантной к наклону, смещению и расстоянию стрельбы (рабочему месту) [14] на основе формул:

$$K_{свал} = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) - \arctg\left(\frac{mY}{mX}\right);$$

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{mX^2 + mY^2}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

где (x_1, y_1) , (x_2, y_2) – текущие координаты двух реперных ИК-диодов; $mX = (x_2 - x_1)$ и $mY = (y_2 - y_1)$ – эталонные расстояния между реперами (вычисляются при тарировке основной ММ).

Когда $S_{xy} \approx 1$ и $K_{свал} \approx 0$ – стрельба корректна, иначе, когда все же $K_{свал} < 5^\circ$ – пересчитываются координаты первого репера (левого, базового для ММ) – разворачиваются и масштабируются относительно координат линии прицеливания на кадре веб-камеры $x_{ТПр}$, $y_{ТПр}$. Последние вычисляются при тарировке основной ММ путём «стрельбы» в первый (левый) реперный ИК-диод и считаются условно инвариантными от изменения расстояния стрельбы в разумных пределах $\pm 0,25$ м (рисунок 4) по формулам:

$$\dot{x}_1 = (x_1 - x_{ТПр})\cos(K_{свал})S_{xy} - (y_1 - y_{ТПр})\sin(K_{свал})S_{xy} + y_{ТПр};$$

$$\dot{y}_1 = (x_1 - x_{ТПр})\sin(K_{свал})S_{xy} + (y_1 - y_{ТПр})\cos(K_{свал})S_{xy} + y_{ТПр};$$

где x_1, y_1 – координаты основного (левого) репера и $\dot{x}_1, \dot{y}_1$ – инвариантные координаты репера.

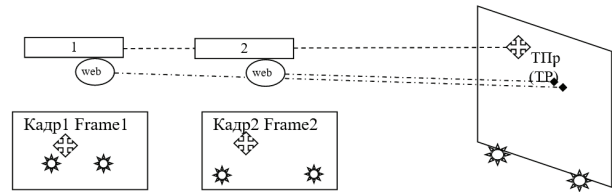


Рисунок 4 – Инвариантность математической модели от дистанции: 1 – дальше; 2 – ближе; ★ – реперные ИК-диоды; ТПр – точка прицеливания

Figure 4 – Invariance of mathematical model from distance: 1 – farther; 2 – closer; ★ – reference IR LEDs; TP – target point

Повторная тарировка РТПр НУ может потребоваться регулярно из-за размещения достаточно габаритной камеры с проводами на ИО, а реперных ИК-диодов на дисплее, что подвержено случайным реконфигурациям и сбою настроек.

Монтировать веб-камеру иногда удобнее под стволом ИО «вверх ногами», что никак не скажется на ММ РТПр – координаты с камеры просто переворачиваются по установкам настроек ПО: $x^* = x_{\max} - x - 1$; $y^* = y_{\max} - y - 1$; $x_{\max} = 640$; $y_{\max} = 480$.

Исходя из вышеизложенного, рассчитывается оптимальное расстояние от камеры до экрана L_o по отношению «точность/надёжность» – это когда при уменьшении расстояния репер может выйти из угла обзора веб-камеры (рисунок 5) при прицеливании по периметру экрана, а при увеличении расстояния повышается погрешность РТПр и уменьшаются углы обзора мишенной обстановки. В случае пистолета надо прибавить длину руки до рабочего места ≈ 60 см, в случае автомата – длину плеча 30...50 см.

При типичной ширине экрана ≈ 40 см и базе ИК-диодов $B \approx 35$ см необходимо гарантировать попадание обоих ИК-диодов в поле зрения камеры U (с запасом минимум 10 %) при прицеливании по всему экрану, т. е. выбираем оптимальный L по R (чем меньше L , тем ниже погрешность РТПр, т. к. масштабнее база B , таблица 3, рисунок 5).

Шаг в стороны рабочего места ± 20 см ($1.2 \cdot B/2$) даёт:

$$L_o = \frac{0.6B}{\tan(U/4)} \text{ (таблица 3).}$$

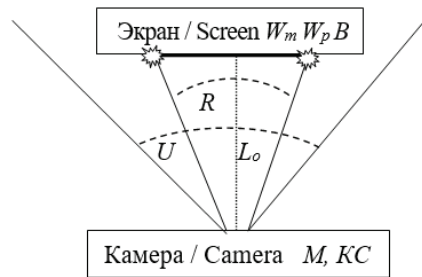


Рисунок 5 – Модель системы «камера-экран»: B – база ИК-диодов; W_m – ширина экрана; W_p – ширина экрана; R – рабочий угол; U – угол обзора камеры; L_o – расстояние от экрана до камеры; M, KC – режимы камеры; реперы – ✱

Figure 5 – Camera-screen system model: B – base of IR LEDs; W_m – screen width; W_p – screen width; R – working angle; U – camera viewing angle; L_o – distance from the screen to the camera; M, KC – camera modes; reference – ✱

Таблица 3 / Table 3

Оптимальное расстояние от веб-камеры до экрана
Optimal distance from webcam to screen

	M, pix	$U, ^\circ$	$L_o, \text{м}$	KC, Hz
Defender C-090	640×480	40	1.20	8
iSlim 1300AF	640×480	53	0.90	15
DENN Photo	640×480	32	1.50	8
Intro WU702M	640×480	46	1.03	13
SVEN CU-3.1	640×480	29	1.65	5
Canyon CNS-CWC5	640×480	52	0.91	30

Таким образом, в основе ММ РТПр НУ лежат регрессионные уравнения, дополненные предварительным разворотом, масштабированием и, возможно, переворотом координат с камеры, что обеспечивает некоторую инвариантность от рабочего расстояния ($\pm 0,25$ м). Погрешность ММ РТПр учитывается в случайном рассеивании боеприпасов при моделировании внешней баллистики оружия путём вычитания дисперсий [13].

Исследование макетов стрелкового тренажёра начального уровня

Надёжность и точность выделения реперов являются критичными для работы РТПр НУ. При автоматизированной тарировке ММ РТПр предварительно оцениваются кадры веб-камеры с реперами и настраиваются все яркостные характеристики и границы сигналов по всему

полю регистрации, так же анализируется сигнал с датчика спускового крючка.

Итак, технология автоматизированной проверки погрешности макетов СТ НУ:

1. Веб-камера наводится на экран с реперами, ПО автоматически выделяет их изображения и настраивает границу среза (распознавания) для вычисления центра пятен. Визуально проверяется правильность работы ПО и возможное наличие паразитных засветок и корректируется плотность фильтра на веб-камере (слоями фотоплёнки).

2. Закрепляется ИО с веб-камерой в юстировочном станке (тисках с лазерным прицелом и горизонтальным уровнем) и маховиками наводится на каждую из 9 (или 12) ТТ на экране с реперными диодами (идеальный макет) или прицеливание вручную, но с упора (реалистичный макет с активным курком «Макарыча» или упрощённый макет с сенсорным спусковым крючком). Производятся «выстрелы» (по 3 раза в каждую ТТ для усреднения, расстояние $\approx 1,5$ м), далее наводим в левый (главный) репер для поддержки инвариантности ММ и тарировем ММ №5 и ММ №5* (ПО выдаёт погрешности ММ).

3. В проверочном режиме ИО наводится на мишени, появляющиеся случайно в произвольных местах экрана, производится по 3 выстрела (с усреднением), в ПО рассчитываются погрешности. Повторяется несколько раз (не менее 10 мишеней) по рабочей зоне экрана и усредняются субъективные погрешности.

4. Погрешности проверки по осям координат сравниваются с требованиями (1,8 т.д. для ПМ и 0,4...0,6 т.д. для АК) и делаются выводы о практической пригодности веб-камеры и макета в целом (чем «дешевле» камера, тем выше её оптические искажения и хуже чувствительность матрицы, а значит высоки шумы, которые искажают определение центра пятна от репера и априорно выше погрешность).

Итак, субъективная погрешность СТ НУ σ_{exp} оценивалась на трёх пистолетных макетах (таблицы 4–6): идеальном – с хорошей камерой (iSlim 1300AF) и ИО, закреплённом в тисках, с лазерным прицелом и горизонтальным уровнем; реалистичном – со средней камерой (SVEN CU-3.1) и ИО («Макарыч») с упором на локоть двумя руками (три точки) и активным курком в ручном режиме (курком сбивает линию прицеливания); упрощённом – с другой средней камерой (Intro WU702M) и ИО без механичес-

ких движений и сенсорным спусковым крючком и на одном макете с автоматом (таблица 7) со средней камерой (Defender С-090) и сенсорным крючком и с лучшим ручным упором (пять точек). Но во всех случаях основной тарировки и проверки является глазомерный подход (субъективный человеческий фактор прицеливания). Методика включала тарировку по 9 и 12 точкам (по 3 выстрела с усреднением

в каждую) с ММ №5 и №5* (лучшие по предыдущим исследованиям) и проверку погрешности по 10 случайным мишеням (также по 3 выстрела с усреднением в каждую). Результаты испытаний представлены в таблицах 4–7, для пересчёта погрешности в с.к.о. т.д.: $\sigma_{m0} = (1000W_m / W_p L_m) \sigma_{pix} \approx 0,12 \sigma_{pix}$ с параметрами модели «камера-экран» (рисунок 5): $L_m = 1,65$ m, $W_m = 0,38$ m, $W_p = 1920$ pix, $R = 13^\circ$.

Таблица 4 / Table 4

Погрешность идеального макета с пистолетом

Perfect layout error using a gun

iSlim 1300AF (640 × 480)	3 × 3 = 9 points tarir and check				4 × 3 = 12 points tarir and check			
	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix
ММ №5 (7) x	2.293	1.649	5.972	5.975	2.987	1.807	6.261	5.298
y	2.221	1.211	4.992	4.956	2.126	1.979	4.249	6.262
ММ №5* (9) x	0.0	0.591	1.817	3.899	3.339	2.086	4.831	3.343
y	0.0	1.011	2.973	4.452	2.086	1.199	4.155	6.159

Таблица 5 / Table 5

Погрешность реалистичного макета с пистолетом

Realistic layout error using a gun

SVEN CU-3.1 (640 × 480)	3 × 3 = 9 points tarir and check				4 × 3 = 12 points tarir and check			
	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix
ММ №5 (7) x	5.701	2.368	10.454	18.708	8.376	4.623	13.661	22.976
y	2.919	1.857	7.181	8.749	2.846	1.756	5.520	15.544
ММ №5* (9) x	0.000	3.765	8.978	22.816	6.134	4.442	11.078	20.848
y	0.000	3.118	7.789	17.596	4.379	3.241	9.086	19.130

Таблица 6 / Table 6

Погрешность упрощённого макета с пистолетом

Simplified layout error using a gun

Intro WU702M (640 × 480)	3 × 3 = 9 points tarir and check				4 × 3 = 12 points tarir and check			
	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix
ММ №5 (7) x	0.718	1.446	3.431	10.344	4.981	3.098	7.721	9.790
y	3.978	1.619	7.701	12.358	5.122	3.099	10.075	4.992
ММ №5* (9) x	0.000	1.353	3.652	6.680	2.349	1.292	5.689	9.332
y	0.000	2.586	9.188	14.715	1.328	2.497	6.994	7.947

Таблица 7 / Table 7

Погрешность упрощённого макета с автоматом

Simplified layout error using a machine gun

Defender C-090 (640 × 480)	3 × 3 = 9 points tarir and check				4 × 3 = 12 points tarir and check			
	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix	σ_{tar} , pix	σ_{inter} , pix	σ_{extra} , pix	σ_{exp} , pix
ММ №5 (7) x	1.997	6.758	18.109	9.311	2.073	2.901	7.760	6.885
y	2.869	2.769	9.113	5.612	2.159	0.937	4.354	4.878
ММ №5* (9) x	0.000	6.226	16.835	6.997	1.249	3.035	7.042	6.563
y	0.000	2.855	14.369	11.538	1.585	1.107	3.836	7.247

Погрешность всех ММ при всех ТТ удовлетворяет требованиям (ориентируемся только на интерполированную σ_{inter}), а вот погрешность макетов (σ_{exp}) удовлетворяет требованиям на пределе, но идеальный макет полностью соответствует требованиям (что говорит о влиянии субъективной погрешности, которая при использовании юстировочного станка минимизирована). Стоит ориентироваться на условные ИО с пружинным спусковым крючком (и сенсорным датчиком) и использовать СТ НУ только для начальной подготовки (хват-удержание-прицеливание-спуск) с контролем траектории прицеливания.

Испытания макетов выявили некоторые «узкие» места конструкции и настроек:

1. Паразитные засветки сбивают определение ТПр, необходимо повышать плотность фильтра на веб-камере (количество слоёв плёнки) и желательно размещаться строго напротив экрана (для равной яркости ИК-диодов). На изображении мишенной обстановки не должно быть слишком ярких участков, ПО СТ должно автоматически затемнять их (например, слишком яркое небо).

2. ИО с прикреплённой камерой требует специальной подставки, чтобы механически не сбить крепление камеры (закрепление камеры тоже нетривиальная задача, большинство из них имеют ярко выраженный дизайнерский корпус без плоских граней, необходимы виброгасящие прокладки при креплении).

3. На автомате, когда камера монтируется вверх ногами под стволом (цевьем), ствол может экранировать реперы, если бы они располагались над дисплеем (как в первоначальном варианте [13]), поэтому рейку с ИК-диодами необходимо размещать именно под экраном.

4. Сенсорный датчик спускового крючка может не сработать при сухом пальце – нарушается контакт.

5. У многих игрушечных пистолетов мушка в прорези целика видна без боковых зазоров (что не соответствует реалиям ПМ) – необходимо сточить мушку по бокам (на $\approx 50\%$).

6. Не все веб-камеры работают через USB-удлинитель (например, Defender C-090).

7. Кадровой частоты веб-камер всех макетов, а это $KC = 5 \dots 15$ Гц (таблица 3), недостаточно для подробного контроля траектории прицеливания (особенно срыва крючка) – необходимо

подбирать скоростные веб-камеры ($KC \geq 30$ Гц, например, Canyon CNS-CWC5).

Таким образом, испытания макетов СТ НУ показали, что реальная (субъективная) погрешность полностью укладывается в требования точности только для идеального макета и позволяют использовать ИО ПМ и АКМ (а для некоторых моделей веб-камер и АК74) только с тщательно подобранными компонентами. Тарировка ММ должна проводиться только с упора и с сенсорным крючком опытным пользователем. Влияние субъективной погрешности (человеческого фактора, $\sigma_{exp} = 0,5 \dots 1,5$ т.д.) на точность СТ НУ является существенно превалирующей по сравнению с влиянием ММ или количества ТТ ($\sigma_{inter} = 0,1 \dots 0,15$ т.д.). Оптимальное использование СТ НУ – начальное обучение стрельбе из ПМ или АК с упора.

Заключение

Установлено, что точность стрелкового тренажёра сильно зависит от навыка пользователя при тарировке и возможных ошибок прицеливания. Предложено тарировку проводить только опытному руководителю занятий обязательно с упора. Проведённые испытания показали, что при этом погрешность укладывается в допуски.

Установлено, что смещения и изменение расстояния от рабочего места до экрана заметно снижают точность регистрации точки прицеливания. Предложено использовать два реперных светодиода под экраном с привязкой к левому из них. Разработано расширение математической модели с контролем разворота и изменения масштаба (расстояния до экрана) и их компенсацией.

Установлено, что низкая частота кадров камеры регистратора точки прицеливания, паразитные засветки и особенности крепления камеры к имитатору оружия ухудшают стабильность работы тренажёра. Предложено использовать стрелковый тренажёр начального уровня (который отличается высокой технологичностью сборки и удовлетворительной настройки и эксплуатации) только для подготовительных занятий с места и с упора.

Таким образом, показана актуальность разработки семейства модульных общедоступ-

ных стрелковых тренажеров различных уровней реализации с методиками сборки и настройки для широкого внедрения самостоятельно собранных тренажеров начального уровня из общедоступных компонентов (ноутбуков, камер, макетов оружия, инфракрасных излучателей и др.) на базе предложенных и исследованных математических моделей и методик. Также актуальны внедрение и исследование эффективных методик обучения на электронных стрелковых тренажерах, особенно для специфичных применений.

Список использованных источников

1. Моисеенко А.А. Применение инновационных технологий в процессе обучения огневой подготовке курсантов и слушателей образовательных организаций МВД России / А.А. Моисеенко, Д.М. Еноткина // Вестник Барнаульского юридического института МВД России. – 2023. – № 1 (44). – С. 343–346.
2. Горлов О.Ю. Методика разработки упражнений учебных стрельб из пистолета в типовых ситуациях служебной деятельности (на примере охранно-конвойных подразделений полиции) / О.Ю. Горлов // Полицейская деятельность. – 2023. – № 1. – С. 43–54. DOI: 10.7256/2454-0692.2023.1.38047
3. Булавин А.А. Внедрение игрового и соревновательного методов обучения в практические занятия по огневой подготовке со слушателями УИС / А.А. Булавин, Г.М. Ватылев // Вестник МПА ВПА (сборник научных трудов). – 2023. – № 3. – С. 132–137.
4. Горбунов Б.Д. Использование дополненной реальности для улучшения эффективности обучения по огневой и тактической подготовке / Б.Д. Горбунов // Современные научные исследования и инновации. – 2023. – № 4 (144). – С. 55–64.
5. Митрофанов О.А. Разработка комплекса мер по актуализации и совершенствованию обучения сотрудников МЧС огневой подготовке / О.А. Митрофанов, С.В. Безнедельный, А.А. Воеводин // Современный ученый. – 2024. – № 1. – С. 206–211.
6. Воробьева С.М. Развитие массового студенческого спорта на примере секции пулевой стрельбы Московского авиационного института / С.М. Воробьева // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. – 2024. – №11. – С. 68-74. DOI: 10.3390/s25165210
7. Петрушин А.В. Совершенствование качества стрельбы из положения стоя у квалифицированных биатлонистов с использованием стрелкового тренажера SKATT / А.В. Петрушин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2024. – № 8. – С. 166–169.
8. Викторов А.А. Анализ материально-технического обеспечения дисциплины «Огневая подготовка» / А.А. Викторов // Символ науки: международный научный журнал. – 2024. – Т. 1. – № 3-2. – С. 139–143.
9. Косяченко В.И. Некоторые особенности огневой и тактической подготовки сотрудников органов внутренних дел с применением инновационных технологий / В.И. Косяченко, Д.М. Фатхиев, А.В. Лазарев // Вестник Евразийской академии административных наук. – 2025. – № 1(70). – С. 36–40.
10. Зиямбетов В.Ю. Стендовая стрельба в рамках военно-прикладной физической подготовки студентов-курсантов военных учебных центров / В.Ю. Зиямбетов // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. – 2025. – № 1. – С. 125–128.
11. Егоров С.Ф. Стрелковый тренажер «Ингибитор»: встроенное программное обеспечение имитаторов оружия / С.Ф. Егоров, К.Ю. Петухов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18. – № 3. – С. 41–52. DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-41-52
12. Корнилов И.Г. Обратная модель системы «проектор – экран – оптико-электронный преобразователь» стрелкового тренажера / И.Г. Корнилов, Н.Ю. Афанасьева, Ю.В. Веркиенко // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2007. – № 1. – С. 63–65.
13. Егоров С.Ф. Стрелковый тренажер «Ингибитор»: функциональная схема программного обеспечения / С.Ф. Егоров // Интеллектуальные системы в производстве. – 2019. – Т. 17. – № 2. – С. 19–29. DOI: 10.22213/2410-9304-2019-2-19-29
14. Егоров С.Ф. Стрелковый тренажер «Ингибитор»: математическое обеспечение спецэффектов выстрела / С.Ф. Егоров [и др.]. // Интеллектуальные системы в производстве. – 2024. – Т. 22. – № 3. – С. 68–77. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-68-77
15. Егоров С.Ф. Семейство электронных стрелковых тренажеров «СТрИж»: исследование математических моделей регистраторов точки прицеливания начального и базового уровней / С.Ф. Егоров // Приборы и методы измерений. – 2024. – Т. 15. – № 4. – С. 295–306. DOI: 10.21122/2220-9506-2024-15-4-295-306
16. Jedrasiak K., Daniec K., Sobel D. The Concept of Development and Test Results of the Multimedia Shooting Detection System // Future Technologies Conference (FTC) San Francisco. 2016, pp. 1057–1064.
17. Bogatinov D., Lameski P., Trajkovic V. Firearms training simulator based on low cost motion tracking sensor // MULTIMEDIA TOOLS AND

APPLICATIONS. 2017, vol. 76, no. 1, pp. 1403–1418.

DOI: 10.1007/s11042-015-3118-z

18. Liu Yu., Wei P., Ke J. Algorithm Design For A Gun Simulator Based On Image Processing // International Conference on Optical Instruments and Technology. Optoelectronic Imaging and Processing Technology. 2015, vol. 9622, no. 962200.

19. Borja-Benitez M.A., Tirado-Mendez J.A., Vasquez-Toledo L.A. Shooting impact detection system on a fixed target using a dynamic video frame reference // IEEE International Autumn Meeting on Power Electronics and Computing. 2019. WOS:000569520800039.

20. Kingkangwan K., Chalainanont N., Kumsap C. Gun Identification using Image Synchronization for DTI's Virtual Shooting Range // 2nd Asian Conference on Defence Technology (ACDT) Chiang Mai, THAILAND. 2016, pp. 32-35.

21. Taylor P. Dispatch Priming and the Police Decision to Use Deadly Force // POLICE QUARTERLY. 2020, vol. 23, no. 3, pp. 311–332.

DOI: 10.1177/1098611119896653

22. Fedaravičius A., Pilkauskas K., Slizys E., Survila A. Research and development of training pistols for laser shooting simulation system // Defence Technology. 2019. **DOI:** 10.1016/j.dt.2019.06.018

References

1. Moiseenko AA, Enotkina DM. The use of innovative technologies in the process of training in the fire training of cadets and students of educational organizations of the MIA of Russia. Bulletin of the Barnaul Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2023;1(44):343-346. (In Russ.).

2. Gorlov OYu. Methodology for the development of training exercises from a pistol in typical situations of official activity (using the example of security and escort police units). Policing. 2023;1(1):43-54. (In Russ.).

DOI: 10.7256/2454-0692.2023.1.38047

3. Bulavin AA, Vatilev GM. Implementation of game and competitive training methods in practical fire training sessions with UIS students. IPA VPA Bulletin (collection of scientific papers). 2023;3(3):132-137. (In Russ.).

4. Gorbunov BD. Use augmented reality to improve the effectiveness of fire and tactical training. Modern scientific research and innovation. 2023;4(4):55-64 (In Russ.).

5. Mitrofanov OA, Beznedel'nyi SV, Voevodin AA. Development of a set of measures to update and improve the training of employees of the Ministry of Emergency Situations in fire training. Modern scientist. 2024;1(1):206-211. (In Russ.).

6. Vorob'eva SM. The development of mass university sports on the example of the bullet shooting section of

the Moscow Aviation Institute. News of Tula State University. Physical education. Sports. 2024;11(1):68-74. (In Russ.). **DOI:** 10.3390/s25165210

7. Petrushin AV. Improving the quality of shooting from a standing position among qualified biathletes using the SKATT shooting simulator. Scientific notes of the University named after P.F. Lesgaft. 2024;8(8):166-169. (In Russ.).

8. Viktorov AA. Analysis of material and technical support of the discipline "Fire training". Symbol of science: international scientific journal. 2024;1(3-2):139-143. (In Russ.).

9. Kosyachenko VI., Fatkhiev DM., Lazarev AV. Some features of fire and tactical training of employees of internal affairs bodies using innovative technologies. Bulletin of the Eurasian Academy of Administrative Sciences. 2025;1(1):36-40. (In Russ.).

10. Ziambetov VYu. Bench shooting as part of the military applied physical training of student cadets of military training centers. Actual problems of physical and special training of power structures. 2025;1(1):125-128. (In Russ.).

11. Egorov SF, Petukhov KYu. Shooting simulator «Inhibitor»: weapon simulator firmware. Intelligent systems in production. 2020;18(3):41-52. (In Russ.).

DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-41-52

12. Kornilov IG, Afanas'eva NYu, Verkienko YuV. Reverse model of the system "projector - screen - optoelectronic converter" rifle simulator. Bulletin of ISTU named after M.T. Kalashnikov. 2007;1(1):63-65. (In Russ.).

13. Egorov SF. Shooting simulator "Inhibitor": functional diagram of the software. Intelligent systems in production. 2019;17(2):19-29. (In Russ.).

DOI: 10.22213/2410-9304-2019-2-19-29

14. Egorov SF, Shelkovnikov YuK, Shelkovnikov EYu, Syakterev VN, Petukhov KYu, Milovzorov GV, Afanas'ev VA. Shooting simulator "Inhibitor": mathematical support for special effects of a shot. Intelligent systems in production. 2024;22(3):68-77. (In Russ.).

DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-68-77

15. Egorov SF. Electronic Shooting Simulator Family "STrlzh": Research of Mathematical Models of Target Point Determiners on Entry and Basic Levels. 2024;15(4):295-306. (In Russ.).

DOI: 10.21122/2220-9506-2024-15-4-295-306

16. Jedrasiak K, Daniec K, Sobel D. The Concept of Development and Test Results of the Multimedia Shooting Detection System. Future Technologies Conference (FTC) San Francisco. 2016;1057-1064.

17. Bogatinov D, Lameski P, Trajkovic V. Firearms training simulator based on low cost motion tracking sensor. MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS. 2017;76(1):1403-1418.

DOI: 10.1007/s11042-015-3118-z

18. Liu Yu, Wei P, Ke J. Algorithm Design For A Gun Simulator Based On Image Processing. International Conference on Optical Instruments and Technology. Optoelectronic Imaging and Processing Technology. 2015;9622(962200).

19. Borja-Benitez MA, Tirado-Mendez JA, Vasquez-Toledo LA. Shooting impact detection system on a fixed target using a dynamic video frame reference. IEEE International Autumn Meeting on Power Electronics and Computing. 2019. WOS:000569520800039.

20. Kingkangwan K, Chalainanont N, Kumsap C. Gun Identification using Image Synchronization

for DTI's Virtual Shooting Range. 2nd Asian Conference on Defence Technology (ACDT) Chiang Mai, THAILAND. 2016;32-35.

21. Taylor P. Dispatch Priming and the Police Decision to Use Deadly Force. POLICE QUAR-TERLY. 2020;23(3):311-332.

DOI: 10.1177/1098611119896653

22. Fedaravičius A, Pilkauskas K, Slizys E, Survila A. Research and development of training pistols for laser shooting simulation system. Defence Technology. 2019.

DOI: 10.1016/j.dt.2019.06.018