

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

Семейство электронных стрелковых тренажёров «СТрИж»: исследование математических моделей регистраторов точки прицеливания начального и базового уровней

С.Ф. Егоров

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

Поступила 16.05.2024

Принята к печати 06.11.2024

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 также 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 начального и базовых уровней и проведены исследования их математических моделей с оценкой погрешностей. Возможность самостоятельно собрать стрелковый тренажёр из общедоступных компонент (ноутбук, веб-камера, макеты оружия, ИК-светодиоды, проектор, лазерные излучатели, HD-камера) способствует их широкому использованию, опираясь на разрабатываемые программное обеспечение упражнений и методики сборки и настройки регистраторов точки прицеливания и имитаторов оружия. Исследования регистраторов на погрешность определения точки прицеливания показали приемлемую точность и технологичность тарировки математических моделей с возможностью учесть эту погрешность в моделируемом баллистическом рассеивании боеприпасов. Кроме этого исследована возможность повышения быстродействия регистрации и возможные подходы по повышению точности и фиксации свала и расстояния до рабочего места с возможностью пересчета угловых размеров мишенной обстановки до реальной. Алгоритм работы программного обеспечения семейства тренажёров должен полностью поддерживать начальный и базовые уровни реализации с различными конфигурациями оборудования и включать мультимедийную систему обучения стрельбе. Для виртуального уровня тренажёра (шлем виртуальной реальности на смартфоне и макет оружия со смартфоном) требуется разработать свое программное обеспечение (рассматривается в следующих статьях цикла).

Ключевые слова: стрелковый тренажёр, точка прицеливания, математическая модель, регистратор точки прицеливания, погрешность

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»: исследование математических моделей регистраторов точки прицеливания начального и базового уровней.

Приборы и методы измерений.

2024. Т. 15. № 4. С. 295–306.

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

For citation:

Egorov SF.

Electronic Shooting Simulator Family "STrIzh": Research of Mathematical Models of Target Point Determiners on Entry and Basic Levels.

Devices and Methods of Measurements.

2024;15(4):295–306. (In Russ.).

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

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

Electronic Shooting Simulator Family "STrIzh": Research of Mathematical Models on Target Point Determiners of Entry and Basic Levels

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 16.05.2024

Accepted for publication 06.11.2024

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, requires also 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's recorders of initial and basic levels are presented and studies of their mathematical models with estimation of errors are carried out. Ability to self assemble a shooting simulator from publicly available components (laptop, webcam, weapon layouts, IR LEDs, projector, lasers, HD-camera) contributes to their widespread use. Such use is based on the program exercise support under development and methods of assembling and adjusting the targeting point recorders and weapon simulators. Studies of recorders for the error in determining of the aiming point showed acceptable accuracy and manufacturability of mathematical models' calibration with the ability to take this error into account in the simulated ballistic dispersion of ammunition. Possibility of registration speed increasing and possible approaches for increasing of the accuracy and fixation of the pile and the distance to the workplace with the possibility of recalculating the angular dimensions of the target situation to the real one were investigated also. The simulator family's software algorithm should fully support the initial and basic levels of implementation with various training equipment configurations and include a multimedia shooting training system. For the virtual level of the simulator (a virtual reality helmet on a smartphone and a weapon's layout with a smartphone), one needs to develop his own software (it will be discussed in the next articles).

Keywords: shooting simulator, target point, mathematical model, target point determiner, 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 тренажеров «СТрИж»: исследование математических моделей регистраторов точки прицеливания начального и базового уровней. Приборы и методы измерений. 2024. Т. 15. № 4. С. 295–306.
DOI: 10.21122/2220-9506-2024-15-4-295-306

For citation:

Egorov SF.
Electronic Shooting Simulator Family "STrIzh": Research of Mathematical Models of Target Point Determiners on Entry and Basic Levels. *Devices and Methods of Measurements*. 2024;15(4):295–306. (In Russ.).
DOI: 10.21122/2220-9506-2024-15-4-295-306

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 также 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 (РТПр) для широкого использования является актуальной задачей, обладающей практической ценностью [1–11].

С учётом опыта разработки, модификации и внедрения профессионального СТ «Ингибитор» (индекс 1У33) проводится разработка и исследования по общедоступному семейству СТ «СТРИж» [12] 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. Разработка опирается в том числе и на опыт аналогового РТПр [13] и первые исследования методик и математических моделей (ММ) цифровых РТПр [14]. Анализировались также зарубежные источники в области общедоступных РТПр [15–19].

Целью данной работы являлось исследование математических моделей РТПр начального и базового уровней реализации СТ семейства «СТРИж». В дальнейших статьях цикла планируется исследование конструкций имитаторов оружия (ИО) с контролем срыва крючка и с вариантами реализации отдачи, а также исследование конструкций и математических моделей СТ виртуальной реальности.

Регистраторы точки прицеливания

Главные технические характеристики СТ: среднеквадратическое отклонение (с.к.о.) в погрешности определения координат точки

прицеливания (ТПр) (рассчитывается в тысячных дальности – т.д., 1 т.д. $\approx 0,0573^\circ \approx 3.448'$ угл. сек), частота опроса координат ТПр КС (в герцах или кадрах/сек), реализация отдачи и датчиков ИО (срыв, свал, прицелы, магазин, предохранитель, затвор и др.), полнота реализации изменяемой мишенной обстановки (время дня, сезон года, ветер, осадки, рельеф, местные предметы, мишени из Курса стрельб, реалистичные цели с активным поведением и др.). Таким образом, исследование ММ РТПр на погрешность представления координатной сетки являлось целью данной статьи.

Принципы работы РТПр начального и базового уровней семейства СТ «СТРИж» основаны на распознавании на изображениях с цифровой камеры со светофильтром пятен от реперных ИК-диодов у экрана (начальный уровень, рисунок 1) или пятен на экране от лазерных излучателей на ИО (базовый уровень, рисунок 2). Но конструктивно РТПр разных уровней сильно отличаются, что сказывается на технических характеристиках, стоимости и технологичности сборки и эксплуатации.

РТПр начального уровня (НУ, рисунок 1) на базе веб-камеры со светофильтром, закреплённой под стволом ИО, фиксирует только координаты двух реперных ИК-диодов: левый – основной, правый – дополнительный для фиксации недопустимого свала ИО (наклона). Далее координаты реперов на кадре камеры по ММ переводятся в координаты ТПр на экране, которые сохраняются в кольцевых буферах и используются в момент выстрела для баллистического расчёта точки попадания (также позволяя анализировать движение ТПр до и после выстрела – траекторию прицеливания). При приблизительной ширине экрана дисплея 44 см (пропорции 16:9) на типичном расстоянии 2 м до веб-камеры получается рабочий угловой размер около 13° , а по горизонтали веб-камеры фиксируют угол обзора U не менее 30° (типично $40\text{--}55^\circ$). Но использование только центральной части изображений минимизирует геометрические аберрации оптики камер. Допустимо использовать в затемнённом помещении в качестве реперов ярко-белые пятна на самом изображении дисплея (камера в этом случае без светофильтров), но остальное изображение мишенной обстановки должно

быть тусклым (режим «ночь»). Требования точности РТПр НУ 0,6–1,5 т.д. и быстродействия 15–60 Гц (кадр/сек) [12] обусловлены использованием для СТ НУ имитаторов с высоким

баллистическим рассеиванием пуль B (срединные отклонения из таблиц наставлений): ПМ (пистолет Макарова) $\approx 1,5$ т.д. и АКМ (автомат Калашникова) ≈ 0.6 т.д.

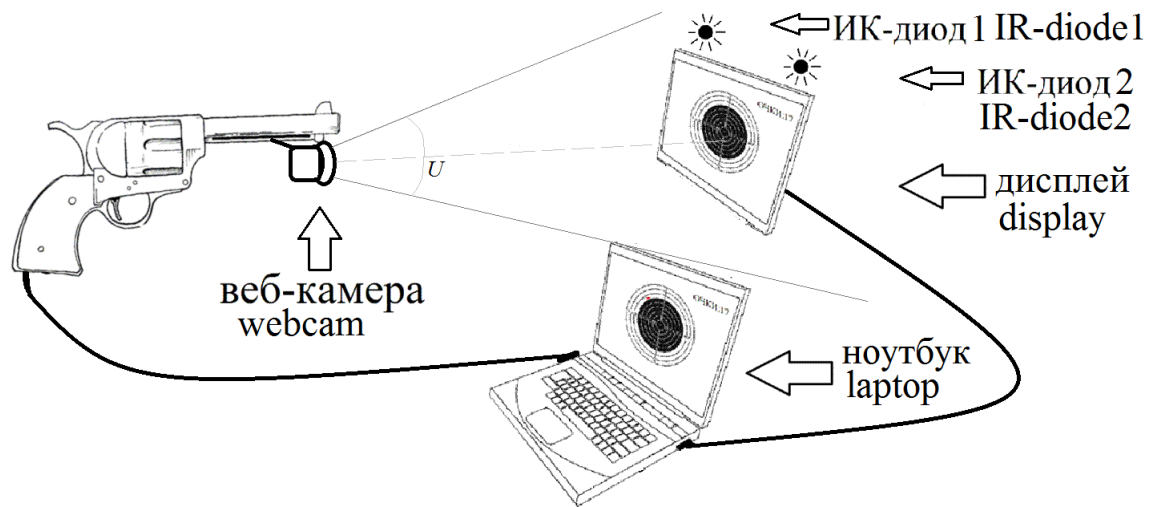


Рисунок 1 – Регистратор точки прицеливания начального уровня

Figure 1 – Entry level of a target point determiner

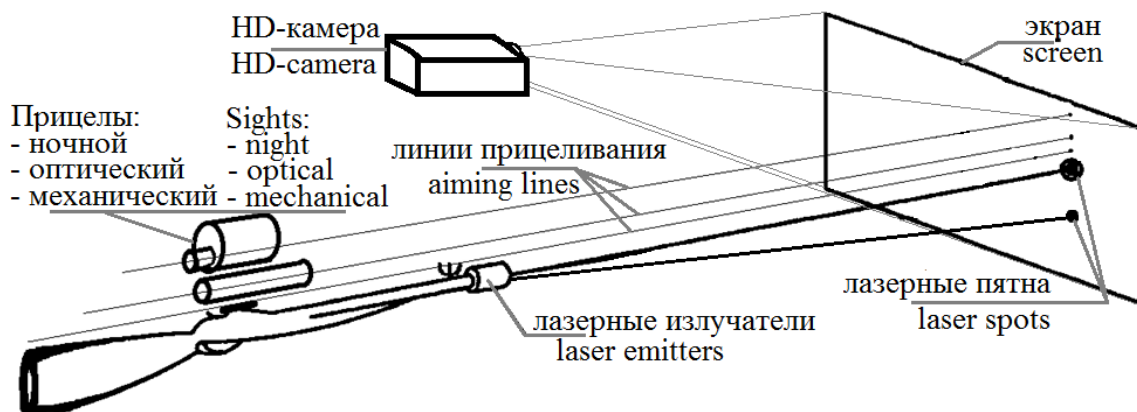


Рисунок 2 – Регистратор точки прицеливания базового уровня

Figure 2 – Basic level target point determiner

РТПр базового уровня (БУ, рисунок 2) на базе, например, HD-камеры со светофильтром, закреплённой перед экраном, фиксирует координаты нескольких лазерных пятен (разделяя их, например, по цвету для нескольких рабочих мест) на кадре камеры и по ММ переводит в координаты экрана, которые также сохраняются в кольцевых буферах. При стандартной ширине проекционного экрана 2 м (пропорции 16:9) угловой размер на расстоянии 5 м составляет около 20° , что также меньше типичного угла обзора камер в 50° , но качество HD-камер

выше веб-камер и разместить её можно ближе 5 м от экрана. Использование второго лазерного излучателя на одном ИО, когда верхний даёт луч строго параллельно линии прицеливания и является основным для ММ, а нижний – под небольшим углом вниз, позволяет оценить свал оружия и расстояние до экрана (с пересчётом масштаба мишеней, например). Допустимо использовать режим «лазер горит только при нажатом спусковом крючке», но это не даст возможности анализировать траекторию прицеливания до выстрела. Требования

точности РТПр БУ 0,3–0,8 т.д. и быстродействия 30–120 Гц (кадр/сек) [12] обусловлены возможностью использованием для СТ базового уровня ИО с более низким баллистическим рассеиванием пуль В: ПКМ (пулемёт Калашникова) $\approx 0,7$ т.д., АК74 (автомат Калашникова) $\approx 0,4$ т.д. и даже СВД (снайперская винтовка Драгунова) $\approx 0,135$ т.д. в особо подобранной конфигурации СТ.

Исследование математических моделей регистраторов точки прицеливания

Для создания измерительной базы ММ регистраторов точки прицеливания НУ используются два ИК-диода (репера) с автономным питанием (на батарейках или от USB ноутбука), закреплённые на концах рейки длиной примерно 30–35 см, которая размещается сверху дисплея (или экрана ноутбука, рисунок 1). Несмотря на то, что оптика общедоступных веб-камер, закрепляемых под стволом ИО, не отличается высоким качеством (обладает геометрическими и хроматическими аберрациями), но благодаря рабочему углу регистрации R всего 8–15° при широкоугольном объективе (минимум $U = 30\text{--}70^\circ$, рисунок 3), задействованной для анализа оказывается только центральная часть изображения кадра, где аберрации практически не проявляются, что облегчает оптимизацию ММ регистраторов точки прицеливания НУ, но и снижает её инструментальную точность.

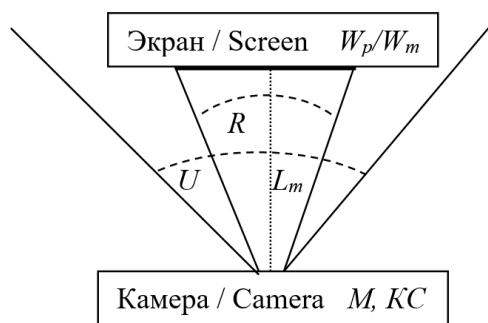


Рисунок 3 – Модель системы «камера-экран»: W_m – ширина экрана в м; W_p – ширина экрана в пикселях; R – рабочий угол; U – угол обзора камеры; L_m – расстояние от экрана до камеры; M, KC – режимы камеры

Figure 3 – Camera-screen system model: W_m – screen width in m; W_p – screen width in pixels; R – working angle; U – camera viewing angle; L_m – distance from the screen to the camera; M, KC – camera modes

Оценим инструментальную погрешность РТПр НУ: при разрешении веб-камеры 640×480 точек в режиме SD ($M = 640$) с типичном углом обзора $U = 50^\circ$ рабочий угол составляет $R = 13^\circ$ при ширине дисплея $W_m = 44$ см на расстоянии $L_m = 2$ м ($R = 2 \arctg(W_m/2/L_m)$) до камеры. Получается примерно 166 точек камеры ($M \cdot R/U$), «накрывающих» 1920 точек FHD-дисплея мишенной обстановки. При точности целочисленных координат центра репера в $\Delta = \pm 0,5$ отсчёта получаем инструментальную погрешность РТПр $\approx \pm 6$ точек экрана ($1920/166 \cdot 0,5$) или $\pm 0,04^\circ$ ($\pm 2,4'$) или $\pm 0,71$ т.д., что укладывается в заявленные характеристики СТ НУ (при этом человеческий глаз имеет разрешение $1' = 1$ угловую минуту $\approx 0,3$ т.д., что соответствует примерно 3 точкам FHD-дисплея на расстоянии 2,5 м до глаза). Решение проблемы повышения инструментальной точности видится в увеличении разрешения веб-камеры до 1280×720 точек (режим HD, $M = 1280$) или даже до 1920×1080 (режим FHD, $M = 1920$), что снизит инструментальную погрешность в 1,5–2 раза (на высоких разрешениях у многих камер увеличивается и угол обзора U , а KC резко падает), но требует повышенных вычислительных ресурсов компьютера для обработки изображений. Кроме этого можно использовать оптические насадки на веб-камеру для уменьшения её угла обзора до 30–40° (например, самодельные трубы Кеплера или Галилея [20]; вносимые ими аберрации – переворот изображения в случае трубы Кеплера, дисторсия в виде геометрических искажений – компенсируются автоматически с помощью регрессионных уравнений ММ), но менее $2R$ угол обзора делать нельзя чтобы по всему полю дисплея фиксировались веб-камерой два репера.

Тарировка ММ РТПр НУ осуществляется условной ручной «стрельбой» по 3 раза (для усреднения ручного прицеливания) в каждую из равномерно расположенных по экрану тарировочных мишеней (точек), количество которых выбирается заранее от 3×2 (6) до 7×5 (35) и определяет обусловленную ММ (количество параметров ММ должно быть не больше количества тарировочных мишеней для её разрешения по МНК, но чем больше мишеней, тем менее технологична ручная тарировка).

Оценим инструментальную погрешность РТПр БУ: при разрешении HD-камеры 1280×720 точек ($M = 1280$) и типичном её угле обзора $U = 50^\circ$ рабочий угол составляет $R = 20^\circ$, когда ширина экрана $W_m = 200$ см на расстоянии $L_m = 5$ м ($R = 2 \arctg(W_m/2/L)$) до камеры. Получается примерно 512 точек камеры ($M \cdot R/U$), «накрывающих» 1920 точек FHD-проектора мишенной обстановки. При точности целочисленных координат центра пятна в $\Delta = \pm 0,5$ отсчёта, получаем инструментальную погрешность ТПр $\pm 1,9$ точки экрана ($1920/512/2$) или $\pm 0,023^\circ$ ($\pm 1,35'$) или $\pm 0,4$ т.д., что более чем укладывается в заявленные характеристики СТ БУ (при этом человеческий глаз имеет разрешение $1' = 1$ угловую минуту $\approx 0,3$ т.д., что соответствует примерно ≈ 1 точке FHD-экрана на расстоянии 5,5 м до глаза). Использование высококачественной оптической насадки 2x на камере [20] позволяет снизить инструментальную погрешность в 2 раза, но проще разместить камеру ближе к экрану (например, на $L_m = 2-3$ м),

что несколько снижает технологичность, т. к. камеру удобно размещать вместе с проектором (но проектор может быть и короткофокусный).

Тарировка ММ РТПр БУ осуществляется в автоматическом режиме, когда на экране на чёрном фоне последовательно отображаются по известным координатам 7×9 (63) изображений репера (аналогов лазерного пятна), считываются камерой без светофильтра, определяются координаты центра и по МНК вычисляются параметры выбранной ММ.

Реальная погрешность ММ РТПр начального и базового уровней будут иной, т. к. все компоненты макета СТ не идеальны, что вносит методическую и субъективную погрешности (при ручной тарировке без закрепления ИО в станке), однако точность определения центра пятна при интегральных методах может быть $\Delta \ll \pm 0,5$ отсчёта. При исследовании ММ РТПр начального и базового уровней рассматривались 9 вариантов регрессионных уравнений и ряд общедоступных камер:

$$\begin{aligned} \text{ММ no. 1} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i & ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i \\ \text{ММ no. 2} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i & ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i \\ \text{ММ no. 3} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 y_i / x_i \\ ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i + b_5 y_i / x_i \\ \text{ММ no. 4} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 y_i^2 x_i + a_6 y_i x_i^2 \\ ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i + b_5 y_i^2 x_i + b_6 y_i x_i^2 \\ \text{ММ no. 5} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 x_i y_i^2 + a_6 x_i^2 y_i + a_7 (x_i y_i)^2 \\ ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i + b_5 x_i y_i^2 + b_6 x_i^2 y_i + b_7 (x_i y_i)^2 \\ \text{ММ no. 6} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 x_i^2 + a_6 y_i^2 + a_7 x_i y_i^2 + a_8 x_i^2 y_i + a_9 x_i^3 + a_{10} y_i^3 \\ ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i + b_5 x_i^2 + b_6 y_i^2 + b_7 x_i y_i^2 + b_8 x_i^2 y_i + b_9 x_i^3 + b_{10} y_i^3 \\ \text{ММ no. 7} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 x_i^2 + a_6 y_i^2 + a_7 x_i y_i^2 + a_8 x_i^2 y_i + a_9 x_i^3 + a_{10} y_i^3 + \\ &+ a_{11} (x_i y_i)^2 + a_{12} x_i y_i^3 + a_{13} x_i^3 y_i \\ ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i + b_5 x_i^2 + b_6 y_i^2 + b_7 x_i y_i^2 + b_8 x_i^2 y_i + b_9 x_i^3 + b_{10} y_i^3 + \\ &+ b_{11} (x_i y_i)^2 + b_{12} x_i y_i^3 + b_{13} x_i^3 y_i \\ \text{ММ no. 8} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 x_i^2 + a_6 y_i^2 + a_7 x_i y_i^2 + a_8 x_i^2 y_i + a_9 x_i^3 + a_{10} y_i^3 + \\ &+ a_{11} (x_i y_i)^2 + a_{12} x_i y_i^3 + a_{13} x_i^3 y_i + a_{14} x_i^4 + a_{15} y_i^4 \\ ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i + b_5 x_i^2 + b_6 y_i^2 + b_7 x_i y_i^2 + b_8 x_i^2 y_i + b_9 x_i^3 + b_{10} y_i^3 + \\ &+ b_{11} (x_i y_i)^2 + b_{12} x_i y_i^3 + b_{13} x_i^3 y_i + b_{14} x_i^4 + b_{15} y_i^4 \\ \text{ММ no. 9} \quad rx_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i + a_4 x_i y_i + a_5 y_i^2 + a_6 x_i^2 + a_7 (x_i y_i)^2 + a_8 y_i^3 + a_9 x_i^3 + a_{10} x_i^3 / y_i \\ ry_i &= b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i + b_4 x_i y_i + b_5 y_i^2 + b_6 x_i^2 + b_7 (x_i y_i)^2 + b_8 y_i^3 + b_9 x_i^3 + b_{10} x_i^3 / y_i, \end{aligned}$$

где x_i, y_i – измеренные координаты пятна на камере; i – порядковый номер пятна; rx_i, ry_i – вычисленные (скорректированные) координаты пятна 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).

При первоначальных исследованиях [14] в идеальных оптических условиях (проектор и камера расположены строго напротив центра экрана в темноте) использовалось тестовое изображение из 13×7 белых пятен на чёрном фоне с рабочим углом $R = 60^\circ$, но погрешности координат X и Y в с.к.о. пикселей замерялась только на центральной зоне тестового изображения (7×5 пятен, $1/4$ по площади кадра камеры) и было показано преимущество ММ № 5

(таблица 1). Выявлено, что погрешности ММ по центральной зоне кадра существенно меньше, чем по всему полю регистрации из-за геометрических aberrаций оптики малогабаритных камер и рекомендовано использовать камеры именно в таком режиме ($R \ll U$, рисунок 3).

Перевод с.к.о. в пикселях (σ_{pix}) в с.к.о. т.д. ($\sigma_{\text{тд}}$) при $W_m = 1,6$ m, $W_p = 848$ pix и $L_m = 2$ m по формуле: $\sigma_{\text{тд}} = 10^3 \frac{W_m}{W_p L_m} \sigma_{\text{pix}}$ даёт $\sigma_{\text{тд}} = 0,943 \sigma_{\text{pix}} \approx \sigma_{\text{pix}}$.

Таблица 1 / Table 1

Погрешность камер для математических моделей №№ 1–5 в σ_{pix} ($\approx \sigma_{\text{тд}}$)

Cameras error for mathematical models №№ 1–5 in σ_{pix} ($\approx \sigma_{\text{тд}}$)

№	Шифр камеры Camera cipher	Номер регрессионного уравнения математической модели Mathematical model regression equation number					
		σ	1	2	3	4	5
1	LUMIX G3 (FHD)	σ_x	0.988	0.879	0.432	0.325	0.306
		σ_y	0.922	0.330	0.270	0.145	0.139
2	LUMIX TZ20 (FHD)	σ_x	0.569	0.554	0.372	0.291	0.288
		σ_y	0.599	0.227	0.177	0.167	0.159
3	PENTAX Optio MX4 (FHD)	σ_x	0.654	0.607	0.376	0.291	0.288
		σ_y	0.636	0.237	0.203	0.165	0.165
4	SAMSUNG GIO (SF)	σ_x	0.497	0.479	0.441	0.399	0.395
		σ_y	0.597	0.369	0.327	0.279	0.236
5	GStar X-15 (SF)	σ_x	0.862	0.649	0.559	0.483	0.481
		σ_y	0.951	0.638	0.542	0.267	0.165
6	MUSTEK LCD2 (SD)	σ_x	0.965	0.911	0.455	0.315	0.263
		σ_y	0.933	0.221	0.154	0.141	0.141
7	JMK JK-805 (SD)	σ_x	1.330	1.109	0.415	0.486	0.415
		σ_y	1.422	0.750	0.741	0.494	0.283
8	RITMIX SVR300 (SD)	σ_x	2.144	2.129	0.749	0.807	0.589
		σ_y	1.578	0.853	0.763	0.624	0.407
9	Defender C-090 (SD)	σ_x	2.545	2.519	1.192	0.745	0.643
		σ_y	2.123	0.645	0.468	0.410	0.358

Параметры модели «камера-экран» (parameters of «camera-screen» model): $L_m = 2$ m, $W_m = 1,6$ m, $W_p = 848$

Анализ таблицы 1 показал, что крупногабаритные FHD-камеры (№ 1–3) обеспечивают минимальные погрешности, но использование их в качестве РТПр технически невозможно. Удовлетворительные погрешности показали и встроенные фотокамеры сотовых телефонов (№ 4–5), но использовать их также технически затруднительно. Общедоступные миниатюрные монтируемые камеры (№ 6–9) разделились на две группы: качественные (№ 6–7), которые нами рекомендуется использовать (например, MUSTEK LCD2 для РТПр БУ и JMK JK-805 для РТПр НУ) и менее качественные (№ 8–9), оптика последних вносит существенные геометрические aberrации – неравномерную «бочкообразность» (или «подушкообразность»), иногда превышающую допуск, и хроматические aberrации – по краям поля обзора падает яркость и увеличивается расслоение цветов (слева появляются красные полосы, а справа – синие), что обеспечивает им только

ограниченную годность в качестве РТПр (например, только для ИО Пистолета Макарова).

В текущих исследованиях уже в реальных условиях рабочего макета (когда проектор и камера расположены по нижнему краю экрана, т. е. с геометрическими искажениями проекции и используются днём, но без освещения, с занавешенными окнами, т. е. с неравномерным освещением) добавлены в ММ новые регрессионные уравнения № 6–9 и расширенный набор современных веб-камер (среди них видеорегистратор AIR Tone, профессиональная камера с автофокусом Canyon и для сравнения условий исследований та же камера Defender, что в таблице 1). Исследования показали прогнозируемые результаты, что старшие ММ №№ 6–9 лучше младших ММ №№ 1–5 (из [14]) и новые веб-камеры (таблица 2) лучше старых (таблица 1 из [14]), а реальные условия исследований хуже идеальных (в [14]).

Таблица 2 / Table 2

Погрешность математических моделей № 1–9 новых камер в σ_{pix} ($\approx 2 \sigma_{\text{гд}}$)

Error of mathematical models № 1–9 of new cameras in σ_{pix} ($\approx 2 \sigma_{\text{гд}}$)

9×7 points (1.76×1.32 м)	M, pix	U, °	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8	MM9	KC, Gz
Defender C-090, σ_x	640	40	3.56	1.69	1.65	1.64	1.51	0.475	0.414	0.364	0.484	30
Defender C-090, σ_y	480		2.18	2.09	1.87	1.77	1.55	0.377	0.356	0.436	0.514	
iSlim 1300AF, σ_x	640	53	5.76	4.49	2.25	2.00	1.38	0.662	0.544	0.448	0.649	16
iSlim 1300AF, σ_y	480		3.79	1,65	1.59	1.11	1.02	0.565	0.475	0.446	0.682	
iSlim 1300AF, σ_x	1280	53	5.71	4.32	1.88	1.73	1.36	0.562	0.515	0.318	0.555	8
iSlim 1300AF, σ_y	1024		3.83	1.49	1.40	0.845	0.901	0.669	0.475	0.350	0.447	
DENN Photo, σ_x	640	32	4.69	2.37	2.10	2.19	1.84	0.614	0.691	0.729	0.919	12
DENN Photo, σ_y	480		2.59	2.68	2.64	2.20	2.24	0.717	0.730	0.783	1.030	
Intro WU702M, σ_x	640	46	10.2	1.08	1.06	0.992	0.934	0.368	0.369	0.276	0.361	13
Intro WU702M, σ_y	480		5.99	5.94	5.95	2.26	2.04	0.379	0.336	0.242	0.370	
Intro WU702M, σ_x	1280	58	10.1	1.03	1.03	0.981	0.905	0.256	0.254	0.180	0.236	10
Intro WU702M, σ_y	720		5.98	5.94	5.94	1.88	1.64	0.250	0.202	0.205	0.292	
AIR Tone QC-02, σ_x	1280	72	10.2	2.73	1.89	2.21	1.66	0.257	0.233	0.243	0.374	30
AIR Tone QC-02, σ_y	720		5.58	5.55	4.49	1.32	0.893	0.235	0.238	0.228	0.378	
Canyon CNS-CWC5, σ_x	640	52	5.79	1.06	0.916	0.776	0.748	0.261	0.202	0.182	0.290	30
Canyon CNS-CWC5, σ_y	480		2.84	2.78	2.72	1.117	1.105	0.239	0.212	0.185	0.328	
Canyon CNS-CWC5, σ_x	1280	65	5.76	0.978	0.881	0.793	0.693	0.199	0.162	0.130	0.357	10
Canyon CNS-CWC5, σ_y	720		2.82	2.76	2.72	1.02	0.989	0.196	0.117	0.129	0.518	

Параметры модели «камера-экран» (parameters of «camera-screen» model): $L_m = 3,4$ м, $W_m = 1,76$ м, $W_p = 1024$, $R = 28^\circ$

При $W_m = 1,76$ м, $W_p = 1024$ пик и $L_m = 3.4$ м будет $\sigma_{\text{гд}} \approx 0,506 \sigma_{\text{пик}}$.

Погрешности таблиц 1 и 2 имеют не абсолютный характер, а исключительно относительный (т.е. разные таблицы нельзя непосредственно сравнивать), т.к. их данные зависят от параметров испытательного макета (L_m , W_m , W_p , R) и геометрической точности установки компонент СТ (экран, проектор, камера), которые не будут идеальными при сборке тренажера. Но можно использовать примерный коэффициент ≈ 2 (при сравнении значения таблицы 1 умножаются на 2 или значения таблицы 2 делятся на 2).

Анализ таблиц 1 и 2 показал, что:

1. ММ № 1 (линейная) своей погрешностью отражает уровень геометрических аберраций камер и ракурса (расположение камеры в пространстве относительно плоскости экрана).

2. Новые ММ № 6–9 показывают погрешность в 2–3 раза меньше, чем старые ММ № 2–5, но требуют для тарировки существенно большего количества точек (например, 63 против 35) и обязательного их расположения в том числе по периметру экрана.

3. Режим HD ($M = 1280$) незначительно (на 10–20 %) точнее, чем SD ($M = 640$), но быстродействие (KC) при этом может снижаться более чем в 2 раза.

4. Для камеры Defender C-090 новые ММ № 6–9 в реальных условиях дают меньшие погрешности, чем старые ММ № 2–5 в идеальных условиях.

5. ММ № 9, которая разработана для профессионального СТ «Ингибитор» с РТПр на базе перпендикулярных быстродействующих ПЗС-линеек с цилиндрическими линзами [21], не имеет преимуществ для РТПр на базе матричных камер.

6. «Дорогие» камеры (Canyon CNS-CWC5, 3,5 тыс. руб.) существенно (в ≈ 3 раза) качественнее «дешёвых» (DENN Photo, 300 руб.), остальные камеры по качеству и стоимости расположены между ними.

7. По оптимальному (минимальному) соотношению точность/быстродействие (σ/KC , без учёта стоимости камер) и с учётом технологичности тарировки для РТПр НУ в режиме SD с ММ № 5 или № 7–8 рекомендуются камеры Defender C-090 и iSlim 1300AF (в крайнем случае Intro WU702M), а для РТПр БУ

в режимах SD/HD с ММ № 7 или № 8 – камеры AIR Tone QC-02 и Canyon CNS-CWC5; ММ № 5 технологичнее для РТПр НУ, т.к. требует для ручной тарировки только $9(3 \times 3)$ – $12(4 \times 3)$ точек, когда как ММ № 7–8 требуют не менее $24(6 \times 4)$ – $35(7 \times 5)$ точек.

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

$$K_{\text{свал}} = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) - \arctg\left(\frac{mY}{mX}\right); \quad (1)$$

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

где (x_1, y_1) , (x_2, y_2) – текущие координаты двух реперных ИК-диодов, а $mX = (x_2 - x_1)$ и $mY = (y_2 - y_1)$ – эталонные расстояния между реперами (вычисляются при тарировке основной ММ); когда $S_{xy} \approx 1$ и $K_{\text{свал}} \approx 0$ – стрельба корректна, иначе, когда все же $K_{\text{свал}} < 5^\circ$ – пересчитываются координаты первого репера (левого, базового для ММ) – разворачиваются и масштабируются относительно координат линии прицеливания на кадре веб-камеры $X_{\text{ТПр}}$, $Y_{\text{ТПр}}$ (вычисляются при тарировке основной ММ путём «стрельбы» в первый реперный ИК-диод и считаются инвариантными от изменения расстояния стрельбы в разумных пределах $\pm 0,5$ м):

$$X_1 = (x_1 - X_{\text{ТПр}})\cos(-K_{\text{свал}})S_{xy} - (y_1 - Y_{\text{ТПр}})\sin(-K_{\text{свал}})S_{xy} + X_{\text{ТПр}}; \quad (2)$$

$$Y_1 = (x_1 - X_{\text{ТПр}})\sin(-K_{\text{свал}})S_{xy} - (y_1 - Y_{\text{ТПр}})\cos(-K_{\text{свал}})S_{xy} + Y_{\text{ТПр}}$$

где x_1, y_1 – координаты основного (левого) репера и X_1, Y_1 – инвариантные координаты репера.

Пристрелка РТПр БУ (необходимо для соответствия координат лазерного пятна и ТПр и зависит от типа прицела, рисунок 2) осуществляется по известным координатам мишени (X^*, Y^*), когда усредняются координаты лазерных пятен при многократной (N) «стрельбе» по ней, которые выдаёт РТПр (X_p, Y_p).

Далее производится программная коррекция координат от РТПр до ТПр (визуальной линии прицеливания) на ΔX и ΔY до $X_{\text{ТПр}}, Y_{\text{ТПр}}$ (рисунок 2) по:

$$\begin{aligned} X_{\text{ТПр}} &= X_p + \Delta X; Y_{\text{ТПр}} = Y_p + \Delta Y; \\ \Delta X &= X^* - (\sum_N^1 X_p) / N; \Delta Y = Y^* - (\sum_N^1 Y_p) / N. \end{aligned} \quad (3)$$

Повторная тарировка и пристрелка РТПр БУ требуются лишь при аппаратных изменениях конфигурации тренажёра благодаря инвариантности модели, а тарировка РТПр НУ может потребоваться регулярно из-за размещения камеры с проводами на ИО, а реперных ИК-диодов на дисплее, что подвержено случайным реконфигурациям.

Таким образом, в основе ММ РТПр лежат регрессионные уравнения, дополненные предварительным разворотом и масштабированием (1)–(2) для РТПр НУ (анализ и коррекция допустимого свала ИО и перемещения для инвариантности) и дополненные последующей пристрелкой (3) для РТПр БУ (смещение координат лазерного пятна до линии прицеливания).

Погрешности ММ РТПр учитываются в случайном рассеивании боеприпасов при моделировании внешней баллистики оружия путём вычитания дисперсий [12].

Заключение

Основные выводы по исследованию математических моделей регистраторов точки прицеливания и оптимизации алгоритмов работы:

– Стрелковый тренажёр с регистратором точки прицеливания начального уровня, который легко можно собрать самостоятельно (ноутбук, дисплей, веб-камера, ИК-диоды, макет оружия), хотя и не отличается высокой точностью (на исследованных моделях камер всё же $\sigma \ll 1,5$ т.д.) и технологичностью (требуется ручная ежедневная трудоёмкая тарировка математической модели), вполне способен привить основные навыки в хвате, удержании и прицеливании, что может способствовать его широкому применению (даже в домашних условиях).

– Стрелковый тренажёр с регистратором точки прицеливания базового уровня, сборка которого требует некоторых вложений средств (проектор, экран, ноутбук, HD-камера, лазерные

излучатели, макет оружия), отличается достаточной точностью (на исследованных моделях камер $\sigma \ll 0,5$ т.д.) и технологичностью (автоматическая тарировка математической модели и ручная однократная пристрелка), позволяет поддерживать почти все основные упражнения из Курса стрельб, что способствует его широкому применению (в учебных учреждениях широкого профиля).

– Проведенные исследования погрешностей математических моделей показали, что большинство общедоступных веб-камер полностью удовлетворяют требованиям использования в регистраторах точки прицеливания, но могут требовать индивидуальных настроек. Критерием годности камер является требование «погрешность регистратора точки прицеливания должна быть меньше баллистического рассеивания соответствующего оружия по параметру срединного отклонения», т. е. если $0,1$ т.д. это 1 см на 100 м и сравнивать будем $\sigma < B$ (B – табличное значение срединного отклонения, $\sigma = 1.483B$, сравниваем с запасом). У Пистолета Макарова $B = 4,5$ см на 25 м, т. е. $1,8$ т.д. и все камеры соответствуют, у автомата Калашникова модернизированного $B_v = 4–6$ см и $B_b = 4–11$ см на 100 м, т. е. $\approx 0,6$ т.д. и все камеры соответствуют, у автомата Калашникова $B_v = 4–3$ см и $B_b = 2–4$ см на 100 м, т. е. $\approx 0,4$ т.д. и многие камеры соответствуют, у пулемета Калашникова $B_v = 6$ см и $B_b = 8$ см на 100 м, т. е. $\approx 0,6$ т.д. и все камеры соответствуют, у снайперской винтовки Драгунова $B_v = 1,3$ см и $B_b = 1,4$ см на 100 м, т. е. $\approx 0,135$ т.д. и только некоторые камеры соответствуют (например, полупрофессиональная Canon CNS-CWC5).

Таким образом, показана актуальность разработки семейства модульных общедоступных стрелковых тренажёров различных уровней реализации с методиками компановки и настройки для широкого внедрения самостоятельно собранных тренажёров из общедоступных компонентов (ноутбуков, камер, проекторов, лазерных излучателей, микроконтроллеров, макетов оружия и пр.) на базе предложенных и исследованных математических моделей регистратора точки прицеливания и алгоритмов тарировки. Также актуальны внедрение и исследование эффективных методик обучения на электронных стрелковых тренажёрах, особенно для специфичных применений.

Список использованных источников

1. Жемчужников А.В. Современное состояние и перспективы технического развития электронных стрелковых комплексов / А.В. Жемчужников // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. 2021. – Т. 4. – № 4. – С. 116–119.

2. Коряковцев Д.А. Использование стрелковых тренажеров на занятиях по огневой подготовке в образовательных организациях МВД России / Д.А. Коряковцев, А.В. Плешков, В.И. Гурылев // Эпоха науки. – 2021. – № 25. – С. 96–98.

DOI: 10.24412/2409-3203-2021-25-96-98

3. Першин А.Т. Использование стрелковых тренажеров «Рубин» в профессиональной подготовке сотрудников полиции / А.Т. Першин, В.А. Большакова, К.С. Гусевская // Символ науки: международный научный журнал. – 2021. – № 4. – С. 101–103.

4. Юрков М.Н. Применение современных стрелковых тренажеров при проведении занятий по огневой подготовке курсантов образовательных учреждений ФСИН России / М.Н. Юрков // Молодой ученый. – 2021. – № 5 (347). – С. 374–375.

5. Огрыза А.В. Практическая значимость использования электронных тренажеров на занятиях по огневой подготовке / А.В. Огрыза, С.А. Ульрих, А.Н. Таран // Евразийский юридический журнал. 2022. – № 1 (164). – С. 419–420.

6. Иньшин Ю.Ю. Стрелять хорошо и много инновационные подходы в обучении курсантов стрельбе с использованием боевого лазерного интерактивного высокоточного комплекса «БЛИК-ВТ» / Ю.Ю. Иньшин, А.В. Липаткин // Вестник военного образования. – 2022. – № 3 (36). – С. 28–33.

7. 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.

8. 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

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. Егоров С.Ф. Семейство электронных стрелковых тренажеров «СТРИЖ»: уровни реализации и структура свободного программного обеспечения / С.Ф. Егоров // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14. – № 4. – С. 251–267.

DOI: 10.21122/2220-9506-2023-14-4-251-267

13. Егоров С.Ф. Регистратор точки прицеливания на базе видеокамеры / С.Ф. Егоров, В.С. Казаков, В.В. Коробейников // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1 (17). – С. 177–182.

14. Егоров С.Ф. Разработка методики испытания и исследование критериев отбора видеокамер для использования в стрелковых тренажерах / С.Ф. Егоров, В.С. Казаков, В.В. Коробейников, И.Г. Корнилов // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2014. – № 3. – С. 118–122.

15. 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.

16. 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

17. 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.

18. 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.

19. Kingkangwan K., Chalainanont N., Kumsap S. 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.

20. Лукин В.А. Обзор методов увеличения зоны регистрации видеокамеры стрелкового тренажера / В.А. Лукин, С.Ф. Егоров // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сб. науч. тр. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2015. – С. 233–238.

21. Егоров С.Ф. Стрелковый тренажер «Ингибитор»: программное обеспечение регистратора

точки прицеливания / С.Ф. Егоров [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18. – № 2. – С. 71–84.

DOI: 10.22213/2410-9304-2020-2-71-84

References

1. Zhemchuzhnikov AV. The current state and prospects for the technical development of electronic rifle complexes. Almanac of the Perm Military Institute of the National Guard. 2021;4(4):116-119. (In Russ.).

2. Koryakovtsev DA, Pleshkov AV, Gurylev VI. The use of shooting simulators in fire training classes in educational organizations of the MIA of Russia. Age of Science. 2021;25:96-98. (In Russ.).

DOI: 10.24412/2409-3203-2021-25-96-98

3. Pershin AT, Bol'shakova VA, Gusevskaya KS. The use of «Rubin» rifle simulators in the professional training of police officers. Symbol of science: international scientific journal. 2021;4:101-103. (In Russ.).

4. Yurkov MN. The use of modern shooting simulators when conducting fire training classes for cadets of educational institutions of the FPS of Russia. Young scientist. 2021;5(347):374-375. (In Russ.).

5. Ogryza AV, Ul'rikh SA, Taran AN. Practical significance of using electronic simulators in fire training classes. Eurasian Law Journal. 2022;1(164):419-420. (In Russ.).

6. In'shin YuYu, Lipatkin AV. Shoot well and many innovative approaches in training cadets in shooting using the combat laser interactive high-precision complex "BLIK-VT". Bulletin of Military Education. 2022;3(36):28-33. (In Russ.).

7. 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.).

8. 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):43-54. (In Russ.).

DOI: 10.7256/2454-0692.2023.1.38047

9. 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):132-137. (In Russ.).

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

11. 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):206-211. (In Russ.).

12. Egorov SF. Family of electronic shooting simulators «STrIzh»: levels of implementation and structure of free software. Devices and methods of measurements. 2023;14(4):251-267. (In Russ.).

DOI: 10.21122/2220-9506-2023-14-4-251-267

13. Egorov SF, Kazakov VS, Korobeynikov VV. Recorder of aiming point on the basis of video camera. Intelligent systems in production. 2011;(1):177-182. (In Russ.).

14. Egorov SF, Korobeynikov VV, Kazakov VS, Kornilov IG. Development of test methodology and examination of criteria for selection of video cameras for use in shooting simulators. Bulletin of ISTU named after M.T. Kalashnikov. 2014;(3):118-122. (In Russ.).

15. Jedrasiak K, Daniec K, Sobel D. The Concept of Development and Test Results of the Mul-timedia Shooting Detection System. Future Technologies Conference (FTC) San Francisco. 2016:1057-1064 p.

16. Bogatinov D, Lameski P, Trajkovik V. Firearms training simulator based on low cost motion tracking sensor. Multumedia Tools and Applications. 2017;76(1):1403-1418. **DOI:** 10.1007/s11042-015-3118-z

17. 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).

18. 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

19. Kingkangwan K, Chalainant 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 pp.

20. Lukin VA, Egorov SF. Overview of methods for enlarging the recording area of the shooting simulator video camera. Information technology in science, industry and education (Izhevsk). 2015:233-238 p. (In Russ.).

21. Egorov SF, Kornilov IG, Shelkovnikov YuK, Kiznertsev SR, Korobeinikova IV, Markov EM. Shooting simulator «Inhibitor»: targeting point recorder software. Intelligent systems in production. 2020;18(2):71-84. (In Russ.). **DOI:** 10.22213/2410-9304-2020-2-71-84