

УДК 004.928; 004.421

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

Стрелковый тренажер «Ингибитор»: математическое обеспечение спецэффектов выстрела

С. Ф. Егоров, кандидат технических наук, доцент,
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия
Ю. К. Шелковников, доктор технических наук, профессор,
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия
Е. Ю. Шелковников, доктор технических наук, профессор,
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия
В. Н. Сяктерев, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
К. Ю. Петухов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
Г. В. Миловзоров, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
В. А. Афанасьев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Описываются алгоритмы подготовки стрелков к выполнению упражнения и ведения его хода с оперативным информированием, а также реализация математического обеспечения спецэффектов выстрела (звуки, трассиры, взрывы, попадания, промахи) для оптико-электронного стрелкового тренажера «Ингибитор», разработанного в Институте механики УдмФИЦ УрО РАН и на кафедре «Вычислительная техника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова совместно с АО «Концерн «Калашников». Приводится тактико-техническое задание на визуальные и звуковые эффекты выстрела, такие как трассиры, разрывы гранат, промахи, ответный огонь, управляемый полет ПТУРС. Кроме этого, руководитель должен контролировать датчики имитаторов оружия при подготовке упражнения (магазина, переключателя огня, патрона в стволе и показаний прицела) и вести ход упражнения с оперативным просмотром мишеней и выстрелов и изменять количество и тип боеприпасов (можно все боеприпасы сделать трассирующими). Для удобства стрелки выбираются из базы данных по отделениям. Просмотр ошибок стрельбы и точек прицеливания и попадания позволяет корректировать действия обучаемых командами и оперативно выводить на проекционный экран служебную информацию для самостоятельных занятий. Проведено исследование факторов, влияющих на баллистическое рассеивание, и сформулированы рекомендации по его моделированию. Обзор литературы подтверждает перспективность дальнейших исследований и разработки электронных стрелковых тренажеров благодаря совершенствованию вычислительных средств и развитию программных библиотек с целью повышения точности имитации процесса выстрела и гибкой настройки отображения текущих результатов учебных упражнений. Необходимо постоянно расширять возможности реалистичности спецэффектов выстрела и снижать себестоимость, а значит, повышать конкурентоспособность электронных стрелковых тренажеров.

Ключевые слова: стрелковый тренажер, звуковые эффекты, трассирующие боеприпасы, идентификация промаха, подготовка к стрельбе.

Введение

Разработка электронных стрелковых тренажеров (т. е. для ручного оружия и не использующих боеприпасы) с реалистичной мишенной обстановкой [1–8] и поддержкой как упражнений Курса стрельбы, так и самостоятельно созданных, является важной задачей, т. к. производство любого вида стрелкового вооружения, согласно нормативным документам, требует и производства тренажера для привития навыков прицеливания и стрельбы.

Тренажер может быть просто механической насадкой на боевое изделие (например, командирский ящик КЯ-83 или ПУС-7), но электронные тренажеры или боевые мишени, безусловно, обладают большими функциональными возможностями.

Стрелковый тренажер «Ингибитор» разрабатывался и модифицировался в Институте механики УдмФИЦ УрО РАН и на кафедре «Вычислительная техника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова совместно с АО «Концерн «Калашников» и принят на вооружение под индексом 1У33. Нар-

ботки в настоящее время используются для следующего семейства тренажеров [9].

Актуальность дальнейшего исследования и разработки электронных стрелковых тренажеров основана на высокой эффективности тренажеров и мультимедийных тиров особенно на первоначальном этапе обучения стрельбе для постановки правильной стойки, хвата, дыхания, удержания оружия, прицеливания, производства плавного спуска курка и отражена в работах [10–15], а также необходимо постоянное совершенствование методик обучения [16–19]. Кроме этого, тренажеры отличаются безопасностью тренировок и быстрой окупаемостью по сравнению с войсковыми стрельбищами и боевыми тирами.

Целью статьи является описание математического обеспечения спецэффектов выстрела (звук, полет, промах, попадание) для повышения реалистичности картины боя и алгоритмов подготовки и контроля выполнения сценариев стрелковых упражнений с пользовательским интерфейсом для тактического оптико-электронного тренажера стрелкового оружия «Ингибитор».

Тактико-техническое задание

Требования ТТЗ [20] к математическому обеспечению спецэффектов выстрела и контроля выполнения упражнения предполагают:

1. Сценарии боевых действий должны включать ... также различные эффекты боя (вспышки и дым выстрелов, разрывы гранат, снарядов и ракет, поднимаемую от них пыль), трассирующие следы боеприпасов.

2. Автоматическую регистрацию и отображение на мониторе пульта руководителя (в процессе стрельбы) и имитаторе мишенной обстановки (после выполнения упражнения): точек прицеливания и попадания в цель или близкого падения на землю пуль, гранат и ПТУРС; действий обучаемых при оружии (установка дальности на прицельных устройствах и переводчика огня, зарядание, плавность нажатия спускового крючка и завал оружия), а также кривых динамики прицеливания (начальное упражнение, мишень N4) по каждому стрелку; числа возможных выстрелов и расход боеприпасов по каждой цели..., времен обстрела мишени и ее поражения...

Таким образом, основные задачи создания математического обеспечения спецэффектов выстрела сводятся к разработке моделей и алгоритмов для реализации трассирующих боеприпасов и мест их падения с видимыми разрывами и звуковым сопровождением картины боя, в том числе реализации оперативного управления снарядом ПТУРС 9К115, и к разработке алгоритмов контроля подготовки выполнения упражнений и действий при оружии и отображения мишеней с точками прицеливания и попадания, а также к проведению исследования рассеивания боеприпасов.

Подготовка к выполнению упражнения

ПО тренажера разработано в системе программирования Borland Delphi 5.0 на проблемно ориентированном языке программирования Object Pascal. После выбора и настройки сценариев стрелковых упражнений (см. предыдущие статьи цикла «Ингибитор» в этом журнале) по кнопке «Далее>>» переходим к вводу стрелков и настройке имитаторов оружия (ИО) – появляется окно для выбора имен стрелков из «Списка» групп (рис. 1) для каждого рабочего места (в горном варианте еще задается «позиция» по высоте – ярус) и для изменения количества и вида боеприпасов. Остальные элементы окна используются только для контроля датчиков ИО: магазина, переводчика огня, прицела, заряда.

Внизу окна в «Название группы» отображается текущая учебная группа из списка зарегистрированных (выпадает по стрелке вниз). Список считывается из файла «INI\group.txt», а текущая группа и фамилии стрелков для каждого рабочего места сохраняются в файле «INI\curshot.txt», что позволяет повторять упражнение без лишнего ввода информации. Для создания новой учебной группы ее имя вводится в данное поле и нажимается кнопка сверху «Список» для построчного ввода участников новой группы (рис. 2) и в конце ввода нажимается «Сохранить». Для каждой «группы» создается отдельный файл «INI\группа.txt» с фамилиями участников и имя файла группы регистрируется в базе «INI\group.txt».

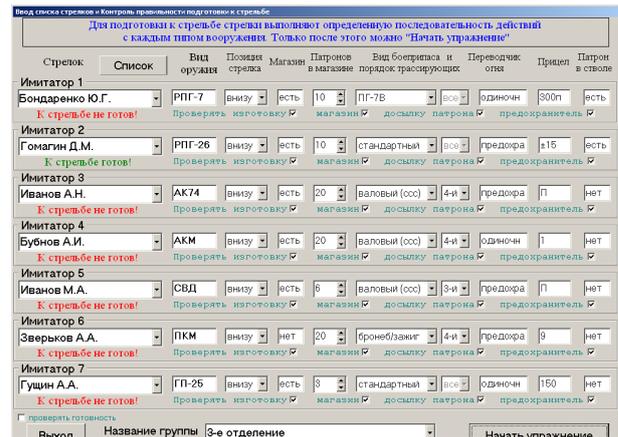


Рис. 1. Контроль подготовки к выполнению упражнения

Fig. 1. Monitoring Preparation for Exercise

Далее выбираются из списка фамилии «Стрелков» для каждого рабочего места «Имитатор №» (рис. 1). При повторении фамилии поле ввода помечается красным. После ввода фамилий в случае горного варианта тренажера выбирается «Позиция стрелка» в третьем столбце «внизу»/ «вверху» (равнина / горы) для учета угла вылета при расчете баллистики. Далее руководитель может изменить количество патронов в столбце «Патронов в магазине», где установлено значение согласно выбранному упражнению Курса стрельб или изменить «Вид боеприпаса и порядок трассирующих», остальные поля только отображают информацию от датчиков ИО для контроля их состояния.

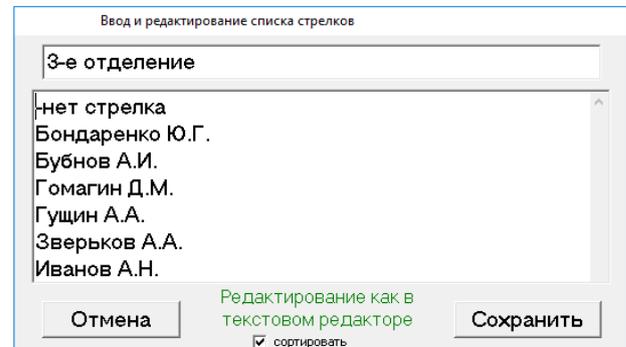


Рис. 2. Ввод списка стрелков группы

Fig. 2. Enter group arrows list

По устной команде руководителя «Приступить к упражнению» стрелки занимают рабочие места и осуществляют подготовку: подключают магазин, заряжают ИО (передергивают затвор или задвигают гранату/выстрел в ствол), ставят на предохранитель и докладывают руководителю, который видит в окне правильность процедуры подготовки: под фамилией стрелка загорается «К стрельбе готов!» зеленым цветом, иначе горит красным «К стрельбе не готов!», и руководитель делает устные замечания. Проверку готовности можно отключить у каждого по отдельности или у всех вместе. Без полной готовности всех стрелков учебной группы не активируется кнопка «Начать упражнение». Кроме этого, руководитель видит установку прицелов и может делать замечания.

После выбора сценария упражнения и подготовки стрелков по кнопке «Начать упражнение» все шаблонные мишени настраиваются под конкретные ИО и директрисы рабочих мест с учетом разброса дальности, времени появления и положения по фронту (см. работы С. Ф. Егорова, И. В. Коробейниковой и др. в этом журнале за 2019–2020 гг.) и сгенерированная мишенная обстановка передается на следующий этап для начала выполнения стрелкового упражнения.

Спецэффекты выстрела

К спецэффектам выстрела относятся базовые и расширенные. Базовые рассмотрены в (см. работы С. Ф. Егорова и др. в этом журнале за 2020–2021 гг.) (кроме 1, 7, 8, которые будут рассмотрены здесь позднее) и включают:

1. Расчет точки прицеливания (ТПр) в мишенную обстановку.

2. Зависимость баллистической траектории от ИО, угла курса и угла бросания (по ТПр на экране) с учетом показаний датчиков прицела ИО и их типа (механический / оптический / ночной).

3. Зависимость баллистической траектории от типа боеприпаса через баллистический коэффициент и начальную скорость.

4. Зависимость баллистической траектории от температуры и давления воздуха (влажность игнорируется).

5. Зависимость баллистической траектории от силы бокового ветра.

6. Расчет точки попадания в мишенную обстановку или стрельбище.

7. Расчет множественного поражения осколочными боеприпасами.

8. Расчет управляемой траектории полета ПТУРС 9К115.

Расширенные спецэффекты выстрела включают реалистичные визуальные и звуковые факторы имеющие важное значение для привития навыков стрельбы:

1. Трассирующий видимый след боеприпасов (пули, гранаты, снаряда).

2. Эффекты от промаха (фонтанчики пыли от пуль и разрывы от гранат).

3. Звуковые эффекты выстрела (дублирует аппаратный звук в наушниках шлема) и промаха (взрывы) и стрельбища (шум ветра и т. п.) и бронетехники (звук мотора) и «противника» (ответный огонь – выстрелы).

4. Эффекты попадания (возгорание бронетехники, падение цели, рассматриваются в следующей статье цикла).

Алгоритм вывода звуковых эффектов

Итак, кроме вывода изображений мишенной обстановки алгоритм анимации отвечает и за вывод звуковой картины боя, которая включает в себя:

1. Вывод фоновых монозвуков стрельбища: если среди активных мишеней присутствует бронетехника, то выводится звук мотора (для ближайшего и с ослаблением громкости от дальности), иначе для летнего стрельбища (а существует специальный признак «зимнего» стрельбища, для которого могут ис-

пользоваться мишени в зимней расцветке) выводится «звук леса»: пение птиц и шелестение листвы.

2. Вывод монозвука выстрела: на колонках тренажера дублируются звуки выстрела обучаемого, параллельно они же выводятся через встроенное ПО КИО (контроллера имитатора оружия) на наушники шлема стрелка на аппаратном уровне и замешиваются с ослаблением на резистивных сборках в стереонаушники соседей.

3. Вывод стереозвуков спецэффектов: разрывы гранат и ответный огонь целей, также с ослаблением громкости и с задержкой от дальности. Режим стерео позволяет обучаемым определять место источника звука на экране.

4. Ретрансляция команд руководителя с микрофона.

Для реализации вышеописанных звуковых эффектов используется стандартная многоканальная (0...12) библиотека *Windows Direct Sound* независимого вывода звуковых фрагментов с заданием индивидуальной громкости и баланса и с финальным смешиванием стереоканалов и выводом суммарного потока на входящие в комплектацию тренажера стереоканалки. При этом 0-й поток отвечает за вывод фоновой звуковой картины («шум леса» с минимальной громкостью или «мотор» с реалистичной громкостью от дальности) в режиме зацикливания и форматом «моно». Поток с 1-го по 8-й повторяют звуки выстрелов с рабочих мест, когда каждый выстрел немедленно запускает вывод звукового фрагмента в формате «моно», соответствующего загруженному звуку в ПО КИО (при этом новый выстрел с рабочего места, например в очереди с частотой 10 Гц, полностью заменяет вывод старого звука, т. е. заглушает предыдущий выстрел). Звуковые потоки 9...12 отвечают за вывод стереоспецэффектов – разрывов гранат или ответный огонь целей – и используются циклически (9-10-11-12-9-), заменяя самые старые (т. е. одновременно можно слышать не более 4 взрывов, например).

В качестве источников звука с амплитудой A_0 используются записанные авторами с реальных стрельб звуковые файлы с эффективной частотой 4 КГц (т. е. 8000 отчетов в секунду, стандарт для того времени).

Итак, стереозвуки спецэффектов выводятся с задержкой t_3 (в с) от дальности источника d (в м) с учетом скорости звука: $t_3 = d/a$, где

$$a = \sqrt{p * 144,5372} \sqrt{\frac{T}{273}} - \text{скорость звука в воздухе (для}$$

$T_c = 288 \text{ К} = 15 \text{ °С}$ и $p_c = 760 \text{ мм рт. ст.}$, $a_c = 340,4 \text{ м/с}$), которая существенно зависит от температуры (T в К) и незначительно от давления (p в мм рт. ст.), т. е. сначала отображается вспышка-разрыв на экране, а затем (через t_3) раздается звук с затуханием как и в реальности.

Согласно ГОСТ 31295.1–2005 затухание звука (в дБ/км) для частоты 1000 Гц от температуры и влажности, объединенное в сезоны года (от -20° до $+35^\circ$), представлено в таблице и линейно-кусочно аппроксимировано $K_3(T)$, а текущая амплитуда A звука вычисляется по: $A = A_0 * 10^{\frac{d * K_3(T)}{10000}}$

Затухание амплитуды звука в воздухе при $p=760$ мм рт. ст., дБ/кмAttenuation of sound amplitude in air at $p=760$ мм рт. ст., дБ/км

T/φ	-20°/ 80%	-15°/ /80%	-10°/ /80%	-5°/ /70%	0°/ 70%	5°/ 70%	10°/ 70%	15°/ 60%	20°/ 60%	25°/ 60%	30°/ 50%	35°/ 50%
1000 Гц	11.7	10.9	7.82	6.38	4.64	3.80	3.66	4.06	4.80	5.96	7.03	8.43

$$K_3(T) = \text{Tabl}\left[\left\lfloor \frac{(T+20)}{5} \right\rfloor\right] + \left(\text{Tabl}\left[\left\lfloor \frac{(T+20)}{5} \right\rfloor\right] + 1 \right) - \text{Tabl}\left[\left\lfloor \frac{(T+20)}{5} \right\rfloor\right] \left(\frac{(T+20)}{5} - \left\lfloor \frac{(T+20)}{5} \right\rfloor \right).$$

Математическая модель восприятия стереозвука, согласно (Казаков В. С., Веркиенко Ю. В., Коробейников В. В., Афанасьева Н. Ю. Оптико-электронные стрелковые тренажеры. Теория и практика. Ижевск : ИПМ УрО РАН, 2007. 260 с.), предполагает, что человек различает низкочастотную составляющую (до 1,5 КГц) по разнице времен прихода звуковой волны к каждому уху, а высокочастотную (выше 3 КГц) по разнице громкости для каждого уха (когда голова экранирует звуковую волну для дальнего уха). При этом чем дальше источник звука, тем высокие частоты затухают сильнее низких. То есть для низкочастотного звука со скоростью a задержка t' для дальнего уха когда между ушами b и азимут источника β , дающий прибавку расстояния d' : $t' = \frac{d'}{a} = \frac{b \cdot \sin(\beta)}{a}$,

где $b=21$ см=0,21 м, $\beta=\arctg(X/Z)$, (X,Z) – координаты источника звука в системе стрельбища при $\sin(\beta) = \frac{X}{\sqrt{X^2 + Z^2}}$ дают $t' = \frac{0,21}{a} \frac{X}{\sqrt{X^2 + Z^2}}$. А для

высокочастотного звука ослабление громкости A' для дальнего уха принимаем:

$$A' = A(1 - |\text{tg}(\beta)|) = A \left(1 - \left| \frac{X}{Z} \right| \right).$$

Спецэффекты звука выводятся на стереоколонки у проекционного экрана шириной 6,5 м и для создания корректной стереокартины для всех 8 рабочих мест тренажера на фронте в 6 м и на расстоянии 5,5 м от экрана в тренажере реализована только высокочастотная модель стереозвука, т. е. с ослаблением уровня для «дальнего» уха и обучаемым при выполнении упражнений ориентироваться приходится в том числе на визуальные спецэффекты выстрела, т. к. они появляются на экране раньше (см. далее).

Таким образом, звуковая картина боя реализована на основе математических моделей аппаратно с помощью стандартных библиотек и практически не требует вычислительных ресурсов и полностью поддерживает реалистичность стрельб с задержкой спецэффектов t_s и затуханием стереогромкости AA' .

Поддержка баллистики ПТУРС 9К115

ПТУРС 9К115 является противотанковым управляемым реактивным снарядом с дальностью до 2000 м и средней скоростью $V=180$ м/с. Первые 0,3 с (≈ 50 м) полета система управления не работает, а далее, оптически фиксируя инфракрасное излучение реактивного сопла (точнее ИК-метки – пиротехнического трассера), по разматывающимся проводам

стремится вывести снаряд на линию прицеливания, управляя оперением (рулями) реактивного снаряда (с учетом его вращения и с компенсацией веса). При этом линия прицеливания через оптический прицел (рис. 3, центральный просвет) постоянно перемещается за бронированной целью оператором, что и должно гарантировать поражение. То есть особенностью баллистики ПТУРС является переменная ТПр и кусочно-прямолинейная (при асимптотической аппроксимации) траектория полета благодаря обратной связи с переменными углами курса и тангажа без зависимости от температуры и давления воздуха и даже от направления и силы ветра.

Сначала в каждом цикле анимации мишенной обстановки (шаг $t_{\text{ш}}=1/25$ с) вычисляются по координатам пятна ИК-лазера 9К115 на экране (X_s, Y_s) тангенсы дирекционного угла ψ и угла возвышения θ ТПр и текущих углов ψ_i и θ_i трассера ПТУРС:

$$\tan(\psi) = \frac{(X_s - W_2)}{L_s / S_s} \quad \tan(\theta) = \frac{(H_s - Y_s) - H_0 / S_s}{\sqrt{(X_s - W_2)^2 + (L_s / S_s)^2}}$$

$$\tan(\psi_i) = \frac{X_i}{Z_i} \quad \tan(\theta_i) = \frac{Y_i}{\sqrt{Z_i^2 + X_i^2}},$$

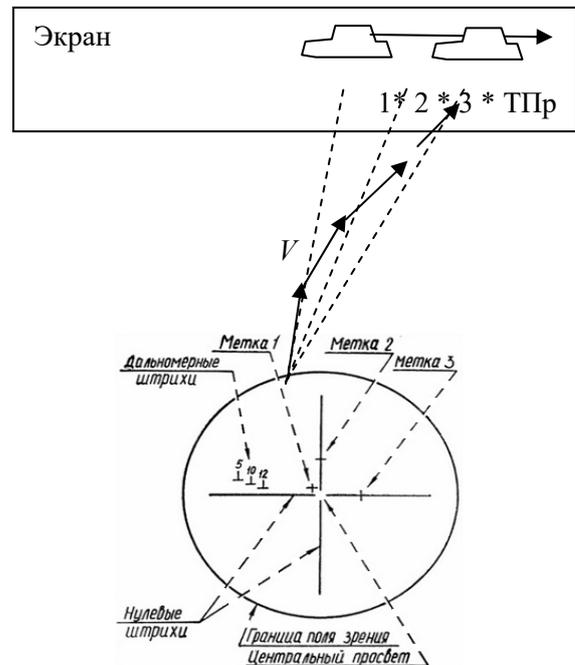


Рис. 3. Вектор скорости и оптический прицел 9К115

Fig. 3. Velocity vector and optical sight 9K115

где X_i, Y_i, Z_i – текущие координаты снаряда в системе стрельбища; $W_2=1024 \cdot 3/2=1536$ – горизонтальная середина экрана в пикселях; $L_3/S_3=5000/2,15$ – расстояние до экрана в пикселях; $H_3 - H_0/S_3=768 - 250/2,15$ – «переворот» координаты Y_3 для совместности систем координат.

Далее рассчитывается новый вектор постоянной по модулю скорости V ПТУРС по направлению к линии новой ТПр (рис. 3) и одновременно на каждом шаге ($i=20 \dots 277$) коррекции траектории снаряда ($\Delta = V \cdot t_{\text{шт}} = 180/25 = 7,2$ м) решается на текущем отрезке траектории «задача встречи» (см. работу С. Ф. Егорова и др. в этом журнале № 2 за 2022 г.) с целью, местным предметом или поверхностью стрельбища (промах). Первые $0,3+0,5$ с ($i=0 \dots 19$, где $0,5$ – инерционность системы управления ПТУРС) прямой траектории снаряда с учетом

$$\cos^2(\alpha) = \frac{1}{1 + \tan^2(\alpha)}, \quad \sin^2(\alpha) = 1 - \cos^2(\alpha) \quad \text{рассчитываются по:}$$

$$X_0 = 0 \quad Y_0 = 0 \quad Z_0 = 0 \quad i = 1 \dots 19(0,3 + 0,5 \text{ с}) \quad X_i = i\Delta \sin(\psi) \quad Y_i = i\Delta \sin(\theta) \quad Z_i = i\Delta \cos(\psi).$$

Последующие, уже управляемые шаги траектории (до 11 с полета ≈ 2000 м) должны сводить разницу углов снаряда и ТПр ($|\psi - \psi_i|, |\theta - \theta_i|$) к нулю с учетом максимально допустимого отклонения γ_{max} и рассчитываются по формулам, но углы ТПр $\psi_{-0,5}, \theta_{-0,5}$ берутся старые с задержкой в $\approx 0,5$ с:

$$i = 20 \dots 277(25 \cdot 11 \text{ с}) \quad X_i = X_{i-1} + \Delta \sin(\psi^*) \\ Y_i = Y_{i-1} + \Delta \sin(\theta^*) \quad Z_i = Z_{i-1} + \Delta \cos(\psi^*) \\ \psi^* = \psi_{i-1} + \text{MinABS1} \left(\frac{\psi_{-0,5} - \psi_{i-1}}{2}, \pm \gamma_{\text{max}} \right), \\ \theta^* = \theta_{i-1} + \text{MinABS1} \left(\frac{\theta_{-0,5} - \theta_{i-1}}{2}, \pm \gamma_{\text{max}} \right),$$

где функция $\text{MinABS1}(P1, P2)$ возвращает минимальный по модулю параметр, но со знаком первого параметра $P1$.

Таким образом, стрелковый тренажер при поддержке баллистики 9К115 выступает в роли системы с обратной связью, когда параметры управления снарядом должны соответствовать инерционности реальной системы управления реактивным снарядом по переменной точке прицеливания (например, введена временная задержка реакции ПТУРС на управление $\approx 0,5$ с).

Контроль хода выполнения упражнения

После подготовительных операций – выбора сценария упражнения и списка обучаемых с проверкой имитаторов оружия – по кнопке «Начать упражнение» (рис. 1) запускается окно «Управление ходом занятия» (рис. 4), где будут отображаться текущие результаты стрельбы всех рабочих мест и текущие две обстрелянные мишени со связанными пунктирной линией ТПр (квадратная метка) и ТП (круглая метка).

Перед началом упражнения и по его ходу можно по кнопке F10 – посмотреть состояние имитаторов и откорректировать боеприпасы (рис. 1), по F11 –

просмотреть сценарий упражнения с траекториями движения текущих мишеней, по F12 – настроить отображения информации и параметры сценария упражнения.

По нажатию «Начать занятие» запускается стрелковое упражнение и как правило через 10 с появляются первые мишени на экране и можно начинать стрельбу. Руководитель может отдавать команды и пояснения для обучаемых.

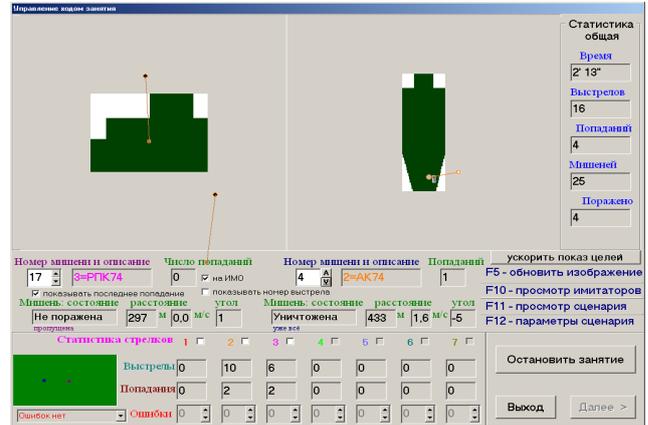


Рис. 4. Окно управления ходом занятия и контроля

Fig. 4. Lesson and Control Progress Control Window

В правом верхнем углу окна выводится общая статистика (информация о времени, мишенях, общем числе выстрелов и попаданий). Левее отображаются поля вывода информации о двух мишенях по выбору руководителя, об их состоянии и точках прицеливания и попадания. Точки попадания (круглые) отображаются своим цветом для каждого стрелка (№ 1 – красный, № 2 – оранжевый, № 3 – малиновый и т. д., как на рис. 4 «статистика стрельбы») и связаны линией со своими точками прицеливания (квадратными). Для левой мишени можно включить режим «показывать последнее попадание» (и близкий промах), отображение пораженной мишени на панорамном экране для стрелков по флажку «на ИМО», «показывать номера выстрелов» у точек попадания. Переместив курсор на поле «описание» мишени, можно увидеть в подсказке ее название и размер, ниже отображается состояние мишени («пассивна» – еще не отображается на панорамном экране, «активна» – отображается, «скрыта» – временно пропала по условиям сценария, «поражена» – есть попадание, «уничтожена» – задание выполнено, «не поражена» – пропущена стрелком), расстояние до нее, скорость перемещения и угол расположения мишени относительно центра экрана в градусах (влево с минусом, вправо с плюсом).

В нижней части окна выводится статистика для каждого стрелка: количество выстрелов, попаданий и ошибок. Левее расположен общий список ошибок и схематичное изображение стрельбища с расположением двух выбранных мишеней, цвет которых соответствует надписи «Номер мишени и описание». Фиксируемые ошибки обучаемых закодированы символами:

«G» – были ошибки при подготовке к стрельбе (магазин, или предохранитель, или затвор);

«T» – обстреляна «чужая» цель, попадание не фиксируется;

«D» – попадание в местный предмет (не в цель);

«B» – попадание в бронецель из стрелкового оружия обычным патроном;

«A» – одиночный выстрел при установках «автомат» - оценка снижается;

«L», «R» – свал оружия влево/вправо (недопустимый наклон в стороны более 5°);

«S» – срыв спускового крючка (резкое дерганье пальцем) - настраивается;

«I» – установлен неправильный прицел (дистанция мишени более 500 при «П» или более ±150 м при других прицелах);

«O» – неровный отвес у ГП-25 (неправильное прицеливание);

«M» – аппаратная ошибка тренажера (перегрелся пневмоклапан отдачи);

«P» – оставлен патрон в стволе в конце упражнения;

«N» – не обстреляна цель (пропустили или не успели);

«E» – ошибки завершения упражнения (магазин или предохранитель или затвор).

По ходу упражнения можно по «F5» обновить изображения в окне и на экране. Для просмотра мишеней только конкретного стрелка необходимо установить флажок возле его номера в строке «статистика стрелков». Если ни один флажок не установлен, то просматриваются поочередно все мишени упражнения. Во время занятия можно посмотреть состояние и установки имитаторов оружия (по нажатию кнопки «F10», рис. 1), изменить количество патронов, их вид и порядок трассирующих. По кнопке «ускорить показ целей» ликвидируется пауза между показом групп целей, когда предыдущая группа полностью уничтожена. По «F12» можно настроить отображение служебной информации на проекционном экране о рабочих местах: внизу – название ИО, оставшейся боезапас и текущий прицел, сверху – текущая обстрелянная мишень с ТПр+ТП (размером до 25 % от высоты экрана), сверху экрана можно для всех – время, температура, давление, сила ветра.

После истечения времени упражнения или после принудительного прекращения занятия (по нажатию кнопки «Остановить занятие»), обучаемые должны выполнить завершающие операции (отсоединить магазин, удалить патрон из патронника, поставить оружие на предохранитель) и по кнопке «Далее» осуществляется переход к анализу и оценке результатов стрелкового упражнения (что будет рассмотрено в следующей статье цикла).

Модель визуальных спецэффектов выстрела

Итак, визуальными спецэффектами реалистичности выстрела, очень важными для привития навыков стрельбы, являются трассирующий след боеприпаса и эффекты промаха для корректировки прицеливания (Егоров С. Ф., Казаков С. В. Моделирование мишенной обстановки и спецэффектов в стрелковом

тренажере // Информационные системы в промышленности и образовании : сб. трудов мол. ученых. Ижевск : ИПМ УрО РАН, 2008. С. 66–67).

Для визуального отслеживания обучаемым траектории полета гранат, а их скорость варьируется от 75 м/с для ГП-25 до 280 м/с для РПГ-7, т. е. гранаты вполне уловимы глазом (особенно благодаря их размеру и реактивному соплу), необходима прорисовка баллистической кривой (см. работу С. Ф. Егорова и др. в этом журнале №2 за 2022 г.). Тоже относится и к трассирующим пулям стрелкового оружия. При расчете полета гранаты в каждом цикле анимации (1/25 с) отображается метка: граната ГП-25 – как

темный «камень» , граната РПГ и 9К115 как го-

рящее красно-желтое сопло  или , трассирующие пули как яркие точки .

Для эффективного поражения целей необходимо наблюдать на поле боя место падения пуль/гранат. При промахе рассчитывается место попадания в рельеф стрельбища и отображается фонтанчик пыли для пуль размером 70×75 см (только до 300 м) или разрыв для гранат размером от 223×180 см до 467×388 см (только до 1500 м, но всегда со стереозвучком). При этом используется несколько видов фонтанчиков (3) и разрывов (5) со случайным выбором (рис. 5).

Спецэффекты промаха выстрела отображаются как движущиеся мишени со сменой спрайтов последовательности (см. работы С. Ф. Егорова в этом журнале № 2-3 за 2023 г.), но хранятся в отдельном программном списке и выводятся без эффекта качественного смешивания с фоном стрельбища (используется простое линейное масштабирование спрайта и копирование пикселей) для высокого быстродействия из-за большого размера самих спрайтов (так взрыв может достигать 4,7×3,9 м) и с другим коэффициентом предварительного (качественного) масштабирования для взрывов 0,33 (вместо 0,5 для целей).

Время жизни спрайта выбрано 8/25 с (обновление в каждом 8 цикле). Так как взрывы носят характер хаотичных дымовых облаков, то их качество масштабирования и отображения никак не влияет на реалистичность и поэтому быстродействие выходит на первый план в алгоритме анимации спецэффектов. Кроме этого, возможна (но не воплощена) реализация «полупрозрачности» дымов для яркостей пикселей спрайта $RGB (F_R > 200) \& (F_B > 200) \& (F_G > 200) \& (|F_R - F_G| \leq 16) \& (|F_G - F_B| \leq 16)$, чтобы сквозь взрыв просвечивала мишенная обстановка (как в тумане) (см. работу С. Ф. Егорова и др. в этом журнале № 4 за 2023 г.).

Таким образом, для программной реализации визуальных спецэффектов создается программный список спецэффектов, куда включаются взрывы как «живые» неподвижные объекты (т. е. со сменяемыми спрайтами с шагом 0,32 с до их окончания) и трассиры как движущиеся объекты, которые выводятся как мишени (новое изображение трассира затирает старое).

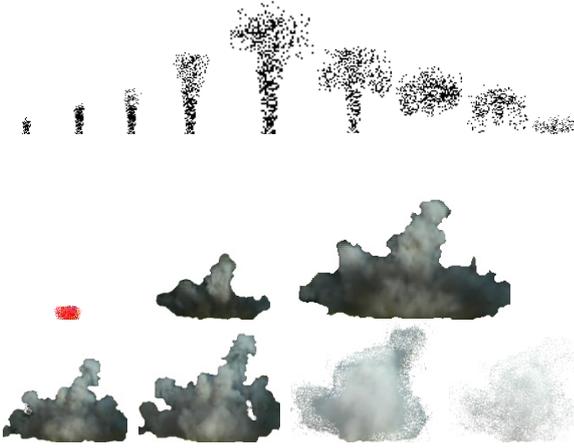


Рис. 5. Примеры эффектов промаха: пыль и взрыв

Fig. 5. Examples of miss effects: dust and explosion

Алгоритм анимации (см. работу С. Ф. Егорова в этом журнале № 3 за 2023 г.) использует этот список аналогично списку основных объектов, но для быстрого вывода выводит спрайты спецэффектов без смешивания с фоном и с простым масштабированием, что позволяет сохранить реалистичность анимации мишенной обстановки даже при интенсивной «стрельбе» со спецэффектами. К тому же вывод визуальных спецэффектов взрыва имеет наивысший приоритет, и при нехватке времени в 1/25 с на полноценную прорисовку картины боя спецэффекты игнорируются.

Исследование баллистического рассеивания

Согласно наставлениям на виды вооружений тренажера причины, вызывающие баллистическое рассеивание, могут быть сведены к трем группам (Смирнов А. А., Казаков В. С., Егоров С. Ф. Моделирование траектории стрельбы в компьютерных стрелковых тренажерах // Сборник научных трудов аспирантов и преподавателей. Ижевск: Институт технологических наук и проблем реструктурирования в промышленности, 2001. С. 43–45; Смирнов А. А. Разработка методики и алгоритмов имитации местности и мишенной обстановки в стрелковых тренажерах : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2001. 148 с.):

1. Причины, вызывающие разнообразие начальных скоростей боеприпасов (допуски в производстве боеприпасов).

2. Причины, вызывающие разнообразие углов бросания и направления стрельбы (навыки прицеливания и плавности спуска).

3. Причины, вызывающие разнообразие условий полета пули (температура и давление воздуха, ветер).

Все эти причины можно объединить в две группы:

1. Причины, связанные со стрелком в системе «стрелок – оружие» (ошибки прицеливания, неустойчивое удержание оружия, неплавный спуск курка, неправильная установка прицельной планки и т.д.), т. е. субъективные причины.

2. Причины, связанные с атмосферными условиями (ветер, температура и т. д.), износом и несо-

вершенством ствола, несовершенством патрона (пули и пороха), т. е. объективные причины.

Тогда угловую дисперсию рассеивания можно представить как сумму дисперсий $\sigma_{\text{рас}}^2 = \sigma_{\text{со}}^2 + \sigma_{\text{пса}}^2$,

где $\sigma_{\text{со}}^2$ – угловая дисперсия первой группы причин (система «стрелок – оружие»), $\sigma_{\text{пса}}^2$ – угловая дисперсия второй группы причин (патрон, ствол, атмосфера).

В электронном стрелковом тренажере с имитаторами оружия присутствует первая группа причин, т. е. обучаемые вносят вклад в рассеивание. Вторая же группа должна программно моделироваться, но с учетом измеренной линейной аппаратной с.к.о. погрешности регистратора оптико-электронного измерения координат точки прицеливания на проекционном экране тренажера $\sigma_{\text{изм}}$ (угловая с.к.о. погрешности при расстоянии до экрана $L=5$ м будет $\sigma_{\text{апп}}=21,04''$ (см. работу С. Ф. Егорова и др. в этом журнале №2 за 2020 г.)). Поэтому

$$\sigma_{\text{пса}}^2 = \sigma_{\text{мод}}^2 + \sigma_{\text{апп}}^2 = \sigma_{\text{мод}}^2 + \frac{\sigma_{\text{изм}}^2}{L^2}, \quad \text{где } \sigma_{\text{мод}}^2 - \text{угловая}$$

дисперсия составляющей баллистического рассеивания, которая моделируется с помощью генератора нормальных случайных чисел с законом $N(0, \sigma_{\text{мод}}^2)$.

$$\text{Итак, имеется } \sigma_{\text{мод}}^2 = \sigma_{\text{пса}}^2 - \sigma_{\text{апп}}^2 = \sigma_{\text{пса}}^2 - \frac{\sigma_{\text{изм}}^2}{L^2}$$

и, соответственно, к результатам измерения координат ТПр ИО добавляются случайные величины Δx , Δy , имеющие закон $N(0, \sigma_{\text{мод}}^2 L^2)$, имитирующие баллистическое рассеивание.

При этом приведенный к дальности до экрана L размер проекции цели h_z , соответствующий размеру цели $h_{\text{ц}}$, реально расположенной на дальности d , составляет величину $h_z = h_{\text{ц}} \frac{L}{d}$. А нормированный доверительный интервал n для точек попадания на дальности d , пропорционален отношению $n = \frac{h_{\text{ц}}}{\sigma_{\text{рас}} d}$.

В случае изображения цели на экране тренажера нормированный доверительный интервал n пропорционален величинам $\frac{h_z}{\sigma_{\text{рас}} L} = n = \frac{h_{\text{ц}}}{\sigma_{\text{рас}} d}$, т. е. вероят-

ность поражения цели не изменяется. При этом доверительный интервал обратно пропорционален дальности до цели. Если размер цели достаточно большой, то и при большой дальности вероятность попадания будет близка к 100 %. Но если размер цели мал, то вероятность попадания в нее будет значительно меньше, чем на малой дальности, для которой размер цели еще достаточно большой.

Таким образом, в системе моделирования баллистической кривой для реализации баллистического рассеивания выбраны табличные значения «для лучших стрелков» из соответствующих наставлений на виды вооружений, которые учитывают в основном объективные факторы стрельбы $\sigma_{\text{пса}}^2$, т. к. $\sigma_{\text{со}}^2$ составляющую («стрелок – оружие») вносят обучаемые

мые своими действиями при обращении с имитаторами оружия.

Выводы

Анализ математического обеспечения спецэффектов выстрела и алгоритмов подготовки и ведения упражнения показал:

1. Алгоритм анимации мишенной обстановки включает поддержку фоновых звуков (мотор бронетехники, разрывы гранат с громкостью и задержками согласно удаленности) и трассирующие (видимые) боеприпасы, особенно гранаты, следы поражения и промаха (фонтанчики от пыли, разрывы), также реализован полет ПТУРС с управляемой траекторией, что повышает реалистичность картины боя и создает обратную связь для обучаемого для корректировки «огня».

2. Перед упражнением осуществляется ввод списка обучаемых и контроль подготовки и действий с ИО, а во время упражнения отображаются две последние обстреливаемые мишени (с возможностью отображения их и на проекционном экране для обучаемых), что позволяет руководителю оперативно контролировать все действия обучаемых и корректировать их командами.

3. Исследования баллистического рассеивания боеприпасов выявили влияющие факторы и рекомендовали моделировать рассеивание, опираясь на эталонные значения «для лучших стрелков», но за вычетом аппаратной ошибки (дисперсии) регистра-тора точки прицеливания.

Таким образом, исходя из актуальности дальнейшей разработки и использования электронных стрелковых тренажеров, предлагается базироваться на исследованных и испытанных математических моделях спецэффектов выстрела и алгоритмах контроля подготовки к стрельбе и ее ведения, особенно благодаря высокой гибкости программного обеспечения, позволяющего в реальном времени генерировать реалистичную картину боя.

Библиографические ссылки

1. Muñoz J.E., Pope A.T., Velez L.E. Integrating Biocybernetic Adaptation in Virtual Reality Training Concentration and Calmness in Target Shooting. // Physiological Computing Systems. Lecture Notes in Computer Science, vol 10057. 2019. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-27950-9_12.

2. Lábr M., Hagara L. Using open source on multiparametric measuring system of shooting // ICMT 2019 - 7th International Conference on Military Technologies. DOI: 10.1109/MILTECHS.2019.8870093.

3. Fan YC., Wen CY. A Virtual Reality Soldier Simulator with Body Area Networks for Team Training // SENSORS. 2019, vol. 19, no. 451. DOI: 10.3390/s19030451.

4. de Armas C., Tori R., Netto A. V. Use of virtual reality simulators for training programs in the areas of security and defense: a systematic review // Multimed Tools Appl. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08141-8>.

5. Fedaravičius A., Pilkauskas K., Slizys E., Survila A. Research and development of training pistols for laser shooting simulation system // Defence Technology. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.06.018>.

6. Maciejewski M., Piszczek M., Pomianek M., Palka N. Optoelectronic tracking system for shooting simulator - tests in

a virtual reality application // PHOTONICS LETTERS OF POLAND. 2020, vol. 12, no. 2, pp. 61-63. DOI: 10.4302/plp.v12i2.1025.

7. 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.

8. Maciejewski M., Piszczek M., Pomianek M., Palka N. Design and Evaluation of a SteamVR Tracker for Training Applications – Simulations and Measurements // METROLOGY AND MEASUREMENT SYSTEMS. 2020, vol. 27, no. 4, pp. 601-614. DOI: 10.24425/mms.2020.134841.

9. Егоров С. Ф. Семейство электронных стрелковых тренажеров «СТрИж»: уровни реализации и структура свободного программного обеспечения // Приборы и методы измерений. 2023. Т. 14. № 4. С. 251-267. DOI: 10.21122/2220-9506-2023-14-4-251-267. EDN: OXELNB.

10. Жемчужников А. В. Современное состояние и перспективы технического развития электронных стрелковых комплексов // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. 2021. № 4 (4). С. 116–119. EDN: HEYJEY.

11. Коряковцев Д. А., Плешков А. В., Гурьев В. И. Использование стрелковых тренажеров на занятиях по огневой подготовке в образовательных организациях МВД России // Эпоха науки. 2021. № 25. С. 96–98. DOI: 10.24412/2409-3203-2021-25-96-98. EDN: USWHDY.

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

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

14. Оерыза А. В., Ульрих С. А., Таран А. Н. Практическая значимость использования электронных тренажеров на занятиях по огневой подготовке // Евразийский юридический журнал. 2022. № 1 (164). С. 419-420. EDN: QVMCZQ.

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

16. Моисеенко А. А., Еноткина Д. М. Применение инновационных технологий в процессе обучения огневой подготовке курсантов и слушателей образовательных организаций МВД России // Вестник Барнаульского юридического института МВД России. 2023. № 1 (44). С. 343–346. EDN: RANWJK.

17. Горлов О. Ю. Методика разработки упражнений учебных стрельб из пистолета в типовых ситуациях служебной деятельности (на примере охранно-конвойных подразделений полиции) // Полицейская деятельность. 2023. № 1. С. 43–54. DOI: 10.7256/2454-0692.2023.1.38047. EDN: EVSCAQ.

18. Булавин А. А., Ватылев Г. М. Внедрение игрового и соревновательного методов обучения в практические занятия по огневой подготовке со слушателями УИС // Вестник МПА ВПА (сборник научных трудов). 2023. № 3. С. 132–137. EDN: GOIZVN.

19. Митрофанов О. А., Безнедельный С. В., Воеводин А. А. Разработка комплекса мер по актуализации и совершенствованию обучения сотрудников МЧС огневой

подготовке // Современный ученый. 2024. № 1. С. 206–211. EDN: GPILIM.

20. Егоров С. Ф. Стрелковый тренажер «Ингибитор»: функциональная схема программного обеспечения // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17, № 2. С. 19–29. DOI: 10.22213/2410-9304-2019-2-19-29. EDN: CWOBMI.

References

1. Muñoz J.E., Pope A.T., Velez L.E. Integrating Biocybernetic Adaptation in Virtual Reality Training Concentration and Calmness in Target Shooting. *Physiological Computing Systems. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10057. 2019. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-27950-9_12.

2. Lábr M., Hagara L. Using open source on multiparametric measuring system of shooting. *ICMT 2019 - 7th International Conference on Military Technologies*. DOI: 10.1109/MILTECHS.2019.8870093.

3. Fan YC., Wen CY. A Virtual Reality Soldier Simulator with Body Area Networks for Team Training. *SENSORS*. 2019, vol. 19, no. 451. DOI: 10.3390/s19030451.

4. de Armas C., Tori R., Netto A. V. Use of virtual reality simulators for training programs in the areas of security and defense: a systematic review. *Multimed Tools Appl*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08141-8>.

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

6. Maciejewski M., Piszczek M., Pomianek M., Palka N. Optoelectronic tracking system for shooting simulator - tests in a virtual reality application. *PHOTONICS LETTERS OF POLAND*. 2020, vol. 12, no. 2, pp. 61-63. DOI: 10.4302/plp.v12i2.1025.

7. Taylor P. Dispatch Priming and the Police Decision to Use Deadly Force. *POLICE QUARTERLY*. 2020, vol. 23, no. 3, pp. 311-332 (1098611119896653). DOI: 10.1177/1098611119896653.

8. Maciejewski M., Piszczek M., Pomianek M., Palka N. Design and Evaluation of a SteamVR Tracker for Training Applications – Simulations and Measurements. *METROLOGY AND MEASUREMENT SYSTEMS*. 2020, vol. 27, no. 4, pp. 601-614. DOI: 10.24425/mms.2020.134841.

9. Egorov S.F. *Semeistvo elektronnykh strelkovykh trenazherov «STRzh»: urovni realizatsii i struktura svobodnogo programmnogo obespecheniya* [Family of electronic shooting simulators «STRzh»: levels of implementation and structure of free software] *Pribory i metody izmereni*. 2023, vol. 14, no. 4, pp. 251-267 (in Russ.). DOI: 10.21122/2220-9506-2023-14-4-251-267. EDN: OXELHB.

10. Zhemchuzhnikov A.V. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy tekhnicheskogo razvitiya elektronnykh strelkovykh kompleksov* [The current state and prospects for the technical development of electronic rifle complexes] *Al'manakh Permskogo voennogo instituta voisk natsional'noi gvardii*. 2021, no. 4 (4), pp. 116-119 (in Russ.). EDN: HEYJEY.

11. Koryakovtsev D.A., Pleshkov A.V., Gurylev V.I. *Ispol'zovanie strelkovykh trenazherov na zanyatiyakh po ognevoi podgotovke v obrazovatel'nykh organizatsiyakh MVD Rossii* [The use of shooting simulators in fire training classes in educational organizations of the MIA of Russia] *Epokha nauki*. 2021, no. 25, pp. 96-98 (in Russ.) DOI: 10.24412/2409-3203-2021-25-96-98. EDN: USWHDY.

12. Pershin A.T., Bol'shakova V.A., Gusevskaya K.S. *Ispol'zovanie strelkovykh trenazherov «Rubin» v professional'noi podgotovke sotrudnikov politzii* [The use of «Rubin» rifle simulators in the professional training of police officers] *Simvol nauki: mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal*. 2021, no. № 4, pp. 101-103 (in Russ.). EDN: MPETNB.

13. Yurkov M.N. *Primenenie sovremennykh strelkovykh trenazherov pri provedenii zanyatii po ognevoi podgotovke kursantov obrazovatel'nykh uchrezhdenii FSIN Rossii* [The use of modern shooting simulators when conducting fire training classes for cadets of educational institutions of the FPS of Russia] *Molodoi uchenyi*. 2021, no. № 5 (347), pp. 374-375 (in Russ.). EDN: KAXZNC.

14. Ogryza A.V., Ul'rikh S.A., Taran A.N. *Prakticheskaya znachimost' ispol'zovaniya elek-tronnykh trenazherov na zanyatiyakh po ognevoi podgotovke* [Practical significance of using electronic simulators in fire training classes] *Evrasiiskii yuridicheskii zhurnal*. 2022, no. № 1 (164). pp. 419-420 (in Russ.). EDN: QBMCZQ.

15. In'shin Yu.Yu., Lipatkin A.V. *Strelyat' khorosho i mnogo innovatsionnye podkhody v obuchenii kursantov strel'be s ispol'zovaniem boevogo lazernogo interaktivnogo vysokotochnogo kompleksa «BLIK-VT»* [Shoot well and many innovative approaches in training cadets in shooting using the combat laser interactive high-precision complex "BLIK-VT"] *Vestnik voennogo obrazovaniya*. 2022, no. 3 (36). pp. 28-33 (in Russ.). EDN: RRPXMR.

16. Moiseenko A. A., Enotkina D. M. *Primenenie innovatsionnykh tekhnologii v protsesse obucheniya ognevoi podgotovke kursantov i slushatelei obrazovatel'nykh organizatsii MVD Rossii* [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] *Vestnik Barnaul'skogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii*. 2023, no. 1 (44), pp. 343-346 (in Russ.). EDN: RAHWJK.

17. Gorlov O. Yu. *Metodika razrabotki upravlenii uchebnykh strel'b iz pistoletov v tipovykh situatsiyakh sluzhebnoi deyatelnosti (na primere okhranno-konvoynykh podrazdelenii politzii)* [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)] *Politseiskaya deyatelnost'*. 2023, no. 1, pp. 43-54 (in Russ.). DOI: 10.7256/2454-0692.2023.1.38047. EDN: EVSCAQ.

18. Bulavin A. A., Vatyev G. M. *Vnedrenie igrovogo i sorevnovatel'nogo metodov obucheniya v prakticheskie zanyatiya po ognevoi podgotovke so slushatelyami UIS* [Implementation of game and competitive training methods in practical fire training sessions with UIS students] *Vestnik MPA VPA (sbornik nauchnykh trudov)*. 2023, no. 3, pp. 132-137 (in Russ.). EDN: GOIZVN.

19. Mitrofanov O. A., Beznedel'nyi S. V., Voevodin A. A. *Razrabotka kompleksa mer po aktualizatsii i sovershenstvovaniyu obucheniya sotrudnikov MChS ognevoi podgotovke* [Development of a set of measures to update and improve the training of employees of the Ministry of Emergency Situations in fire training] *Sovremennyye uchenyi*. 2024, no. 1, pp. 206-211 (in Russ.). EDN: GPILIM.

20. Egorov S.F. *Strelkovyi trenazher «Ingibitor»: funktsional'naya skhema programmnogo obespecheniya* [Shooting simulator «Inhibitor»: functional diagram of the software]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2019, vol. 17, no. 2, pp. 19-29 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2019-2-19-29. EDN: CWOBMI.

Shooting Simulator «Inhibitor»: Mathematical Support of Shot Special Effects

S. F. Egorov, PhD in Engineering, Associate Professor, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia;

Yu. K. Shelkovnikov, DSc in Engineering, Professor, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia;

E. Yu. Shelkovnikov, DSc in Engineering, Professor, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia;

V. N. Syakterev, PhD in Engineering, Associate Professor; Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia;

K. Yu. Petukhov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia;

G. V. Milovzorov, DSc in Engineering, Professor; Sarapul Polytechnical Institute, branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Sarapul, Russia;

V. A. Afanasyev, PhD in Engineering; Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The algorithms for preparing shooters to perform an exercise, conducting its course with real-time informing, as well as the implementation of mathematical support of shot special effects (sounds, tracers, explosions, hits, and misses) for the optical-electronic shooting simulator "Inhibitor" developed at Institute of Mechanics UdmFRC UB RAS and at facilities of Computer Department of Kalashnikov ISTU jointly with JSC «Kalashnikov» Concern» are described.

A tactical and technical task is given for the visual and sound effects of a shot, such as tracers, grenade ruptures, misses, return fire, and controlled flight of PTURS. In addition, the manager must monitor the weapon simulator sensors during the preparation of the exercise (magazine, fire switch, cartridge inside the barrel and sight readings) and conduct the course of the exercise with real-time viewing of both targets and shots and altering the ammunition number and type (all ammunition can be made tracer ones). The arrows are selected from the department database for convenience. Viewing shooting errors and aiming along with hit points allows correction of trainees' actions by means of commands and quick display service information for trainee independent classes on the projection screen. The study the factors affecting ballistic dispersion was carried out and the recommendations for its modeling were formulated.

The literature review confirms the potential of further research and development of electronic rifle simulators via improvement of computational tools and the development of software libraries in order to increase the accuracy of shot process simulation and flexible display adjustment of current training exercise results. It is necessary to expand realistic opportunities of shot special effects and reduce the cost constantly, which means to increase the competitiveness of electronic shooting simulators.

Keywords: shooting simulator, audio effects, tracer ammunition, miss identification, shooting ready position.

Получено: 01.04.24

Образец цитирования

Стрелковый тренажер «Ингибитор»: математическое обеспечение спецэффектов выстрела / С. Ф. Егоров, Ю. К. Шелковников, Е. Ю. Шелковников, В. Н. Сяктерев, К. Ю. Петухов, Г. В. Миловзоров, В. А. Афанасьев // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 3. С. 68–77. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-68-77.

For Citation

Egorov S.F., Shelkovnikov Yu.K., Shelkovnikov E.Yu., Syakterev V.N., Petukhov K.Yu., Milovzorov G.V., Afanasyev V.A. [Shooting simulator «Inhibitor»: mathematical support of shot special effects]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 3, pp. 68-77. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-68-77.