

УДК 004.928

DOI: 10.22213/2410-9304-2024-4-60-72

## Стрелковый тренажер «Ингибитор»: математическое обеспечение спецэффектов поведения целей

С. Ф. Егоров, кандидат технических наук, доцент,  
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия

*Описывается математическое обеспечение и алгоритмы реализации спецэффектов активного поведения целей и местных предметов и анализ результатов выполнения сценария упражнения 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 отображение зависимых от ветра местных предметов и дымов на реалистичность поведения целей (ракурсы движения, поражения, ответный огонь, уклонение от близких промахов, залегание, переползание и т. п.), горение бронетехники. Кроме этого, руководитель должен получить полную информацию о ходе стрельбы (время обстрела и поражения от появления мишени, количество выстрелов и ошибок, установки прицела, выбито баллов по мишени № 4 и т. п.) и выставить оценку каждому обучаемому с контролем завершения упражнения (магазина – затвор - предохранитель). Необходимо вычислять точку прицеливания в момент выстрела и накладывать проекцию целика и мушки на мишень для каждого выстрела, чтобы контролировать привитие навыков хвата, удержания, прицеливания и плавного спуска. Проведенные исследования на хроматические аберрации спецэффектов выявили факторы, влияющие на искажения и показали соответствие мишени обстановки требованиям ТТЗ. Реалистичность целей с фазами движения и ракурсами, поражением (падением или загоранием), уклонением от близких промахов, залеганием и ответным огнем и реакции на ветер местных предметов, а также полнота оперативного формирования руководителя подтверждена военной приемкой.*

*Обзор литературы показал перспективность дальнейших исследований и разработки электронных стрелковых тренажеров благодаря совершенствованию вычислительных средств и развитию программных библиотек с целью повышения точности имитации поведения мишени обстановки и анализа результатов стрельбы. Необходимо постоянно расширять возможности реалистичности спецэффектов целей и снижать себестоимость, а значит, повышать конкурентоспособность электронных стрелковых тренажеров.*

**Ключевые слова:** стрелковый тренажер, ветросносимые дымы, активное поведение целей, завершение стрельбы, оценка упражнения.

### Введение

Разработка электронных стрелковых тренажеров (т. е. для ручного оружия и не использующих боеприпасы) с реалистичной мишени обстановкой [1–8] и поддержкой как упражнения Курса стрельб, 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 ин-

дексом 1У33. Нарботки 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 [10–16], а также необходимо постоянное совершенствование методик обучения [17–21]. Кроме этого, тренажеры отличаются безопасностью тренировок и быстрой окупаемостью по сравнению с войсковыми стрельбищами и боевыми тирами.

Целью статьи является описание математического обеспечения спецэффектов мишени обстановки в виде ее активного поведения (адаптивного, в том числе от ветра), разработке алгоритмов и пользовательского интерфейса анализа и оценки результатов упражнений и исследо-

вание aberrаций (искажений) отображения спецэффектов для тактического оптико-электронного тренажера стрелкового оружия «Ингибитор».

#### Тактико-техническое задание

Согласно ТТЗ на стрелковый тренажер [22] требования к математическому обеспечению моделирования активного поведения целей и к анализу результатов стрельб сводятся к следующему.

1. Отображение ... выстрелов и отблеск оптики противника, частичную пыледымовую завесу (сносимую).

2. Регистрация, хранение, отображение, повторный показ результатов выполненных упражнений по каждому обучаемому: точек прицеливания, кривых динамики прицеливания (в отдельном режиме работы по отдельной цели, мишень N4), точек попадания пуль и гранат, плавность нажатия спускового крючка, ошибок обучаемых.

3. Сценарии боевых действий должны включать замаскированные, укрытые, появляющиеся и движущиеся (маневрирующие) цели противника – танки, БМП, БТР, пехотинцев, а также различные эффекты боя (вспышки и дым выстрелов, разрывы гранат, снарядов и ракет, поднимаемую от них пыль, дымовые завесы, задымленность поля боя от горящей техники)...

При анализе результатов упражнений необходимо:

– показ на экране правильного прицеливания (положение мушки, других прицельных приспособлений относительно цели);

– отображение на экране руководителя положения прицельных приспособлений (мушки, прицельной планки обучаемого);

– кривых динамики прицеливания по начальному упражнению и по неподвижным целям других упражнений;

– время производства прицельного первого выстрела с момента появления мишени (попадание в цель или в районе опасной близости для нас) и время поражения цели.

4. Замаскированные цели должны иметь демаскирующие признаки:

– периодический отблеск оптики в солнечную погоду;

– различия в цветовой гамме (увядшая листва маскировочных веток, различия в цвете масксетей и окружающей обстановки);

– шевеление легких укрытий (масксетей, кустов, веток деревьев и т. п.);

– частичное наблюдение цели или ее периодическое появление;

– вспышки и дым от выстрелов.

5. При отображении мишенной обстановки необходимо соблюдать:

– имитацию мишенями ведения огня, открытие огня ими через время, необходимое на подготовку к бою из данного вида оружия;

– мишени окрашиваются в цвет под фон окружающей местности, но при этом видимость мишеней должна обеспечивать ведение по ним прицельного огня;

– при выполнении каждого упражнения учебных и контрольных стрельб должно быть: днем – три, ночью – два; в горах днем – два, ночью – один вариант; в каждом варианте одна из целей должна показываться на дальнем, а остальные примерно на среднем и ближнем пределах дальности, указанных в упражнениях; если в упражнении одна цель, то она показывается одинаковое количество раз в дальнем, среднем и ближнем пределах дальностей;

– ночью огонь целей имитируется «вспышками выстрелов»; каждая очередь из стрелкового автоматического оружия имитируется миганием в течение 3–5 с, а каждый выстрел из пушки (орудия) и противотанкового гранатомета – включением на 2–3 с, промежутки между очередями (выстрелами) должны быть 4–6 с, продолжительность имитации определяется временем показа (движения) цели; цели, на которых имитаторы «вспышек выстрелов» не устанавливаются, освещаются осветительными ракетами.

6. Неподвижные тяжелые цели (танки, БМП и БТР) не должны иметь «чистых» фронтальных и лобовых проекций.

7. Подсистема визуализации должна обеспечивать эволюцию эффектов боя с учетом силы и направления ветра (рассеивание дыма, гари, пыли) и движущихся (маневрирующих) объектов противника, для чего должны быть созданы банки «моделей целей» и «эффектов боя». Образы пораженных целей должны храниться в памяти компьютера и входить в банк «моделей целей».

Таким образом, основными задачами создания математического обеспечения спецэффектов поведения мишеней являются разработка алгоритмов для ветровой эволюции объектов, активного поведения мишеней (уклонение, залегания, ответный огонь, поражение), разработка алгоритмов и пользовательского интерфейса анализа точек прицеливания и попадания и ошибок выстрелов с оценкой результатов упражнений, а также исследование хроматических aberrаций при отображении спецэффектов (визуальную точность цветопередачи).

### Реализация спецэффектов целей

Согласно Курсу стрельб (КС), мишенью называется стилизованное изображение противника однотонного темно-зеленого цвета стандартных размеров, а целью – двойные мишени (как автоматчик и стрелок или две движущиеся ростовые фигуры) со специальной фиксацией поражения, т. е. цель из двух мишеней может считаться поражена, если поражена одна из мишеней. Но далее «целью» будет называться еще и реалистичное изображение мишеней с возможным активным поведением (фазы движения, поражения, ответного огня, залегания, уклонения, переползания и т. п.). Мишени и цели в формате 2D, т. е. плоские, хранятся в файлах BMP закодированные RGB TrueColor (3 байта) на «прозрачном» фоне цветом  $(R \geq 250) \& (G \geq 250) \& (B \geq 250)$ .

Реалистичность алгоритма анимации мишенной обстановки определяет качество подготовки обучаемых. Использование спецэффектов поведения целей призвано максимально повысить реалистичность тренировки, тем самым увеличив ее эффективность. Но при этом надо уложиться в минимальные требования быстрой реакции в 25 кадров/с, т. е. на перерисовку мишенной обстановки со спецэффектами для 32 одновременных целей должно потребоваться не более  $1/25$  с (что определяется психическими и физическими возможностями человека). Поэтому в алгоритме анимации (см. работу С. Ф. Егорова в этом журнале № 3 за 2023 г.) введена система приоритетов, и, если не хватает времени цикла, прорисовка низкоприоритетных спецэффектов на данном шаге не ведется (а это взрывы и дымы). От степени реалистичности моделирования спецэффектов зависит степень соответствия полученных навыков реальным навыкам целеуказания, прицеливания и стрельбы (в том числе реакции на промах), учитывая, что именно в стрелковых тренажерах хват, удержание, наведение, прицеливание, спуск зависит от непосредственного обращения с имитаторами оружия и от оценки мишенной обстановки, особенно реалистично движущейся с активным поведением.

Спецэффекты мишеней делятся на базовые и реалистичные (в том числе поведения) (Егоров С. Ф., Казаков С. В. Моделирование мишенной обстановки и спецэффектов в стрелковом тренажере // Информационные системы в промышленности и образовании : сб. тр. мол. ученых. Ижевск : ИПМ УрО РАН, 2008. С. 66–67). Базовые спецэффекты мишеней включают:

1. Расчет ТПр по дирекционному углу и углу курса наведения (см. далее).

2. Расчет точки попадания (см. статью С. Ф. Егорова и др. в этом журнале № 2 за 2022 г.) в «задаче встречи» баллистической кривой с препятствиями.

3. Выбор дальности до целей «ближние/средние/дальние» (во время выбора сценария стрелкового упражнения можно задать приоритет дальности для мишеней, как этого требует ТТЗ) или случайно в диапазоне из КС.

4. Случайность времени появления, случайность места по фронту, случайность скорости движения: для разнообразия сценариев мишени каждый раз появляются в разных местах, но в рамках директрисы рабочего места и в пределах значений, указанных в упражнениях КС.

5. Появление и исчезновение мишеней строго по времени, согласно КС.

6. Прямолинейное движение мишеней и целей (как двух мишеней).

7. Исчезновение мишени при поражении (количество попаданий для фиксации поражения настраивается для каждой мишени).

8. Замена мишеней на альтернативные в горах и ночью по требованию КС.

9. Замена мишеней зимой на серые (по пп. 3–9 см. [статьи С. Ф. Егорова и др. в этом журнале № 4 за 2019 г. и № 1 за 2020 г.]).

10. Поражение мишеней осколками от ГП-25 и РПП-70 (см. далее).

Реалистичные спецэффекты целей:

1. Визуальные фазы движения целей (несколько спрайтов).

2. Визуальные фазы поражения целей (несколько спрайтов).

3. Визуальные ракурсы бронетехники (16 углов от вектора скорости движения).

4. Звук мотора бронетехники (см. работу С. Ф. Егорова и др. в этом журнале № 3 за 2024 г.), пыль и дым при движении.

5. Кроме движения цели еще и ее приседание, залегание, переползание.

6. Уклонение от близких промахов при движении.

7. Ответный огонь целей по времени на их изготовку.

8. Пулепробиваемые местные предметы (кусты, дымы), за ними нельзя спрятаться от пуль, но можно укрыться от прицеливания.

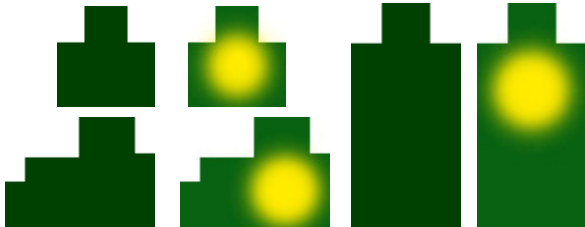
9. Реакция на скорость ветра местных предметов (слабый/умеренный/сильный), как индикаторов коррекции прицеливания (например, деревья колышутся сильно/слабо, дымы сносятся быстро/медленно).

10. Вспышка и дым на цели при поражении гранатами.

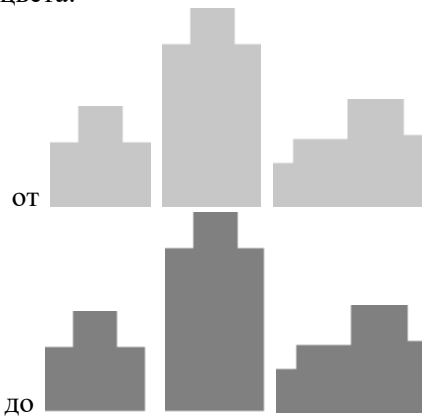
11. Горящая бронетехника, экранирующая и задымляющая местность.

Итак, мишенная обстановка тренажера со спецэффектами включает:

1. Мишени из Курса стрельб, которые могут вести «ответный огонь» (вариант справа), например:



(это еще и требуется ночью для демаскировки), также ночью яркость мишеней (и стрельбища) корректируется гамма-функцией (есть и имитация осветительных ракет), зимой мишени перекрашиваются в серый цвет, пример градаций серого цвета:



(подстраиваясь под среднюю яркость стрельбища, когда каналы цвета пикселей  $R$ ,  $G$  и  $B$  становятся, как установлено экспертным методом, от  $2 \cdot G$  до  $3 \cdot G$ , т. е.  $R' = B' = G' = 2 \dots 3 \cdot G \approx 128 \dots 192$ ).

2. Реалистичные цели с фазами движения –



поражения –



и «ответным огнем» –

3. Реалистичные броневцы с 16 ракурсами поворота, например:



и т. п. и фазами поражения –



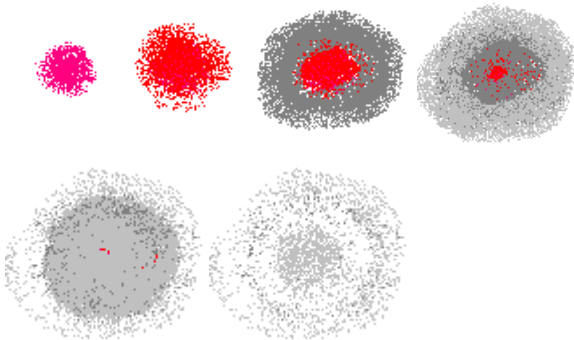
и ответного «огня» –

при этом горящая бронетехника остается на поле и экранирует мишени за собой, создавая дымовую завесу (перед ней накладывается дым, см. далее).

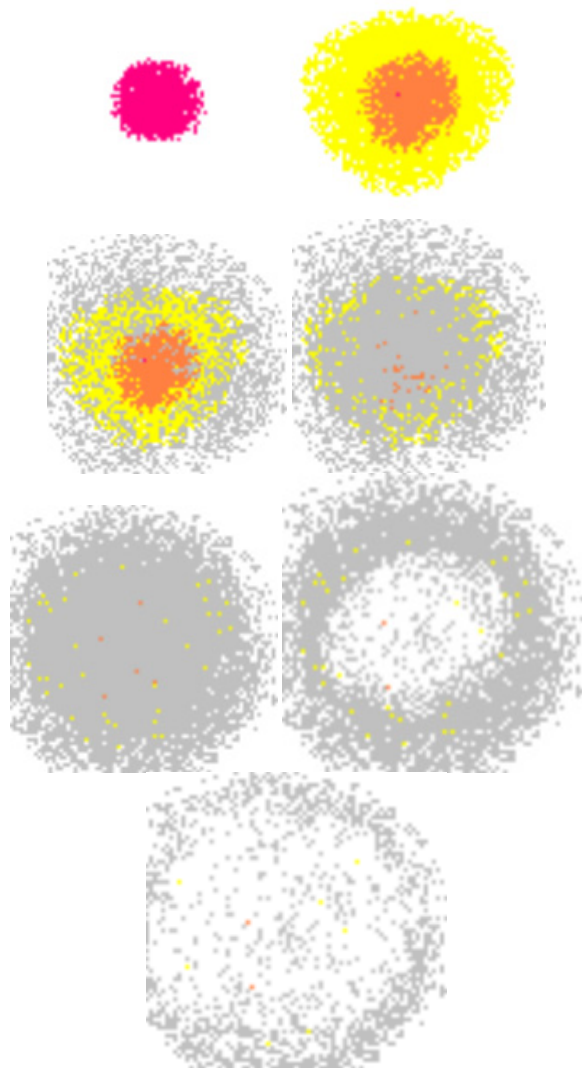
#### 4. Поражения гранатами – РПГ-26:



#### РПГ-7:



#### 9К115:



#### 5. Отблеск оптики



накладываемый на цель для демаскировки.

6. Реалистичные местные предметы, в том числе пулепробиваемые (кусты, дымы) и реагирующие на ветер деревья (наклонами влево вправо) –



и сносимые ветром дымы –



#### Математическое обеспечение спецэффектов целей

Расчет ТПр происходит в момент фиксации выстрела после определения координат  $(X_3, Y_3)$  лазерного пятна излучателя ИО на проекционном экране. По ним сначала вычисляется дирекционный угол  $\psi$  и угла возвышения  $\theta$ :

$$\tan(\psi) = \frac{(X_3 - W_2)}{L_3 / S_3} \quad \tan(\theta) = \frac{(H_3 - Y_3) - H_0 / S_3}{\sqrt{(X_3 - W_2)^2 + (L_3 / S_3)^2}},$$

где  $W_2 = 1024 * 3 / 2 = 1536$  – горизонтальная середина проекционного экрана;  $L_3 / S_3 = 5000 / 2,15$  – расстояние до экрана в пикселях;  $H_3 - H_0 / S_3 = 768 - 250 / 2,15$  – «переворот» координаты  $Y_3$  для совместимости (в системе координат экрана ось  $Y$  идет сверху вниз, а в системе стрельбища – снизу вверх). Далее по данным углам в цикле по всем активным мишеням вычисляется координата ТПр  $(X, Y)$  в 2D-плоскости спрайта каждой мишени на ее дальности по координатам ее центра основания  $(X_M, Y_M, Z_M)$  на стрель-



бище:  $X = \tan(\psi)Z_M - X_M$ ,  $Y = \tan(\theta)Z_M - Y_M$ , масштаб спрайта мишени выбран 1 pix=1 см.

И при попадании в пределах  $\pm 200\%$  от габаритов мишени вокруг  $(X_M, Y_M)$  считается, что прицеливание осуществляется в текущую мишень. Если мишени расположены плотно и условиям удовлетворяют несколько из них, то создается список из таких мишеней и выбор откладывается до вычисления ТП.

Спецэффекты поражения целей отображаются как движущиеся мишени со сменой спрайтов последовательности через 8/25 с (0,32 с) (см. работы С. Ф. Егорова в этом журнале № 2, 3 за 2023 г.) и сохранением последнего из них как местного предмета. Как движущиеся цели отображаются и ветрозависимые местные предметы (деревья, дымы). Спецэффекты попадания (разрывы) хранятся в отдельном программном списке спецэффектов и выводятся без смешивания изображения с фоном стрельбища (просто линейное масштабирование спрайта – прореживание пикселей и их копирование) для высокого быстродействия из-за большого размера самих спрайтов (так, для 9К115 взрыв может достигать 1,5×1,5 м) и коэффициентом предварительного (качественного) масштабирования для взрывов 0,33 (вместо 0,5 для целей). Время жизни спрайта попадания выбрано 2/25 с (0,08 с), после чего он меняется на следующий до завершения последовательности. Поскольку взрывы носят характер дымов, то их качество масштабирования и отображения никак не влияет на реалистичность и поэтому быстродействие выходит на первый план в алгоритме анимации спецэффектов.

Спецэффекты приседания, залегания, переползания реализованы как движения с отрицательной высотой над стрельбищем (–33 % от высоты цели для приседания, –66 % – для залегания и переползания), когда отображается только верхняя часть цели.

Уклонение от близких промахов при движении реализованы резким смещением цели в противоположную сторону от промаха (а это  $\pm 200\%$  от габаритов цели) по горизонтали на 0,5 м.

Ответный огонь целей по времени на изготовку реализован подставкой соответствующего спрайта «выстрела» и запуска спецэффекта звука выстрела (см. работу С. Ф. Егорова и др. в этом журнале № 3 за 2024 г.) с задержкой и ослаблением громкости соответствующими дальности цели («очередь» имитируется миганием спрайта в течение 3–5 с, выстрел из РПГ – включением спрайта на 2–3 с, промежутки между «очередями» – 4–6 с, согласно ТТЗ).

По отклонению деревьев или дымов при ветре обучаемые могут разделять слабый ветер (0–4 м/с), умеренный (4–8 м/с) и сильный (8–12 м/с) и делать соответствующие поправки при прицеливании (кроме этого, сила ветра, которую выбирает руководитель, может отображаться и в текстовом виде на экране).

Остальные пункты ТТЗ по поведению целей (например, выглядывание целей из-за укрытий и разнообразие этих укрытий – маскировок) реализуются на уровне составления сценариев упражнений (задаются соответствующие траектории движения целей, рис. 1) и пополнения базы целей и местных предметов.

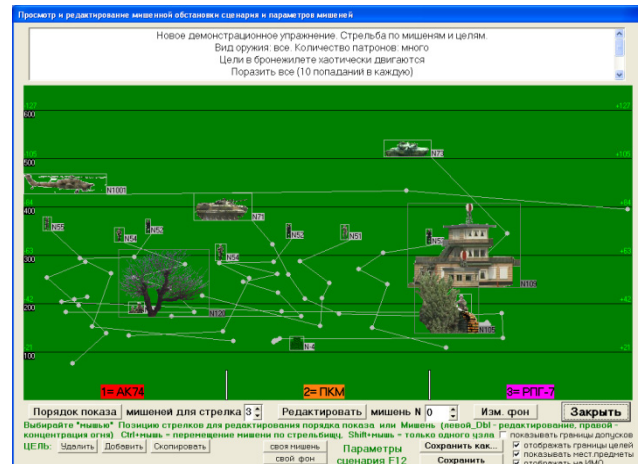


Рис. 1. Пример реалистичного сценария со спецэффектами

Fig. 1. Example of a realistic scenario with special effects

К спецэффектам целей можно отнести и такую возможность, когда при выполнении упражнения по действию отделения в обороне в окне просмотра (рис. 1) руководитель занятия может запрещать/разрешать нужную мишень для концентрации огня, нажав правую кнопку «мышь» над номером соответствующей мишени и выбрать рабочее место «1–8» или полный запрет («=») (повторный выбор мишени отменяет установки), сопровождая действия устными командами (при обстреле запрещенной мишени автоматически фиксируется ошибка, см. далее). Такую функцию можно отнести к поддержке тактических занятий на тренажере (Аминов И. Р., Казаков В. С., Егоров С. Ф. Военная тактика в стрелковых тренажерах // Высокие технологии – 2004 : сб. тр. науч.-техн. форума с междунар. участием : в 4 ч. Ч. 3. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2004. С. 9–11).

Таким образом, для программной реализации спецэффектов цели используется как основной программный список объектов для поражения, уклонения, залегания, ответного огня, так и список спецэффектов, куда включаются огненные

разрывы попаданий так и сносимые дымы как анимированные неподвижные объекты (т. е. со сменяемыми спрайтами с шагом 8/25 с или 2/25 с до их окончания или в цикле). Алгоритм анимации (см. работу С. Ф. Егорова в этом журнале № 3 за 2023 г.) использует этот список аналогично списку основных объектов, но для быстрого действия выводит спрайты спецэффектов огневого поражения и дымов без смешивания с фоном и с простым масштабированием, что позволяет сохранить плавность анимации мишенной обстановки даже при интенсивной «стрельбе» со спецэффектам. Итак, реализация спецэффектов целей повышает реалистичность картины боя (эффект «присутствия») и позволяет прививать навыки обучаемым более эффективно, помогая адаптироваться к изменениям внешних условий, повышает их психологическую устойчивость и тактическое видение поля боя.

### Анализ результатов упражнения с оценкой

ПО тренажера разработано в системе программирования Borland Delphi 5.0 на проблемно ориентированном языке программирования Object Pascal. После окончания выполнения сценария стрелкового упражнения (см. предыдущие статьи цикла «Ингибитор» в этом журнале) по кнопке «Далее» переходим к анализу и оценке стрельб в окне «Просмотр и оценка результатов упражнения» (рис. 2). После выбора справа рабочего места отображается его совокупная информация по упражнению: время на стрельбу, количество выстрелов и попаданий, число пораженных мишеней, выбитые баллы по мишени № 4, ошибки при стрельбе. Далее отображаются ошибки завершения упражнения (магазин – патрон – предохранитель) и руководитель должен выставить итоговую оценку.

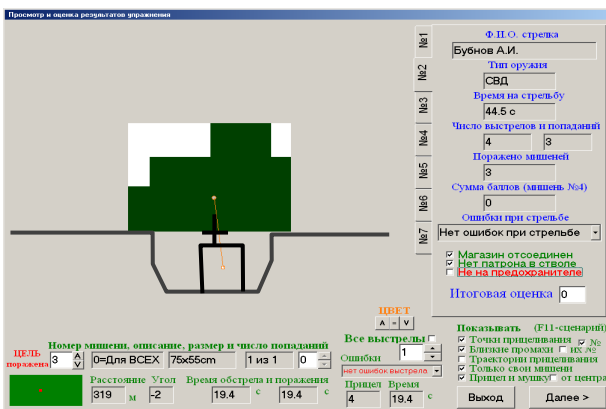


Рис. 2. Просмотр и оценка результатов стрелкового упражнения

Fig. 2. Viewing and Evaluating the Results of a Shooting Exercise

Слева в окне можно просмотреть все мишени выбранного стрелка с точками прицеливания (квадратными) и попадания (круглыми, соединены линией) и проанализировать времена обстрела и поражения мишени, установки прицела и ошибки выстрела при этом. Могут отображаться по условию и близкие промахи ( $\pm 50 \dots 200$  % от размеров мишени, настраивается, соединены пунктиром), что считается обстрелом мишени с номерами выстрелов. Основные ошибки: свал, срыв, одиночный при авто, не обстреляна мишень. При желании (настройки справа внизу) можно наложить на мишень контурную проекцию прицела (только механический: целик под мишенью или по центру и мушка в направлении к ТПр по таблице, показывает ошибку прицеливания, рис. 3) и траектории прицеливания (1 с до выстрела синим цветом и 1 с после бирюзовым), как требует ТТЗ. Анализ этой информации позволяет руководителю откорректировать обучаемому хват, прицеливание, удержание, плавность крючка и выставить объективную оценку. Так, на рис. 2 при обстреле мишени «пулеметчик» (размером 75×55 см) на расстоянии 319 м выставлен прицел 4 (400 м) и ТП выше ТПр, т. е. прицеливание было «под цель» с низкой мушкой (как и следует) и мишень уничтожена без ошибок (свала, срыва и т. п.) через 19,4 с после появления первым же выстрелом (а отклонение в сторону связано со случайным рассеиванием). А всего из СВД сделано 4 выстрела с 3 попаданиями (за 44,5 с) и, видимо, оценка «отлично», если обучаемый успеет поставить оружие на предохранитель (патрона в стволе нет, можно ограничиться предупреждением). Проекция прицела на мишень (под нее или «от центра») на дальности  $D$  рисуется по формулам, когда  $G$  – расстояние от глаза до целика;  $P$  – расстояние от целика до мушки шириной  $M$ , а  $(x, y)$  – физические размеры прорези целика (рис. 3, таблица):  $x_m = \frac{M}{G+P} \frac{D}{S}$ ,  $x_p = \frac{x}{G} \frac{D}{S}$ ,  $y_p = \frac{y}{G} \frac{D}{S}$ , где  $x_m$  – ширина проекции мушки, а  $x_p$ ,  $y_p$  – ширина и высота проекции целика. Для удобства восприятия и анализа размеры проекции прицелов уменьшаются в  $S=1 \dots 10$  раз.

### Параметры прицелов Sights parameters

| ИО     | G, mm | P, mm | M, mm | (x, y), mm |
|--------|-------|-------|-------|------------|
| АК     | 264   | 375   | 2     | (1, 2)     |
| СВД    | 350   | 850   | 2     | (2, 1.5)   |
| ПКМ    | 237   | 665   | 2.4   | (1.1, 3)   |
| ГП-25  | ≈400  | 124   | 2     | (2, 3)     |
| РПГ-7  | 90    | 320   | 2.5   | (0.8, 1.3) |
| РПГ-26 | 155   | 270   | 2.5   | (2, 1)     |
| ПМ     | ≈800  | 126   | 1.5   | (2, 1.5)   |

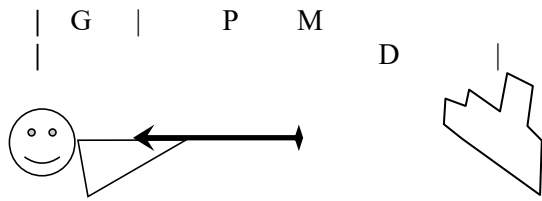


Рис. 3. Проекция прицела

Fig. 3. Sight projection

Целик всегда рисуется под мишень (центр основания спрайта) или в центр мишени (по выбору, рис. 2), а мушка в сторону ТПр ( $X_{ТПр}, Y_{ТПр}$ ) на  $\Delta x$  и  $\Delta y$  в предположении «правильного» прицеливания (в нарисованный крестик ( $X_{ЦМ}, Y_{ЦМ}$ )):  $\Delta x = \frac{X_{ТПр} - X_{ЦМ}}{S}$   $\Delta y = \frac{Y_{ТПр} - Y_{ЦМ}}{S}$ .

Фиксируемые ошибки обучаемых закодированы символами (рис. 2):

«G» – ошибки при подготовке к стрельбе (магазин - затвор - предохранитель);

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

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

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

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

«L», «R» – свал оружия влево/вправо (недопустимый наклон в стороны  $>\pm 5^\circ$ );

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

«I» – установлен неправильный прицел (дистанция мишени более 500 м при прицеле «П» или более  $\pm 150$  м при других);

«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 – затвор – предохранитель).

Например, одиночный выстрел на «автомате», согласно КС, снижает оценочный бал (-1), остальные ошибки могут даже аннулировать поражение мишени (например, «свал» или «неровный отвес» ГП-25), но оставляются на усмотрение руководителя занятий.

Масштаб отображения мишени можно выбирать кнопками справа внизу от мишени (A=V):

«увеличить», «1:1», «уменьшить». Одновременно изображение мишени с выстрелами (ТПр+ТП) появляется на проекционном экране для просмотра обучаемым.

Результаты стрельбы можно просмотреть, перебирая все выстрелы или все мишени (или только мишени выбранного стрелка). В первом случае внизу рис. 2 в центре стрелками перебираются «все выстрелы», при этом отображаются ошибки каждого выстрела, статус выстрела («цель поражена», «близкий промах», «осколки», «мимо цели»), положение прицельной планки и время выстрела от появления мишени.

Во втором случае надо стрелками перебирать «номер мишени», при этом отображается ее описание (принадлежность стрелку), размер, число попаданий из всех выстрелов обстрела данной мишени, схематичное изображение стрельбища с мишенью с расстоянием до нее и углом расположения, время первого обстрела и время поражения мишени. Переместив курсор на поле описания, можно увидеть название мишени, а на поле размера – расстояние от ТПр до ТП или координаты стрельбища, куда упала пуля. При неоднократном поражении можно перебирать номера попаданий.

Кроме прямого попадания в мишень поддерживается и множественное осколочное поражение от ГП-25 или РПГ-70 (считается, что они обладают 100%-м поражением в радиусе 7 или 10 м для «прыгающего» выстрела ГП-25). При этом ТПр и ТП рисуются условно: ТП всегда в центре мишени, ТПр – рядом на поверхности со стороны взрыва (рис. 4). По КС выстрелом ГП-25 необходимо попасть в «габарит групповой цели» из двух мишеней, что и считается их поражением (упражнений КС с РПГ-70 нет).

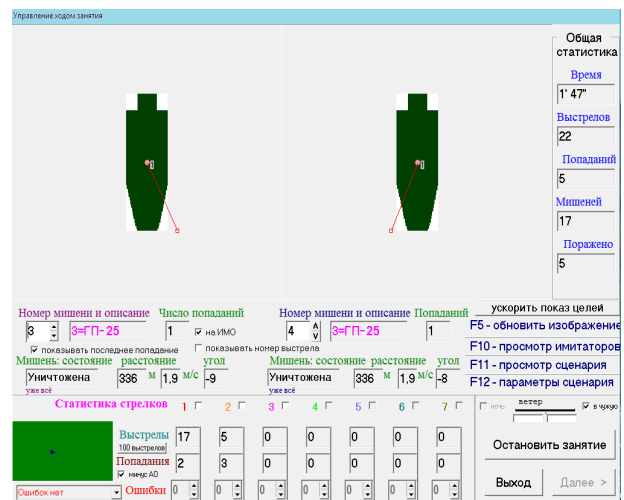


Рис. 4. Осколочное поражение групповой цели от ГП-25

Fig. 4. Fragmentation damage of group target from GP-25



Если ТП в мишень вычисляется в реальном времени при решении «задачи встречи» в текущий сменяемый спрайт возможно движущейся цели, при этом контуры цели в спрайтах отличаются, например, положением ног (см. работу С. Ф. Егорова и др. в этом журнале №2 за 2021 г.), то ТПр априори вычисляется в момент выстрела по дирекционному углу и углу курса линии прицеливания и потом накладывается уже на этот пораженный спрайт, т. е. типична ситуация, когда прицеливание осуществляется в один спрайт циклической последовательности движения анимированной цели, а попадание в другой.

После просмотра статистики стрельб, контроля действий обучаемых после окончания упражнения и выставления оценки (в поле «Итоговая оценка» для каждого стрелка, не поставив оценки, пройти дальше нельзя, рис. 2) по кнопке «Далее» осуществляется сохранение упражнения в базе данных и переход к окну просмотра архива занятий с возможностью распечатки их протоколов ведомости (рассматривается в следующей статье цикла).

Таким образом, требования ТТЗ по информированию руководителя о результатах выполнения упражнения полностью выполнены, что позволяет всесторонне проанализировать стрельбу и выставить объективную оценку обучаемому с рекомендациями по корректировке ошибок.

#### Исследование хроматических aberrаций

При использовании спрайтовой анимации, при которой одно, подвижное, изображение накладывается на другое, на границе изображений могут возникнуть хроматические aberrации (искажение цветов, когда наблюдателю видятся цвета, которые технически не выводились, но образовались из-за аппаратных особенностей RGB представления пикселей изображения).

Типичный пример хроматических aberrаций – это когда слева от черной буквы на белом фоне еле видна синяя кайма, а справа – красная, что связано с физическим расположением субпикселей RGB на экране дисплея (Порев В. Н. Компьютерная графика. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 432 с.).

Существуют два основных вида проекторов: с RGB-матрицей, когда компоненты цвета пикселя распределены в пространстве (очень близко в ряд), и зеркальные, когда компоненты цвета пикселя распределены во времени (последовательно отображаются на одном и том же месте R, G, B). И те и другие проекторы подвержены хроматическим aberrациям, но первые статическим, а вторые динамическим.

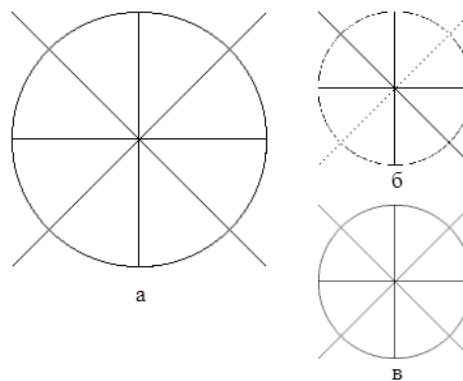


Рис. 5. Примеры aberrаций: а – исходная фигура – окружность с диаметрами; б – фигура после масштабирования 1:2 без смешивания; в – фигура после масштабирования 1:2 со смешиванием

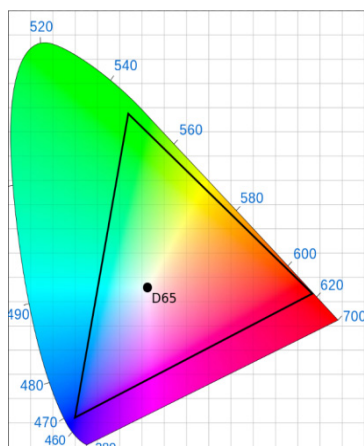
Fig. 5. Examples of aberrations: a – original figure circle with diameters; б – figure after scaling 1:2 without blending; в – figure after scaling 1:2 with blending

Отказ от смешивания цветов и простое масштабирование (прореживание) при выводе низкоприоритетных спецэффектов целей (габаритные взрывы и дымы) может снизить реалистичность мишенной обстановки. При смешивании цветов (так называемая технология антиалиазинг) мелкие детали исходного изображения (рис. 5, а) не пропадают, а становятся менее яркими (рис. 5, в), а без смешивания – частично теряются (рис. 5, б). Но в низкоприоритетных спецэффектах мишеней и выстрелов нет мелких деталей (взрывы, дымы) и сами изображения носят характер случайных пятен, поэтому отказ от смешивания в несколько раз уменьшает время отображения, а значит, повышает быстродействие алгоритма анимации, практически никак не сказываясь на реалистичности этих спецэффектов.

Кроме аппаратных причин хроматических aberrаций, надо помнить о психофизических свойствах человеческого зрения, например так называемой зависимости цветового фона пятна от цвета окружения. При этом на границе изображения объекта на фоне наблюдатель может заметить кайму, имеющую цвет, являющийся суммой цветов фона и цели (при выводе на зеленый фон красной цели, а это далекие друг от друга цвета на цветовом пространстве, рис. 6, можно получить желтую кайму – промежуточный цвет), это происходит из-за смешения человеческим глазом цветовых оттенков близлежащих точек (из-за низкой разрешающей способности глаза к цвету, по сравнению с яркостью) (Порев В. Н. Компьютерная графика. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 432 с.). Для борьбы с такими aberrациями рекомендуется использовать

на границах объект/фон цвета соседние в цветовом охвате (рис. 6), т. е. расположенные рядом внутри треугольника.

Итак, наложение зеленых (или «хаки», или даже просто темных) мишеней или серых (дымных) спецэффектов на траву и лес создает идеальный вариант для отсутствия хроматических aberrаций (тоже относится к светло-серым мишеням на снегу зимой).



В треугольнике цвета проектора

Рис. 6. Цветовое пространство

Fig. 6. Color space

Таким образом, методом субъективной экспертизы с использованием шкалы «места в группе» с баллами диапазона 1–7 (Смирнов А. А. Разработка методики и алгоритмов имитации местности и мишенной обстановки в стрелковых тренажерах : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2001. 148 с.) реалистичность спецэффектов как в статическом, так и в динамическом режимах подтверждена с практическим отсутствием хроматических aberrаций и отражена в акте военной приемки тренажера.

### Выводы

Анализ математического обеспечения поведения целей и алгоритма информирования о результатах упражнения показал:

1. Математическая модель активного поведения целей позволяет выработать реалистичные навыки обратной связи «стрелок – цель», а реакция местных предметов на ветер позволяет обучаемому корректировать точку прицеливания и повышает эффективность тренировок.

2. Оценка стрелков по результатам упражнения оставлена за руководителем, но ему выдается вся информация как по ошибкам обучаемых, так и по характеристикам выполнения (обстрелял ли мишень, сколько баллов выбил, через сколько секунд от появления обстрелял, в каком порядке поразил и т. п.), что позволяет объективно оце-

нить обучаемого и выдать рекомендации по дальнейшему улучшению навыков целеуказания, прицеливания и стрельбы в условиях изменяющейся внешней среды (например, ветра).

3. Исследования качества изображений спецэффектов модифицированной мишенной обстановки и возможных хроматических aberrаций методом экспертных оценок показали соответствие требованиям ТТЗ.

Таким образом, исходя из актуальности дальнейшей разработки и использования электронных стрелковых тренажеров предлагается базироваться на исследованных и испытанных математических моделях спецэффектов мишенной обстановки, особенно благодаря высокой гибкости программного обеспечения, позволяющего в реальном времени модифицировать мишенную обстановку со спецэффектами и следить за ходом тренировок, а в конце обоснованно проводить анализ стрельб и выставлять оценку.

### 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27950-9_12).
2. Lábr M., Hagara L. Using open source on multi-parametric 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., Survilā 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., Гурылев 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. Перишин 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: MPE TNB.

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. Огрыза 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. Викторов А. А. Анализ материально-технического обеспечения дисциплины «огневая подготовка» // Символ науки: международный научный журнал. 2024. Т. 1. № 3-2. С. 139–143. EDN: NIRMUR

17. 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.

18. 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.

19. 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 на-

учных трудов). 2023. № 3. С. 132–137. EDN: GOIZVN.

20. 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.

21. Рожков И. А. Тир в школе // Директор школы. 2024. № 2 (285). С. 74–80. EDN: JFGRMR

22. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27950-9_12).

2. Lábr M., Hagara L. Using open source on multi-parametric 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 «STrIzh»: urovni realizatsii i struktura svobodnogo programmnogo obespecheniya* [Family of electronic shooting simulators «STrIzh»: levels of implementation and structure of free software]. *Pribory i me-*

*tody izmerenii*. 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, pp. 374-375 (in Russ.). EDN: KAXZNC.

14. Ogryza A.V., Ul'rikh S.A., Taran A.N. *Prakticheskaya znachimost' ispol'zovaniya elektronnykh trenazherov na zanyatiyakh po ognevoi podgotovke* [Practical significance of using electronic simulators in fire training classes]. *Evraziiskii yuridicheskii zhurnal*. 2022, no. 1. 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 vy-sokotochnogo 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. Viktorov A.A. *Analiz material'no-tekhnicheskogo obespecheniya distsipliny «ognevaya podgotovka»* [Review of Fire Training Discipline Logistics]. *Simvol nauki: mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal*. 2024, vol. 1, no. № 3-2, pp. 139-143 (in Russ.). EDN: NIRMUR.

17. 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, pp. 343-346 (in Russ.). EDN: RAHWJK.

18. Gorlov O.Yu. *Metodika razrabotki upravlenii uchebnykh strel'b iz pistoleta v tipovykh situatsiyakh sluzhebnoi deyatel'nosti (na primere okhrannokonvoynykh 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 deyatel'nost'*. 2023, no. 1, pp. 43-54 (in Russ.). DOI: 10.7256/2454-0692.2023.1.38047. EDN: EVSCAQ.

19. Bulavin A.A., Vatylev 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.

20. 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.

21. Rozhkov I.A. *Tir v shkole* [Tire at school]. *Direktor shkoly*. 2024, no. 1, pp. 74-80 (in Russ.). EDN: JFGRMR.

22. Egorov S.F. *Strelkovyi trenazher «Ingibitor»: funktsional'naya skhema programmnoho 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”: Special Effect Mathematical Support of Target Behaviour

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

*Mathematical support and algorithms for implementing special effects of target active behavior and local subjects along with result analysis of performing exercise scenario for the optical-electronic shooting simulator «Inhibitor» developed at Institute of mechanics UdmFRC UB RAS and at Computer facilities department of Kalashnikov ISTU jointly with JSC «Kalashnikov» Concern», is described.*

*A tactical and technical task is given for displaying wind-dependent local objects and fumes, to provide the realism of the target behavior (motion angles, defeats, return fire, evading close misses, occurrence, crawling, etc.), and armored vehicle burning. In addition, the manager must receive complete information about the course of firing (time of firing and damage with respect to target materialization, number of shots and errors, sight adjustment, points on target No. 4, etc.) and assess each student with control on exercise completion (magazine - shutter - fuse). It is necessary to calculate the aiming point at the moment of shooting and apply the projection of the rear sight and front sight to the target for each shot in order to control the grip, hold, aim and smooth descent skills. The conducted studies of chromatic aberrations of special effects revealed factors affecting distortions and showed that the target situation meets the TTT requirements. The target realism with motion phases and angles, defeat (fall or burning), evasion of near misses, occurrence and return fire and reaction to the wind of local objects, as well as the completeness of operational informing of the leader was confirmed by military acceptance.*

*The literature review showed the prospects for further research and development of electronic shooting simulators due to the improvement of computing tools and the development of software libraries in order to increase the accuracy of behavior simulation of the target environment and analyzing shooting results. It is necessary to expand the possibilities of special effect realism of goals and reduce the cost, and, therefore, increase the competitiveness of electronic shooting simulators constantly.*

**Keywords:** shooting simulator, windblown smoke, active target behavior, firing completion, exercise assessment.

Получено: 30.05.24

#### Образец цитирования

Егоров С. Ф. Стрелковый тренажер «Ингибитор»: математическое обеспечение спецэффектов поведения целей // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 4. С. 60–72. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-4-60-72.

#### For Citation

Egorov S.F. [Shooting simulator "Inhibitor": mathematical support for special effects of target behavior]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 4, pp. 60-72. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-4-60-72.