

УДК 004.928004.421

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-125-135

## Стрелковый тренажер «Ингибитор»: математическое обеспечение спецэффектов стрельбища

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

*Описывается математическое обеспечение и алгоритмы подготовки выполнения стрелкового упражнения с выбором сценария боевых действий и настройкой параметров стрельбища (спецэффектов) 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 различных типов стрельбищ (степного, лесистого, горного и городского) с учетом времени года (лето/осень/зима/весна) и суток (утро/день/вечер/ночь) с возможной подсветкой местности ночью и поддержкой «атмосферного эффекта» снижения контрастности и возможного тумана с осадками (дождь/снег). В результате проделанных работ все задачи решены с помощью гамма-функции и других преобразований изображений вне основного цикла анимации мишенной обстановки. При выборе сценария стрелкового упражнения можно объединять для одновременного выполнения на разных рабочих местах два сценария для разных типов оружия, имеется возможность просмотреть и отредактировать сценарий и настроить параметры (например, отключить случайное расположение мишеней или сгруппировать их на ближней дальности, изменить порядок показа, разрешить спецэффекты боя и активное поведение целей, задать температуру, и давление воздуха, и скорость ветра, и т. п.). Проведены исследования гамма-функции по изменению времени дня изображения стрельбища и моделей наложения тумана (полупрозрачности) и осадков (ряби изображения).*

*Обзор литературы подтверждает перспективность дальнейших исследований и разработки электронных стрелковых тренажеров благодаря совершенствованию вычислительных средств и развитию программных библиотек с целью повышения точности имитации стрельбища и гибкой настройки как атмосферных, так и боевых параметров учебных упражнений. Необходимо постоянно расширять возможности реалистичности мишенной обстановки и снижать себестоимость, а значит, повышать конкурентоспособность электронных стрелковых тренажеров.*

**Ключевые слова:** стрелковый тренажер, сценарий упражнения, гамма-коррекция, математическая модель тумана, метеоусловия.

### 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 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, 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 [9–11]. Нарботки в настоящее время используются для следующего семейства тренажеров.

Актуальность дальнейшего исследования и разработки электронных стрелковых тренажеров основаны

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 отражены в работах [12–21], а также необходимо постоянное совершенствование методик обучения [22–24]. Кроме этого, тренажеры отличаются безопасностью тренировок и быстрой окупаемостью по сравнению с войсковыми стрельбищами и боевыми тирами.

Целью статьи является описание математического обеспечения спецэффектов стрельбища и алгоритмов модификации изображений и подготовки выполнения сценариев стрелковых упражнений с настройкой как их визуальных параметров, так и пользовательского интерфейса для тактического оптико-электронного тренажера стрелкового оружия «Ингибитор».

### Тактико-техническое задание

Исходя из структуры программного обеспечения тренажера и ТТЗ (см. работу С. Ф. Егорова в данном журнале № 2 за 2019 г.) формулируются задачи, опирающиеся на конкретные требования ТТЗ к математическому обеспечению спецэффектов стрельбища и к настройке сценариев упражнений:

1. Отображение реалистичной степной, лесистой, горной и городской местности в различное время суток и года (с учетом топографии-рельефа), местных предметов, целей, освещение и подсветка местности в ночных условиях (изображение должно быть слабовидимым невооруженным глазом в затемненном помещении, а при рассмотрении в имитатор ночного прицела не должно наблюдаться посторонних излучений), поддержка «атмосферного эффекта» (снижение контраста и резкости от дальности).

2. Тренажер должен обеспечивать проведение тренировок одновременно двух подгрупп до трех обучаемых одной специальности в подгруппе (автоматчики, пулеметчики, гранатометчики, снайперы) в любом сочетании подгрупп.

3. Возможность составлять и редактировать сценарии боевых действий противника. Сценарии должны сохраняться в памяти компьютера (банке сценариев) и использоваться в дальнейшем.

4. Отработка приемов, действий и «стрельбы» должна осуществляться в соответствии с отображаемой мишенной обстановкой и условиями выполнения упражнений согласно Курсу стрельб с учетом температуры и давления воздуха, силы и направления ветра, задаваемых с пульта руководителя занятий и высвечиваемых на экране имитатора мишенной обстановки как в текстовом виде, так и динамикой местных предметов (колебания от ветра кустов и деревьев, снос пыледымовой завесы и дыма и т. п.).

Таким образом, основные задачи создания математического обеспечения спецэффектов стрельбища сводятся к разработке алгоритмов для плавного из-

менения времени дня изображения стрельбища с особенностями ночного режима (например, имитацией подсветки осветительной ракетой); «атмосферного» эффекта снижения контрастности изображений от дальности; исследование возможности реализации тумана, дождя/снега и разработка алгоритмов подготовки выполнения упражнений и настройки атмосферных свойств (температура, давление, ветер), а также исследование разработанных моделей и алгоритмов на визуальную реалистичность реализации смены времени дня и тумана с осадками.

#### Выбор сценария упражнения и настройка параметров

Для запуска стрелкового упражнения необходимо выбрать «Стрельбы» в начальном окне ПО тренажера, разработанного в системе программирования Borland Delphi 5.0 на проблемно-ориентированном языке программирования Object Pascal под Windows XP. Далее появляется окно выбора упражнений Курса стрельб (рис. 1), сгруппированных по видам оружия (см. работы С. Ф. Егорова, И. В. Коробейниковой и др. в этом журнале за 2019–2020 гг.), где можно выбрать сразу несколько одновременно выполняемых сценариев, удерживая клавишу Ctrl, но, согласно требованию ТТЗ, обязательно для разных имитаторов оружия (ИО). В окне также можно задать вариант по дальности до всех мишеней согласно описанию сценария: «ближние»/ «средние»/ «дальние» или «случайно» во всем диапазоне изменения из Курса стрельб. В случае горного варианта развертывания тренажера можно выключить замену мишеней, как этого требует Курс стрельб.

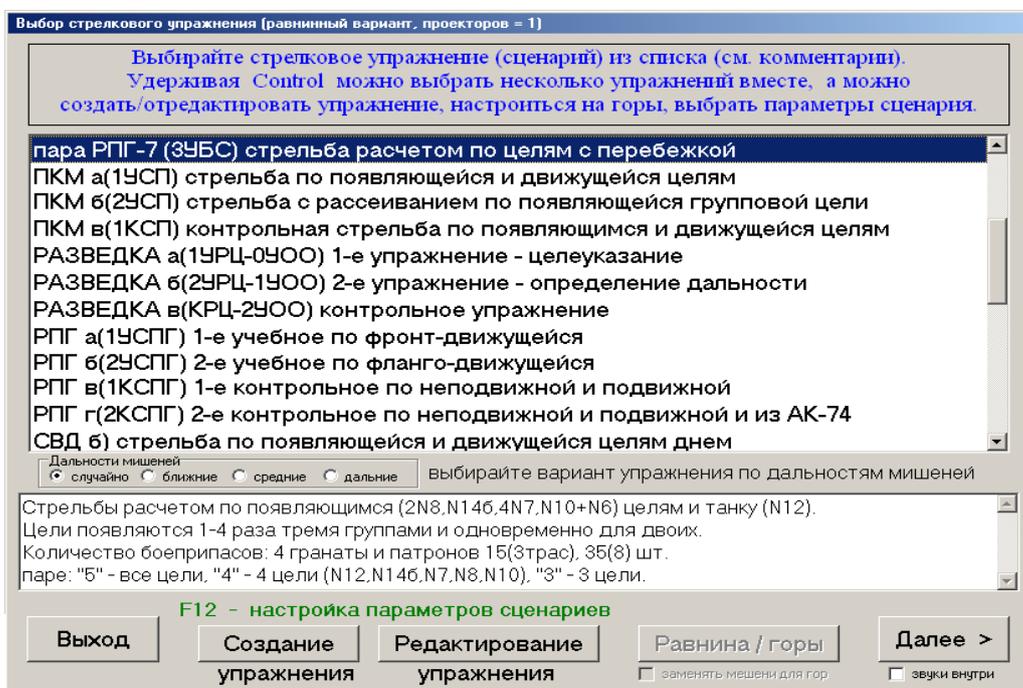


Рис. 1. Окно выбора и настройки сценариев упражнений

Fig. 1. Window of the choice and tuning of scenarios of exercises

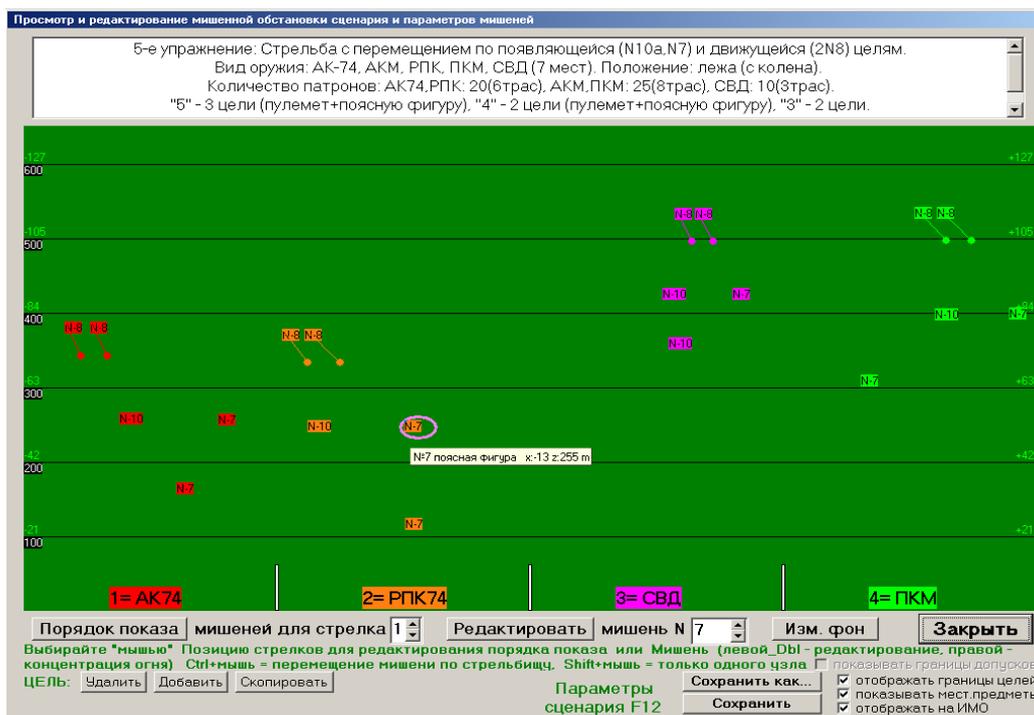


Рис. 2. Окно просмотра и редактирования сценария упражнения

Fig. 2. Viewport and editing scenario of exercise

Перед запуском упражнения можно провести его «Редактирование» (рис. 1, 2), например изменить «Порядок показа» мишеней (рис. 2), заменить стрельбище («Изм. фон»), «Добавить» или «Удалить» мишени или перемещать их «мышкой» по стрельбищу и т. п. По клавише F12 настраиваются визуальные параметры сценария (рис. 3), такие как «освещенность местности» от времени суток, визуальный «атмосферный эффект», баллистические

метеоусловия (температура, давление, боковой ветер и его порывы) и их текстовый показ на проекционном экране для информирования согласно ТТЗ и т. п. (см. работы С. Ф. Егорова, И. В. Коробейниковой и др. в этом журнале за 2019–2020 гг.). В том числе включаются «спецэффекты выстрела» (взрывы, шумы) и спецэффекты «активного поведения целей» (этому посвящены следующие статьи цикла).

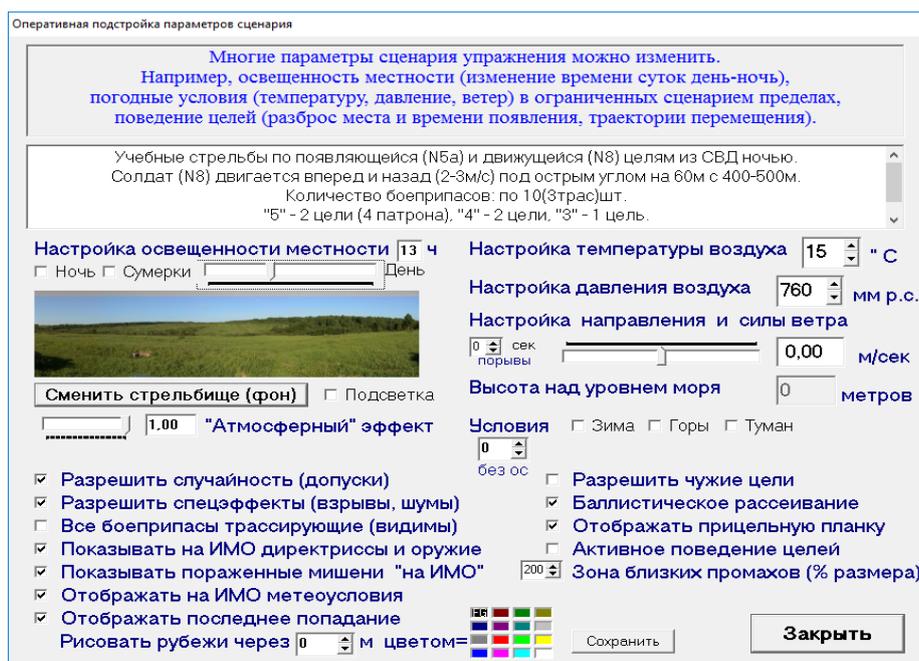


Рис. 3. Окно настройки сценариев упражнений

Fig. 3. Window of the tuning of scenarios of exercises

**Алгоритмы модификации изображений**

Согласно ТТЗ необходимо поддерживать в изображениях стрельбищ как смену времен года, что реализовано соответствующей фотосъемкой для основных видов стрельбищ, так и времени суток, что реализовано динамической коррекцией яркости изображений как стрельбища, так и местных предметов, мишеней со спецэффектами, отображаемых на нем. Кроме этого, необходимо поддерживать особенности зимних стрельбищ заменой мишеней (как белые маскхалаты) размытие мишеней в тумане, «атмосферный эффект» дымки, подсветку ночью местности осветительными ракетами и ответный огонь мишеней, возможную имитацию осадков (дождь/снег) и т. п.

Математическая модель изображений, используемых в ПО тренажера, кодируется в системе цвета RGB TrueColor (3 байта в диапазоне 0...255 каждый), при этом если значения яркости пикселя  $(I_R > 250) \& (I_G > 250) \& (I_B > 250)$ , то он считается «прозрачным» и не выводится (так называемый альфа-канал). При смене времени суток (рис. 3, «Настройка освещенности») перед началом упражнения на, например, ночь/сумерки, которые требуют для реалистичности затемнения помещения, а также для светлого утра все изображения (стрельбища, местных предметов, спецэффектов и целей) подвергаются гамма-коррекции для каждого RGB-пикселя  $I_{RGB}$  [25], что приводит к изменению их яркости на  $I_{RGB}^*$ :

$$I_{RGB}^* = 255 \left( \frac{I_{RGB}}{255} \right)^\gamma$$

где  $\gamma$  – коэффициент осветления ( $\gamma > 1$ ) или затемнения ( $\gamma < 1$ , рис. 4). Экспериментально выявлены средние граничные значения  $\gamma$  для времен суток у всех изображений стрельбищ: утро (9 ч)  $\gamma \geq 1,15$ , день (13 ч)  $\gamma = 1,0$  (1,15...0,75), вечер (сумерки, 20 ч)  $\gamma \leq 0,75$ , ночь (0 ч)  $\gamma \leq 0,34$ .

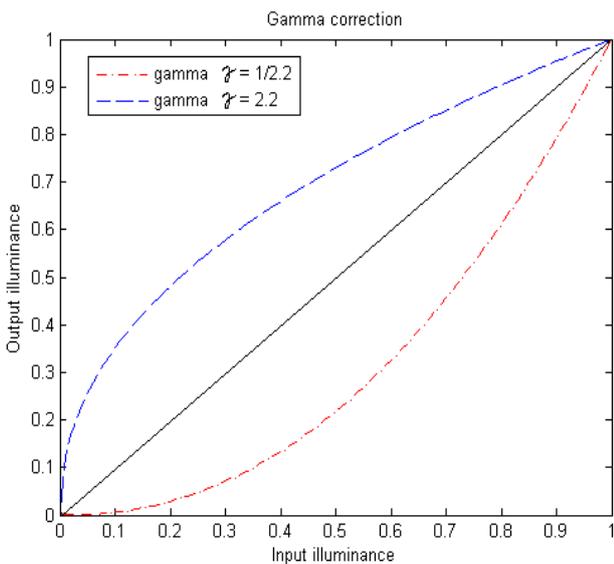


Рис. 4. Гамма-коррекция

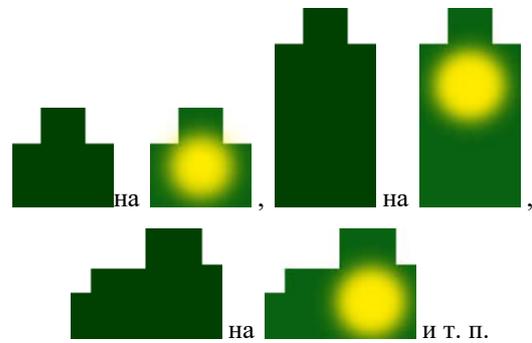
Fig. 4. Gamma correction

Для большей реалистичности небо стрельбища в сумерки и ночью ( $\gamma \leq 0,75$ ) подвергается дополнительной гамма-коррекции, согласно экспертным оценкам: ночью – 3 раза, в сумерки – 2 раза. Небом считаются все верхние пиксели столбцов изображения из синей (Blue) палитры и которые ярче следующего пикселя вниз пикселя  $(v+1)$ :  $(I_B > I_R) \& (I_B > I_G) \& ((I_R + I_G + I_B - 56) > (I_{R+1} + I_{G+1} + I_{B+1}))$ , но в редакторе рельефа стрельбищ возможно вручную «мышкой» задавать границу неба (см. работу С. Ф. Егорова в этом журнале №1 за 2023 г.). Кроме того, ночью (когда  $\gamma \leq 0,35$ ) все изображения теряют цвет переходом в «серое» по формуле (рис. 5, з):  $I_{RGB}^{**} = 0,3I_R + 0,59I_G + 0,11I_B$ .

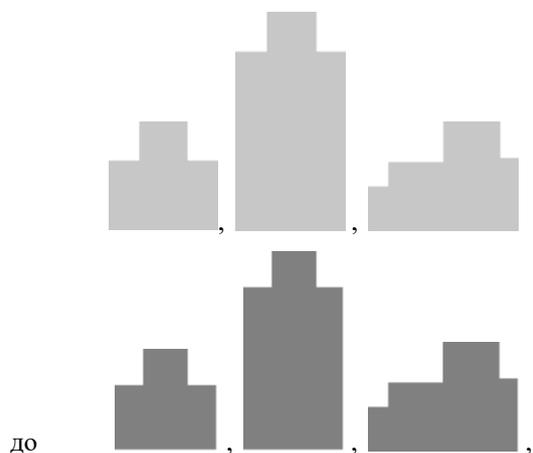
Подсветка ночного стрельбища (рис. 3, «Подсветка») для различимости мишеней осуществляется применением повышенной гаммы  $\gamma = 0,5$  (вместо 0,34) и эмуляцией осветительных ракет использованием «мерцающей» системной палитры цветов *Pal()* Windows XP. В цикле анимации мишенной обстановки с шагом 1/25 с все компоненты палитры *Pal()* сначала плавно увеличиваются, а потом уменьшаются в диапазоне до  $\pm 2048$ , что случайно изменяет уровни серого как нарастающие и затухающие по формуле коррекции:

$$Pal(all) = \begin{cases} Pal(all) - (Pal- = Random(256)), & Pal > -2048 \\ Pal(all) + (Pal+ = Random(256)), & Pal < 2048 \end{cases}$$

Ночью мишени также демаскируются ответным огнем (рис. 5 г) путем замены их изображений:



Кроме этого, мишени также заменяются зимой на «белые» яркостью от



подстраиваясь под среднюю яркость стрельбища, точнее оперативно перекрашиваются перед выводом (при соответствующих настройках и с учетом гамма-коррекции), когда каналы цвета пикселей  $R$ ,  $G$  и  $B$  становятся от  $2 * G$  до  $3 * G$  ( $\approx 128 \dots 192$ , установлено экспертным методом), т. е.  $R' = B' = G' = (2 \dots 3) * G$ .

Снижение контрастности изображения  $K$  от «атмосферного эффекта» (когда при увеличении расстояния до предмета уменьшается контрастность его деталей и границ и уменьшается яркость, рис. 3) осуществляется по стандартной формуле:  $I_{RGB}^{**} = K(I_{RGB} - 128) + 128$ . Но особой необходимости специальной настройки «атмосферного» эффекта нет, т. к. фотография стрельбища и так с реалистичной «дымкой», а при выводе уменьшенных мишеней автоматически сглаживаются их мелкие детали (см. работу С. Ф. Егорова в этом журнале № 2 за 2023 г.), а значит, уменьшается контрастность и происходит размытие цветов. Итак, автоматический учет «атмосферного эффекта» в алгоритме анимации мишенной обстановки (см. работу Егорова С. Ф. в этом журнале № 3 за 2023 г.) делает данную настройку мало востребованной.

На туманном стрельбище (рис. 5, е), которое смоделировано во внешнем графическом редакторе, реализовано размытие видимости мишеней по градиенту снизу вверх (т. е. чем выше координата  $y$  изображения мишени, а это меньшее значение, тем лучше видно  $I$ , т. к. необходимо сохранить различимость мишеней высоты  $H$  до минимум расстояния 650 м на стрельбище  $F$ ) по формуле:  $I_{RGB}^{**} = F_{RGB} * (1 - y / H) + I_{RGB} * (y / H)$ .

Возможна и эмпирическая проверка точек фона  $F$  на возможный туман, а туман математически это уровни серого:  $(F_R > 128) \& (F_B > 128) \& (F_G > 128) \& (|F_R - F_G| \leq 8) \& (|F_G - F_B| \leq 8)$  с альтернативным использованием прозрачности:  $alfa = (1 - ((F_R + F_G + F_B) / 3 - 128) / 0,00741)$ .

Любое изображение стрельбища можно программно привести к туманному по формуле от дальности пикселя  $(x, y)$  стрельбища  $D(x, y)$  на расстояние до 2 км (в математической модели стрельбища каждой точке его изображения задается дальность и выдается функцией  $D(x, y)$ ):

$$F_{RGB}^{**}(x, y) = F_{RGB}(x, y) * ((D_{\text{туман}} - D(x, y)) / D_{\text{туман}}) + 250(D(x, y) / D_{\text{туман}}),$$

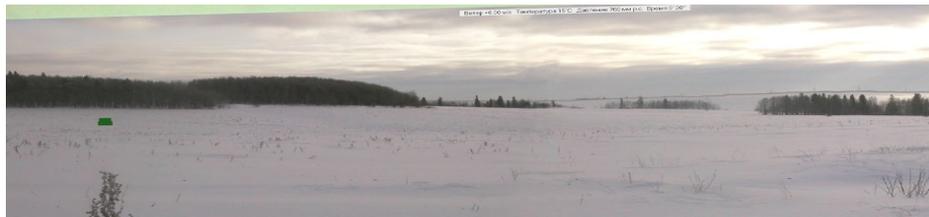
где  $D_{\text{туман}} = 650$  м.

Также через системную палитру цветов  $Pal()$  возможно моделирование снега/дождя ( $SR = 63000 / 48000$ ) внесением  $SR$  значения в один из случайных цветов палитры (как белых снежинок или серых капель) по формуле:  $Pal(Random(1 \& 7 - 3 \& 9 - 5 \& 11)) = SR$  без циклической коррекции изображения. При этом на изображение стрельбища случайно вносится шум типа «соль» (белые точки для снега зимой и серые для дождя), цвет которых случайно изменяется (белый/фон) для создания иллюзии хаотичных снежинок или капель.

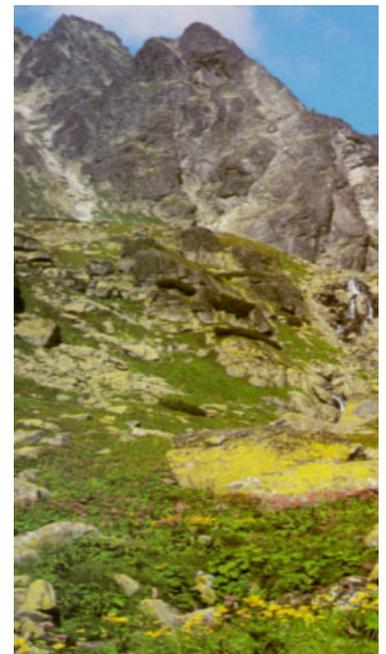
Таким образом, опираясь на приведенное математическое обеспечение модификации изображений [26] стрельбищ для поддержания спецэффектов удалось изменять время суток на стрельбище для всех изначально дневных изображений с поддержкой реалистичного «зачернения» неба, «атмосферного эффекта» для снижения контраста от дальности, градиентного «забеливания» мишеней в тумане (рис. 5) и даже вносить иллюзию осадков. Визуальные параметры сценария (рис. 3) можно настроить только перед запуском упражнения, далее их изменение блокируется (это же касается возможностей редактирования поведения мишеней сценария упражнения). Спецэффекты стрельбища обрабатываются до запуска упражнения и во время упражнения не расходуют ресурсов (кроме незначительно «туманного» размытия мишеней).



а) Стандартное стрельбище с ростовыми мишенями



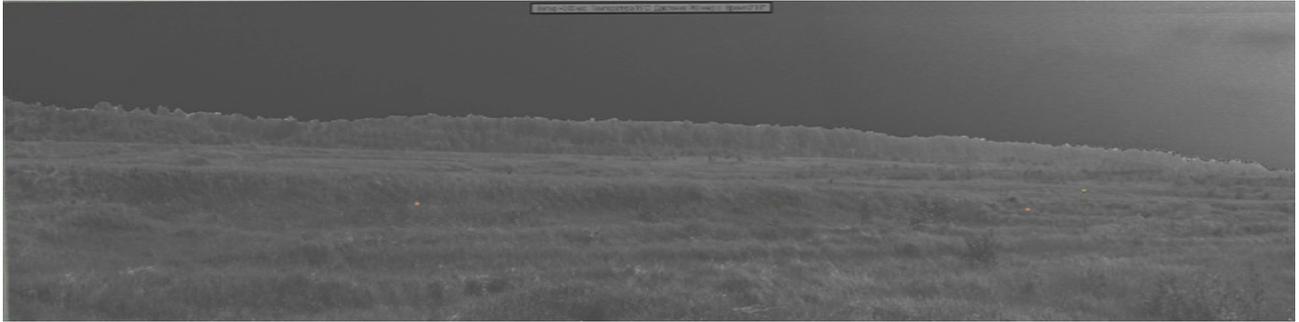
б) Зимнее стрельбище с танком



в) Горное стрельбище

Рис. 5. Примеры изображений стрельбищ (окончание на с. 130)

Fig. 5. Examples of shooting range images



г) Скорректированное ночное стрельбище с демаскирующими «огнями»



д) Городское стрельбище с парашютным десантом



е) Туманное стрельбище с танками

Рис. 5. Примеры изображений стрельбищ (начало на с. 129)

Fig. 5. Examples of shooting range images

**Испытания настройки времени дня стрельбища**

Исходя из предложенных моделей и алгоритмов были проведены испытания по настройке яркости изображений стрельбищ (рис. 6) от времени дня.



Полдень

Предвечер

Утро

Вечер

Рис. 6. Изображения стрельбищ от времени дня (окончание на с. 131)

Fig. 6. Images of shooting ranges from time of day



Рис. 6. Изображения стрельбищ от времени дня  
(начало на с. 130)

Fig. 6. Images of shooting ranges from time of day

Методом экспертных оценок алгоритмы настройки яркости времени дня изображений стрельбищ, «атмосферного» эффекта размытия и подсветки ночью признаны реалистичными и прошли военную приемку.

#### Исследование моделирования тумана и осадков

Для повышения реалистичности мишенной обстановки были проведены исследования по возможности реализации моделирования тумана и осадков (дождь/снег) на любом изображении стрельбища, хотя этого требования явно в ТТЗ нет, а были лишь пожелания.

Для наложения тумана на рабочую зону стрельбища, а это примерно от 50 до 650 м, необходимо знать дистанцию до каждого пиксела изображения  $D(x, y)$ . Значения же функций параметров рельефа от экранных координат  $(X_3, Y_3)$  можно получить только методом перебора в едином цикле по матрице высот стрельбища до первого совпадения по эталонным дирекционному углу  $\psi$  и углу возвышения  $\theta$  экранной точки  $(X_3, Y_3)$ :

1. Вычисляются по  $(X_3, Y_3)$  тангенсы дирекционного угла  $\psi$  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  $W_2=1536$  – горизонтальная середина 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.

2. В цикле по  $Z$  с шагом +10 м (шаг матрицы высот) по углу  $\psi$  вычисляется  $X=\tan(\psi)Z$  и по ним  $Y=BL(X, Z)$ , пока  $Y/\sqrt{(Z^2+X^2)} < \tan(\theta)$ , где  $BL(X, Z)$  – билинейная интерполяция высоты стрельбища по заданным высотам в узлах матрицы (см. работу С. Ф. Егорова в этом журнале № 1 за 2023 г.).

3. В цикле по  $Z$  с шагом -1 м (можно и меньше) уточняются координаты  $(X, Y, Z)$  пока  $Y/\sqrt{(Z^2+X^2)} > \tan(\theta)$ .

4. Таким образом, ищутся параметры  $(X, Y, Z)$  только первой совпадающей по  $\psi$  и  $\theta$  точки поверхности стрельбища с некоторым допуском (например,  $\pm 1$  м).

5. После вычисления  $D(x, y)$  модифицируется текущая точка экрана  $(X_3, Y_3)$ :

$$F_{RGB}^{**}(x, y) = F_{RGB}(x, y) * ((D_{туман} - D(x, y)) / D_{туман}) + 250(D(x, y) / D_{туман}), \quad \text{где } D_{туман} = 650 \text{ м.}$$

Надо учитывать, что экранные координаты  $(X_3, Y_3)$  в общем случае вещественные – именно в таком виде получаются координаты ТПр от регистратора оптико-электронного стрелкового тренажера и можно вычислить, куда целится стрелок в поверхность стрельбища только без учета последующих складок местности (т. е. в первую точку – начало-склон оврага) и ориентируясь исключительно на углы прицеливания (возвышения) и курса.

После наложения тумана на стрельбище при анимации мишенной обстановки в цикле все мишени «размываются» по градиенту их высоты  $H$ :

$$I_{RGB}^{**} = F_{RGB} * (1 - y / H) + I_{RGB} * (y / H).$$

Итак, предварительное наложение тумана на изображение стрельбища из-за алгоритма перебора является ресурсоемким алгоритмом, но выполняемым не в цикле и поэтому рекомендуемым к применению.

Использование модификации системной палитры яркости цветов  $Pal()$  для реализации подсветки стрельбища ночью показала высокую реалистичность такого подхода и очень низкую ресурсоемкость, т. к. не требуется обновлять изображение стрельбища на экране. Попытка же реализовать осадки (снег/дождь) через изменение системной палитры показала теоретическую возможность такого подхода после специальной подготовки изображений стрельбищ:

1. Выбираются несколько кодов RGB для описания осадков из двух групп: для земли и для неба (например, 1-3-5 и 7-9-11 или из других диапазонов от 0 до 250, но через один для удобства).

2. Ищутся в изображении стрельбища выбранные коды RGB и заменяются на +1, что практически не изменяет изображение, таким образом освобождаются выбранные коды RGB для описания осадков.

3. Во время поиска собирается статистика цветов стрельбища отдельно для неба и для земли (граница описывается в редакторе рельефа стрельбища и известна) и вычисляются средние яркости RGB для неба и для земли.

4. Вносятся в изображение стрельбища случайные точки (количеством в зависимости от интенсивности моделируемых осадков) с выбранными кодами RGB и задается их палитра, например,  $Pal(1-3-5)$  по средней RGB земли и  $Pal(7-9-11)$  по средней RGB неба, в результате эти точки осадков становятся практически не видны на изображении; сохраняется такая палитра, как  $Pal(0)$ .

5. Для запуска моделирования осадков по таймеру, например 3 раз/с, восстанавливается палитра  $Pal(0)$  и изменяется в ней цвет случайно выбранных RGB-кодов по каждой из группы (1 и 7, или 3 и 9, или 5 и 11) для эффекта шума «соль», который должен походить на осадки. Для дождя устанавливается яркость случайно выбранных пар 48000 (75 %), а для снега 63000 (95 %).

Достоинства подхода: практически не ресурсоемкий алгоритм. Недостатки: не гарантируется реалистичность снега/дождя на всех видах стрельбищ, на фоне неба дождь практически не виден, могут вноситься искажения цветов при отображении служебной информации в рабочем окне руководителя, резко замедляется подготовка всех изображений к анимации для коррекции, во всех алгоритмах замешивания цветов (при наложении мишени на стрельбище) необходимо исключить получение выбранных кодов RGB (заменить на +1). Кроме того, для большей реалистичности осадков (как и тумана) необходимо использовать значения яркости для каждой такой измененной точки с небольшими случайными отклонениями яркости (до  $\pm 10\%$ ).

Таким образом, требования к туману и осадкам, как метеоусловиям, противоречивые: с одной стороны, они должны быть реалистичными, но с другой – мишени должны быть полностью различимы, поэтому реализация тумана не кажется необходимой, как и осадков (которые никак не влияют на стрелка и прицеливание, а только на изображение). К тому же согласно наставлениям на вооружение прицельная стрельба не гарантируется в условиях сильного ветра, обильных осадков, тумана и критических температур, тем более на больших расстояниях, даже с табличной коррекцией точки прицеливания и поэтому моделирование экстремальных погодных условий точно не рекомендуется.

#### Выводы

Анализ математического обеспечения спецэффектов стрельбища показал:

1. Математическая модель изображений стрельбищ и алгоритмы обработки позволяют изменять время дня с помощью гамма-коррекции яркости точек и вводить такие визуальные эффекты, как туман, дождь-снег, мерцающую подсветку ночью, что повышает гибкость отображения мишенной обстановки, используя только одно фотореалистичное изо-

бражение стрельбища, и снижает потребность в используемой памяти примерно в 4 раза.

2. После выбора стрелкового упражнения (или даже двух одновременно) можно просмотреть его сценарий, изменить расстановку и порядок появления мишеней, настроить визуальные параметры: время дня, «атмосферный эффект», оперативную установку и отображение метеоусловий для коррекции прицеливания (температуру, давление, боковой ветер), что позволяет добиться высокой гибкости и реалистичности мишенной обстановки для привития навыков целеуказания, прицеливания и стрельбы в условиях изменяющейся внешней среды и уменьшить количество разновидностей сценариев упражнений в базе примерно в 2 раза.

3. Исследования экспертным методом качества изображения модифицированного стрельбища для реализации спецэффектов показали соответствие реалистичности требованиям ТТЗ.

Таким образом, исходя из актуальности дальнейшей разработки и использования электронных стрелковых тренажеров предлагается базироваться на исследованном и испытанном математическом обеспечении коррекции изображений для различных внешних условий, особенно благодаря высокой гибкости программного обеспечения, позволяющего в реальном времени модифицировать изображения спецэффектов стрельбища.

#### 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 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., Pilka \_uskas 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. Корнилов И. Г., Афанасьева Н. Ю., Веркиенко Ю. В. Обратная модель системы «проектор – экран – оптоэлектронный преобразователь» стрелкового тренажера // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2007. № 1. С. 63–65.

10. Егоров С. Ф. Информационные потоки в электронном стрелковом тренажере // Интеллектуальные системы в производстве. 2010. № 2 (16). С. 132–134.

11. Егоров С. Ф., Казаков В. С. История создания оптико-электронного стрелкового тренажера «Ингибитор» // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сборник трудов регион. науч.-техн. очно-заочной конф. ; науч. ред. В. А. Куликов. Ижевск, 2016. С. 134–142.

12. Прекина Т. А., Гвоздев А. К., Мудрик И. А. Освоение огневой подготовки курсантами МВД в современном мире с применением инновационных технологий // Эпоха науки. 2020. № 23. С. 79–82.

13. Таков А. З., Курманова М. К. Применение современных технологий в обучении стрельбе из боевого оружия // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11-2. С. 412–416. DOI: 10.17513/snt.38398.

14. Никифоров П. В., Музафин Р. Р. Использование стрелковых тренажеров в подготовке сотрудников ОВД // Евразийский юридический журнал. 2020. № 3 (142). С. 275–276.

15. Ермоленко С. А., Клименко С. С., Курза А. В. Особенности использования стрелкового тренажера СКАТТ на занятиях по огневой подготовке // Эпоха науки. 2020. № 22. С. 47–49.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. Порев В. Н. Компьютерная графика. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 432 с.

26. Егоров С. Ф., Казаков В. С. Моделирование мишенной обстановки и спецэффектов в стрелковом тренажере // Информационные системы в промышленности и образовании : сб. трудов мол. ученых В. 3 т. Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2008. С. 66–67.

## 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 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. Kornilov I.G., Afanas'eva N.Yu., Verkienko Yu.V. *Ob-ratnaya model' sistemy «proektor – ekran – optiko-elektronnyi preobrazovatel'» strelkovogo trenazhera* [Reverse model of the system "projector - screen - optoelectronic converter" shooting simulator]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2007, no. 1, pp. 63–65 (in Russ.).

10. Egorov S.F. *Informatsionnye potoki v elektronnom strelkovom trenazhere* [Information flows in the electronic shooting exercise machine]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2010, no. 2, pp. 132–134 (in Russ.).

11. Egorov S.F., Kazakov V.S. *Istoriya sozdaniya optiko-elektronnogo strelkovogo trenazhera «Ingibitor»* [History of creation of the optical-electronic shooting "Inhibitor" exercise machine]. *Informatsionnye tekhnologii v nauke, promyshlennosti i obrazovanii. Sbornik trudov reg-oi nauchno-tekhnicheskoi ochno-zaochnoi konf.* [Information technologies in science, the industry and education. Collection of works regional scientific and technical intramural and extramural

conf.] (ed. Kulikov V.A.). Izhevsk, 2016, pp. 134-142 (in Russ.).

12. Prekina T.A., Gvozdev A.K., Mudrik I.A. *Osvoenie ognevoi podgotovki kursantami MVD v sovremennom mire s primeneniem innovatsionnykh tekhnologii* [Development of fire training by students of the MIAffairs in the modern world using innovative technologies]. *Epokha nauki*, 2020, no. 23, pp. 79-82 (in Russ.).

13. Takov A.Z., Kurmanova M.K. *Primenenie sovremennykh tekhnologii v obuchenii strel'be iz boevogo oruzhiya* [Application of modern technologies in training in firing from combat weapons]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2020, no. 11-2, pp. 412-416 (in Russ.). DOI: 10.17513/snt.38398.

14. Nikiforov P.V., Muzafin R.R. *Ispol'zovanie strelkovykh trenazherov v podgotovke sotrudnikov OVD* [Use of shooting simulators in training of IAO]. *Evrasiiskii yuridicheskii zhurnal*, 2020, no. 3, pp. 275-276 (in Russ.).

15. Ermolenko S.A., Klimenko S.S., Kirza A.V. *Osobennosti ispol'zovaniya strelkovogo trenazhera SKATT na zanyatiyakh po ognevoi podgotovke* [Peculiarities of SCATT shooting simulator use in fire training classes]. *Epokha nauki*, 2020, no. 22, pp. 47-49. (in Russ.).

16. 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, pp. 116-119 (in Russ.).

17. 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.

18. 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.).

19. 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.).

20. 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. Pp. 419-420 (in Russ.).

21. In'shin Yu.Yu., Lipatkin A.V. *Strelyat' khorosho i mnogo innovatsionnye podkhody v obuchenii kursantov strel'be s ispol'zovaniem boevogo lazernogo interaktivnogo vysokotochno 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.).

22. 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.).

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

24. 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.

25. Porev V. N. *Komp'yuternaya grafika* [Computer graphics]. SPb: BKhV-Peterburg, 2004, 432 p. (in Russ.).

26. Egorov S.F., Kazakov S.V. *Modelirovanie mishennoi obstanovki i spetseffektov v strelkovom trenazhere* [Simulation of the target environment and special effects in a shooting simulator]. *Informatsionnye sistemy v promyshlennosti i obrazovanii* [Information Systems in Industry and Education] Izhevsk, 2008, vol. 3, pp. 66-67 (in Russ.).

\* \* \*

### Shooting Simulator «Inhibitor»: Mathematical Support of the Shooting Range Special Effects

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

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

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

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

*The article describes mathematical tools and algorithms for preparing for a shooting exercise with selection of a combat scenario and setting the parameters of the shooting range (special effects) 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".*

*The tactical and technical task for displaying various types of shooting ranges (steppe, wooded, mountain and urban) is given, taking into account the season (summer/autumn/winter/spring) and time of the day (morning/day/evening/night) with possible illumination of the area at night and support for the "atmospheric effect" by reducing contrast and possibly of fog with precipitation (rain/snow). As a result of the work done, all the problems are solved using the gamma function and other image transformations outside the main cycle of animation of the target environment. When choosing a shooting exercise scenario, one can combine two*

features for different types of weapons and execute them simultaneously at different workplaces, one can view and edit the script and configure parameters (for example, disable the random location of targets or group them at short range, change the order of display, allow special combat effects and active behavior of targets, set air temperature and pressure and wind speed, etc.). A gamma function study was carried out to change the time of day of the shooting range image and models of the application of fog (translucency) and precipitation (ripples images).

The literature review confirms the promise of further research and development of electronic rifle simulators through the improvement of computing tools and the development of software libraries with the aim of improving the accuracy of simulating a shooting range and flexible adjustment of both atmospheric and combat parameters of training exercises. It is necessary to constantly expand the possibilities of realism of the target situation and reduce the cost, which means to increase the competitiveness of electronic shooting simulators.

**Keywords:** shooting simulator, exercise scenario, gamma correction, mathematical fog model, weather conditions.

Получено: 07.11.23

#### Образец цитирования

Стрелковый тренажер «Ингибитор»: математическое обеспечение спецэффектов стрельбища / С. Ф. Егоров, Ю. К. Шелковников, Е. Ю. Шелковников, В. Н. Сяктерев // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 125–135. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-125-135.

#### For Citation

Egorov S.F., Shelkovnikov Yu.K., Shelkovnikov E.Yu., Syakterev V.N. [Shooting Simulator «Inhibitor»: Mathematical Support of the Shooting Range Special Effects]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 125-135. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-125-135.