

УДК 623.54; 681.5; 004.421
DOI: 10.22213/2410-9304-2020-2-71-84

Стрелковый тренажер «Ингибитор»: программное обеспечение регистратора точки прицеливания

С. Ф. Егоров, кандидат технических наук, доцент,
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия
И. Г. Корнилов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
Ю. К. Шелковников, доктор технических наук, профессор,
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия
С. Р. Кизнерцев, кандидат технических наук,
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия
И. В. Коробейникова, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
Е. М. Марков, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Описывается программное обеспечение для определения точки прицеливания тактического тренажера оптико-электронного для стрелкового оружия «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 функциональные возможности регистратора оптико-электронного координат точки прицеливания имитатора оружия с лазерным излучателем, указаны требования по погрешности и по углам фиксации. Предложенная и исследованная схема на базе трех блоков из двух ортогональных ПЗС-линеек и цилиндрических линз позволяет фиксировать середину лазерного пятна по двум направлениям с требуемой точностью и быстродействием. Управление линейками осуществляется по приведенному алгоритму работы. Разработана математическая модель перевода отсчетов ПЗС-линейки в координаты экрана и разработано программное обеспечение для ее тарировки по искусственным изображениям, приводятся результаты испытаний регистратора на погрешность определения координат. Разработан протокол для передачи координат в программное обеспечение тренажера с внутренней синхронизацией данных.

Сделан вывод о перспективности дальнейших исследований и разработке электронных стрелковых тренажеров благодаря совершенствованию и удешевлению элементной базы и развитию программных библиотек с целью повышения точности тренажеров, расширения функциональных возможностей, снижения себестоимости и, значит, повышения конкурентоспособности.

Ключевые слова: стрелковый тренажер, тактико-техническое задание, регистратор точки прицеливания, математическая модель, погрешность координат, кадр данных.

Введение

Разработка электронных стрелковых тренажеров (т. е. для ручного оружия и не использующих боеприпасы) [1–9] и электронных мишеней (использующих боеприпасы) [10, 11] является важной задачей, т. к. производство любого вида стрелкового вооружения, согласно нормативным документам, требует и производства тренажера для привития навыков прицеливания и стрельбы, а также мишеней-тиров или стрельбищ в качестве боевых тренажеров и испытательных стендов для совершенствования конструк-

ции изделий [12–22]. Тренажер может быть просто механической насадкой на боевое изделие (например, командирский ящик КЯ-83), но электронные тренажеры или 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» с 2000 по 2010 год и был принят на вооружение под индексом 1У33 [23].

Целью статьи является подробное описание части программного обеспечения тактического тренажера оптико-электронного для стрелкового оружия «Ингибитор» (ориентировочно 10–12 статей за 2019–2022 гг.).

Тактико-техническое задание

Обобщенная функциональная блок-схема ПО тренажера «Ингибитор» представлена на рис. 1

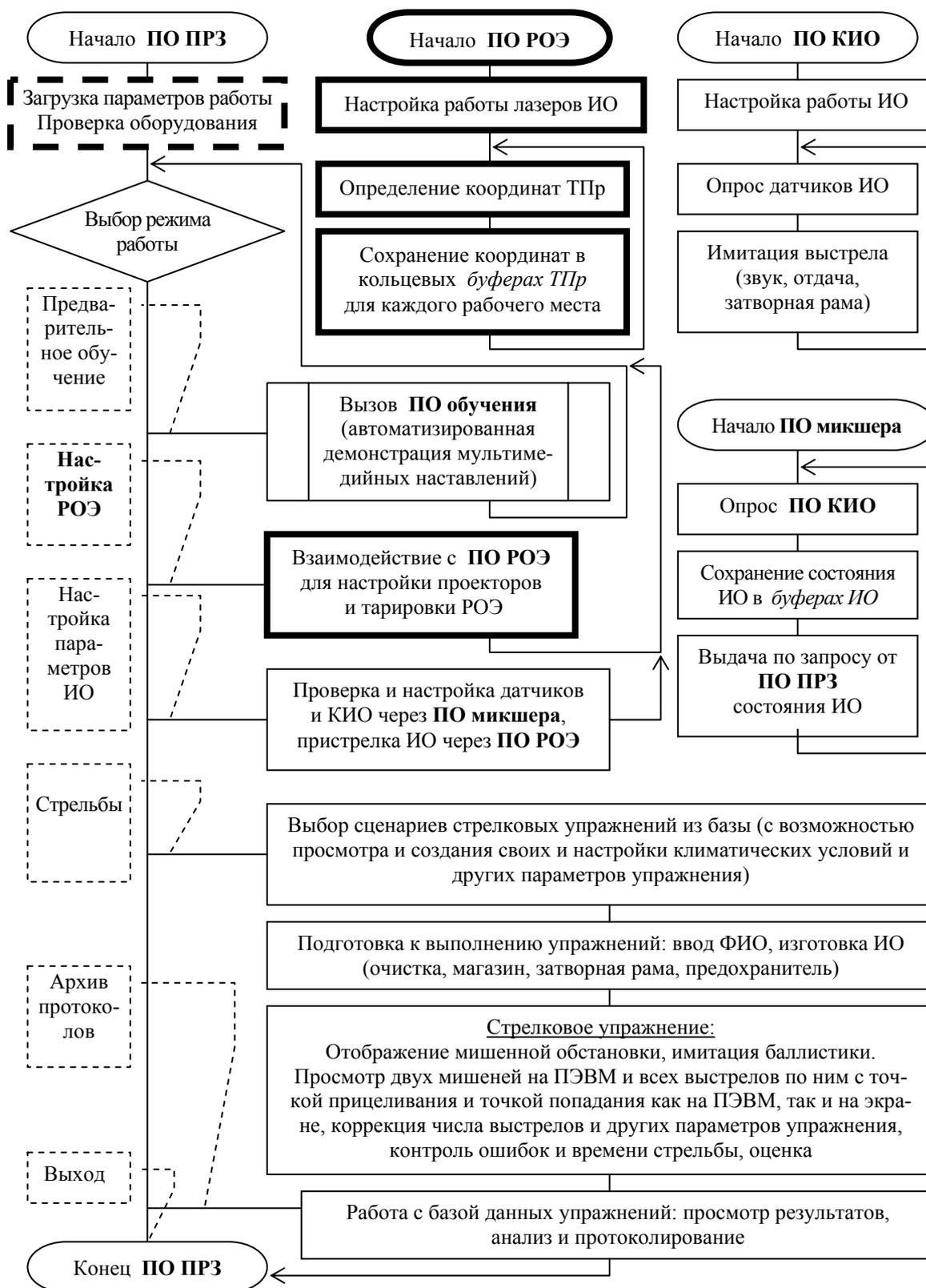


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы ПО тренажера

ПРЗ – пульт руководителя занятий, ТПр – точка прицеливания, РОЭ – регистратор оптико-электронный или датчик координат ТПр, КИО – контроллер имитатора оружия (ИО), а требования ТТЗ [24] к РОЭ сводятся к обеспечению точности контроля ТПр не хуже 0,3 тысячных деления угломера по всей площади экрана (в секторе не менее $60^\circ \times 12^\circ$ для равнинного варианта и не менее $20^\circ \times 40^\circ$ для горного) с любого места зоны размещения стрелков.

Наибольшей кучностью стрельбы из ИО тренажера обладает снайперская винтовка СВД [25] – на 100 метров срединное отклонение по высоте равно боковому срединному отклонению и составляет 1,8 см. Отсюда

следует, что среднеквадратичное отклонение (с.к.о.) при определении координат ТПр при расстоянии до экрана 5 метров должно быть меньше 1,33 мм при нормальном законе распределения. Учитывая большой размер экрана ($6,4 \times 2$ м), можно сказать, что к точности подсистемы определения координат ТПр предъявляются очень жесткие, но обоснованные требования. Поэтому поля регистрации по экрану разбиты на три части с отдельными датчиками координат (рис. 2). Кроме того, предъявляются повышенные требования к быстродействию, так время регистрации ТПр не должно превышать 6 мс (т. е. с частотой не менее 170 Гц) [26].

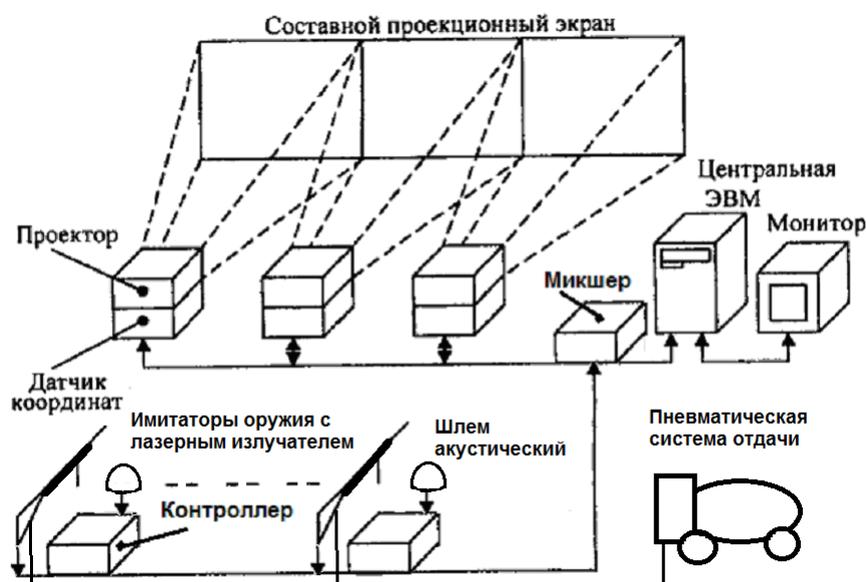


Рис. 2. Структурная схема тренажера оптико-электронного стрелкового «Ингибитор»

Таким образом, для выполнения требований ТТЗ необходимо было оснастить все ИО импульсными лазерными излучателями (но чтобы одновременно на экране было лазерное пятно только от одного ИО), разработать инновационные оптико-электронные блоки регистрации – датчики координат точек прицеливания/попадания (сектором не менее $20^\circ \times 15^\circ$ каждый, размещаются на металлической ферме вместе с проекторами) [27–33] для компоновки равнинного или горного варианта экрана (рис. 2 – равнинный вариант, рис. 3, 4), разработать математическую модель координат [34] и встроенное в микшер ПО РОЭ для фиксации ТПр – лазерных пя-

тен от ИО на экране с 8 рабочих мест с требуемой погрешностью и ПО настройки РОЭ (ПО НРОЭ, часть ПО тренажера) для тарировки математической модели.

Алгоритм работы ПО РОЭ

ПО РОЭ разработано на машинно-ориентированном языке программирования ассемблере SIEMENS SAB 80C166/80C167. ПО НРОЭ – в системе программирования Borland Delphi 5.0 (с использованием дополнительного компонента CPort) на проблемно-ориентированном языке программирования Object Pascal. ПО РОЭ встроено в контроллер микшера, не требует внутренней настройки и работает независимо от

центральной ЭВМ, обеспечивая постоянное определение координат ТПр и выдачу их со служебной информацией по СОМ-интерфейсу. ПО НРОЭ является частью ПО тренажера (точнее ПО ПРЗ) и вызывается для тарировки РОЭ, т. е. идентификации параметров математической модели координат в зависимости от конкретного расположения системы «экран – проекторы – регистраторы».

Изображение мишенной обстановки стрелкового упражнения от центральной ЭВМ через проекторы передается на составной проекционный экран (рис. 2), который расположен на расстоянии 5,5 м от ра-

бочих мест и представляет собой металлическую раму 6,7×2,35 м (при 3072×768 точек проекции), которую в горном варианте (до 1024×2304 точек проекции) нужно перевернуть на 90° и снять одну секцию до высоты 4,9 м (или две секции до 3,3 м, если высота потолка не позволяет больше, рис. 4). На раме растянут пластиковый белый матовый экран, жесткость конструкции рамы и ее фиксации в помещении является важным условием для обеспечения требуемой точности определения ТПр. Те же требования относятся и к конструкции фермы, на которой крепятся проекторы, и три модуля РОЭ (рис. 3).



Рис. 3. Ферма с проекторами и датчиками

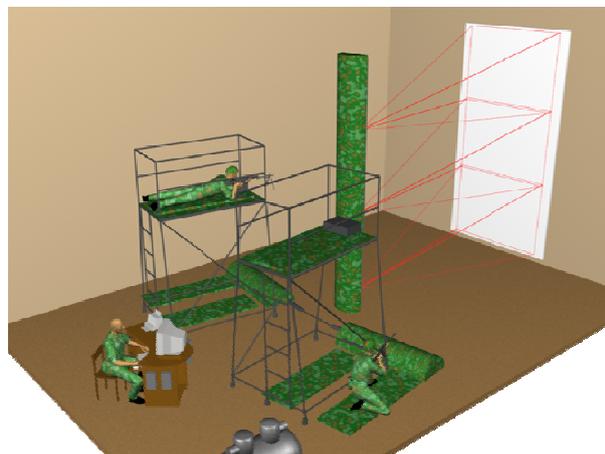
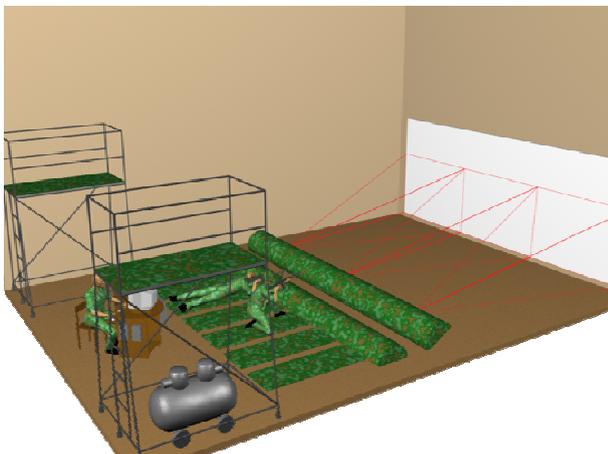


Рис. 4. Равнинный и горный варианты развертывания тренажера

Лазерный ИК-излучатель, смонтированный на каждом ИО, должны испускать ИК-импульсы с частотой не менее 170 Гц и скважностью 8 (чтобы одновременно могли работать лазеры 8 рабочих мест не мешая друг другу, т. е. эффективная частота определения координат ПО РОЭ не менее 1360 Гц) [35].

Для определения координат ТПр по лазерному пятну на экране в каждом РОЭ (датчике координат) смонтированы две ортогональные сканирующие системы на базе ПЗС-линейки (2048 отсчетов) и цилиндрической линзы (рис. 5, 6, 7). Они фиксируют габариты лазерного пятна по координатам Y и Z соответственно, ПО РОЭ вычисляет

среднее значение и выдает результат в ПО ПРЗ. Перед линзой каждого РОЭ установлен пропускающий ИК-фильтр (ПИКФ), который не пропускает постороннюю засветку (особенно от проекторов, что накладывает

ограничения на выбор моделей последних или требует для них блокирующих ИК-фильтров), но ПИКФ может сниматься для тарировки математической модели системы по искусственным изображениям.

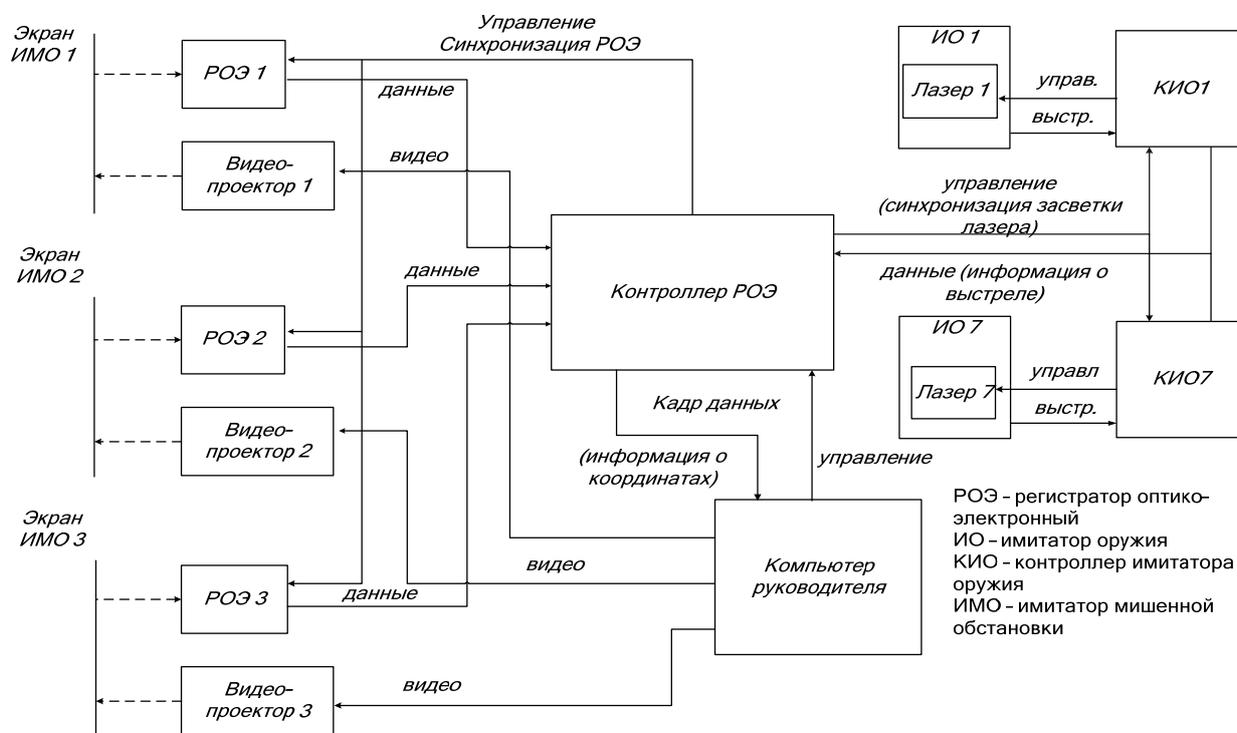


Рис. 5. Функциональная схема взаимодействия блоков тренажера

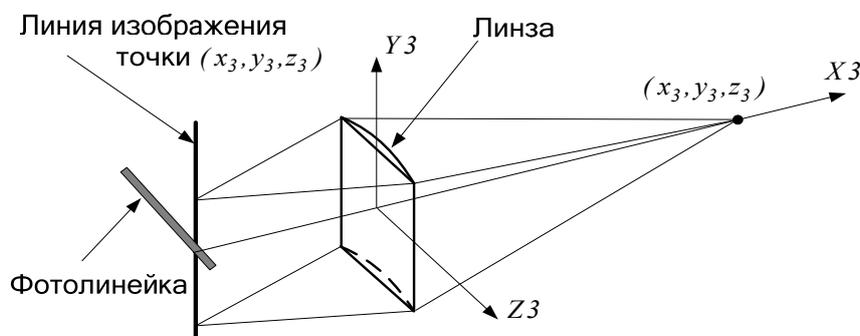


Рис. 6. ПЗС-линейка и цилиндрическая линза датчика координат

При разработке и испытаниях РОЭ, чтобы снизить погрешность определения ТПр по краям проекционного экрана, где она априорно больше, цилиндрическая линза установлена с фокусировкой именно по краям фотолинейки, а не по ее центру (рис. 6, 7, по центру линейки сигнал получается шире), но это никак не сказывается на определении центра пятна. Сфокусировать пятно лазерного излучателя ИО на экране рекомендует до минимального значения (1,5–3 см).

Обмен информацией между ПО РОЭ и ПО ПРЗ осуществляется кадрами данных (пакетами) по 10 байт (таблица), используется СОМ-интерфейс 256 Кбит/с, т. е. максимум 3200 кадров/с или 400 кадров/с на рабочее место, что соответствует ТТЗ (не менее 170 Гц). Кадры содержат выделенные на ПЗС-линейках координаты пятна с двух соседних РОЭ (т. к. зоны регистрации РОЭ сделаны с запасом и перекрытием, то лазерные пятна на границе экранов проекторов

захватываются двумя блоками РОЭ) и сигналы о выстрелах с датчика курка (для своевременного реагирования они передаются через интерфейс РОЭ, а не через КИО, при этом выстрел определяется как переход из состояния 1 – курок взведен в состояние 0 – курок спущен). Кадры обладают внутренней синхронизацией – только первые его два байта подряд обязательно имеют единичные 7-е биты, что гарантирует работоспособ-

ность в случае утери части кадра за счет постоянной подстройки при приеме информации под его начало по этим синхробитам (а точнее, по последовательности старших бит трех байтов 0-1-1). При получении кадра данных от ПО РОЭ в ПО тренажера к нему прикрепляется текущее системное время (с точностью до мкс), а прием кадров осуществляется в высокоприоритетном параллельном программном процессе («нити»).

Кадры данных обмена информацией по байтам

| 7 бит | 6 бит | 5 бит | 4 бит | 3 бит | 2 бит | 1 бит | 0 бит | Описание |
|--|--|--|-------|--------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|
| 1 – начало кадра | 0 – экраны 1/2 1 – экраны 2/3 | Состояние датчиков курка по битам рабочих мест 8...9 | | Номер лазера (КИО) 1...8 | | | | 1 байт кадра – номер КИО |
| 1 – начало кадра | Состояние датчиков курка по битам рабочих мест 1...7 | | | | | | | 2 байт кадра – курки КИО |
| Младшие биты координаты Y левого (верхнего) экрана | | | | | | | | 3-4 байт – координата Y1 |
| 0 | Старшие биты координаты Y левого (верхнего) экрана | | | | | | | |
| Младшие биты координаты Z левого (верхнего) экрана | | | | | | | | 5-6 байт – координата Z1 |
| 0 | Старшие биты координаты Z левого (верхнего) экрана | | | | | | | |
| Младшие биты координаты Y правого (нижнего) экрана | | | | | | | | 7-8 байт – координата Y2 |
| 0 | Старшие биты координаты Y правого (нижнего) экрана | | | | | | | |
| Младшие биты координаты Z правого (нижнего) экрана | | | | | | | | 9-10 байт – координата Z2 |
| 0 | Старшие биты координаты Z правого (нижнего) экрана | | | | | | | |

Алгоритм работы ПО РОЭ (рис. 1) иллюстрируется функциональной схемой рис. 7. В бесконечном цикле сначала запускается лазерный импульс очередного ИО по аппаратным линиям к КИО (но если ИО установлен на предохранителе, то запуск блокируется) и одновременно процесс сканирования пятна по двум ПЗС-линейкам Y и Z для каждого из трех регистраторов. Далее фиксируются сигналы по куркам ИО от КИО с 8 аппаратных линий рабочих мест. По полученным данным со всех ПЗС выделяется начальная и конечная координаты габарита пятна, вычисляется среднее и полученные координаты Y и Z (только от двух соседних экранов), номер текущего ИО и состояния всех курков передаются в кадре по СОМ-порту. В конце циклически увеличивается номер ИО от 1 до 8, и все повторяется. Этот алгоритм работает

с тремя РОЭ-датчиками на одном микропроцессоре (который расположен в микшере, рис. 2).

Таким образом, ПО РОЭ выдает координаты Y-вертикаль и Z-горизонталь середины лазерного пятна на двух соседних экранах (если пятно не попало на два экрана вторые координаты будут нулевыми) в системе отсчетов ПЗС-линейки, т. е. от 0 до 2047 с частотой не менее 1360 Гц привязанные к номеру лазерного излучателя (номеру КИО, рабочего места), и с сигналами выстрела для всех ИО. Рабочая частота ПЗС-линейки PLX551A выбрана 3 МГц, что дает $3000000:(33+2048+6+13):8 = 178,57$ Гц (т. е. каждые 5,6 мс) – максимальная частота (быстродействие) регистрации ТПр на одно рабочее место с учетом накладных расходов работы ПЗС-линейки, т. е. получается не менее требования ТТЗ в 170 Гц.

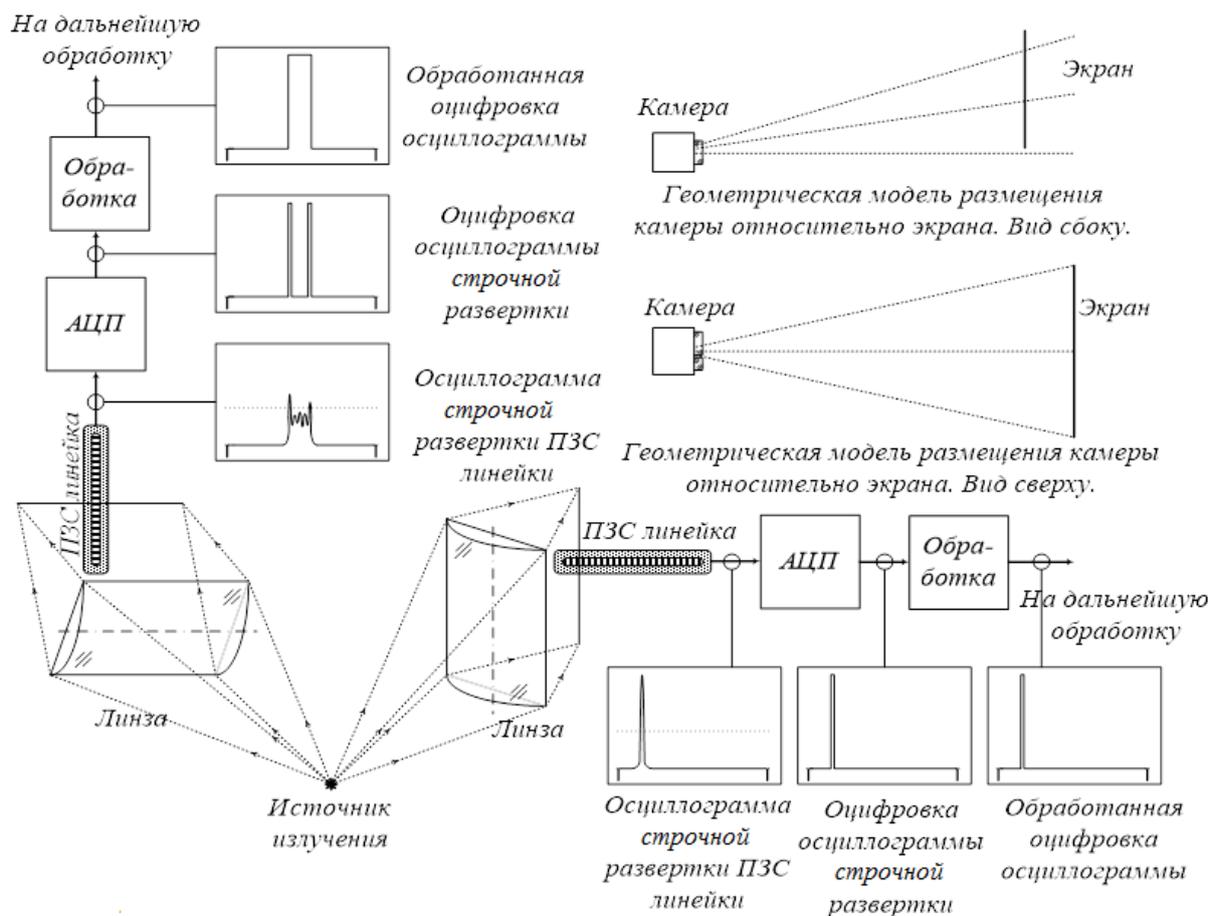


Рис. 7. Пояснительная схема работы датчиков координат

Тарировка математической модели по НРОЭ

В результате проведенных исследований [36] получена математическая модель координатной системы проектора y_{cp} , z_{cp} для перевода из внутренних отсчетов РОЭ. Из-за практической невозможности размещения оборудования РОЭ из системы «экран – проекторы – регистраторы» с требуемой геометрической точностью в пространстве (рис. 6) математическая модель перевода координат «регистратор – проектор» представляет собой аппроксимацию регрессионными уравнениями:

$$z_{cp} = A_0 + A_1y + A_2z + A_3yz + A_4y^2 + A_5z^2 + A_6y^2z^2 + A_7y^3 + A_8z^3 + A_9y^3/z,$$

$$y_{cp} = B_0 + B_1y + B_2z + B_3yz + B_4y^2 + B_5z^2 + B_6y^2z^2 + B_7y^3 + B_8z^3 + B_9y^3/z,$$

где A_i и B_i – тарировочные коэффициенты, которые отражают конкретную конфигура-

цию системы «экран – проекторы – регистраторы», идентифицируются с помощью ПО НРОЭ и индивидуальны для каждой из трех РОЭ.

ПО НРОЭ вызывается из ПО ПРЗ (рис. 8) по кнопке «Настройка РОЭ» и выдает окно «Настройка системы» (рис. 9) с тремя основными функциями.

По кнопке «Установка» тремя проекторами по границам экрана выводятся реперные кресты на черном фоне. Ручной регулировкой проекторов (положением на ферме и колесиками масштаба и фокусировки) необходимо добиться одинакового размера и состыковки реперных крестов соседних изображений.

По кнопке «Рег. яркости» выводится белый экран, и ручной регулировкой яркости трех проекторов необходимо добиться их равенства и отсутствия превышения порогов шумовой чувствительности РОЭ.



Рис. 8. Начальное окно ПО тренажера

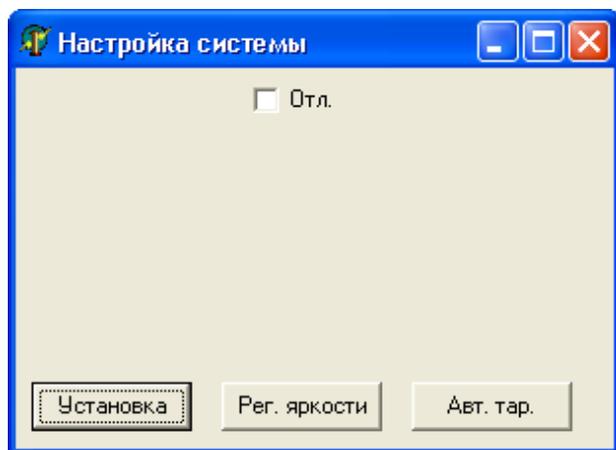


Рис. 9. Настройка датчиков координат

По кнопке «Авт. тар.», а предварительно необходимо открыть пропускающие ИК-фильтры с оптических систем РОЭ и включить освещение в помещении, запускается процесс автоматической тарировки коэффициентов математической модели координатной сетки. При этом последовательно на черном экране рисуются белые круги размером не менее 10 см (для создания достаточной для регистрации энергетической

яркости пятна) с известными экранными координатами в узлах решетки 7 на 5, система РОЭ считывает их координаты, и по окончании 35 циклов по кнопке «Расчет» (которая заменяет кнопку «Авт. тар.», но если при тарировке были ошибки, например, связанные с паразитными засветками, то экран рис. 9 становится красный и необходимо ликвидировать помехи и перезапустить «Авт. тар.») вычисляются коэффициенты A_i и B_i для каждого экрана и регистратора и сохраняются в файлах «INI\cam*.bin» для дальнейшего использования ПО ПРЗ (где * – номер РОЭ).

После тарировки фильтры ставятся на место и окно ПО НРОЭ можно закрывать и продолжать работу в ПО ПРЗ. Тарировку (и проверку «Установка» – состыковки изображений) рекомендуется проводить регулярно раз в неделю и после возможных или случайных механических перемещений оборудования тренажера из системы «экран – проектор – регистратор» (например, после уборки).

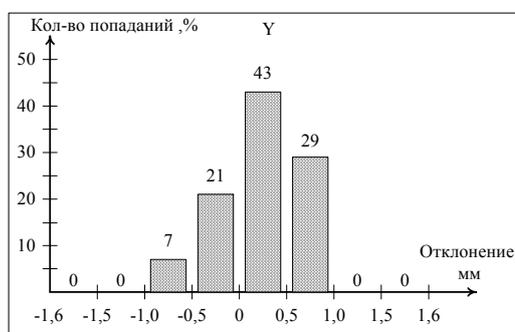
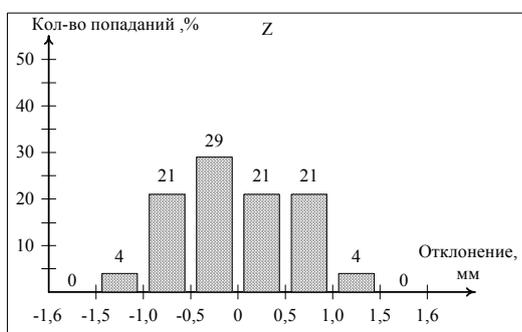
При фиксации спуска курка в потоке данных от ПО РОЭ, которые передаются в каждом кадре (т. е. с частотой $178,57 \times 8 = 1428,56$ Гц или каждые 700 мкс), для более точного определения ТПр от выстрелившего оружия (которые передаются в 8 раз реже – частотой 178,57 Гц или каждые 5600 мкс) осуществляется привязка координат ко времени спуска курка линейной интерполяцией двух полученных координат: (z_1, y_1) – прошлой и (z_2, y_2) – будущей, с учетом времени прихода каждой из них t_1 , t_2 и времени спуска курка ИО t_k :

$$z = z_1 + (t_k - t_1) \frac{(z_2 - z_1)}{(t_2 - t_1)},$$

$$y = y_1 + (t_k - t_1) \frac{(y_2 - y_1)}{(t_2 - t_1)}.$$

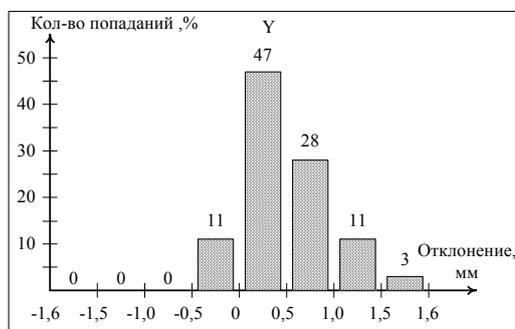
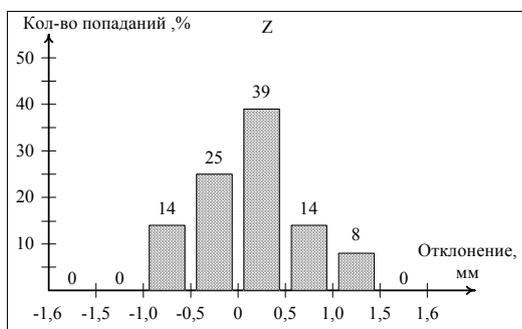
Испытания ПО РОЭ на точность определения ТПр показали соответствие требованиям ТТЗ (рис. 10) и по погрешности измерения, и по быстродействию [37]: для всех блоков регистрации с.к.о. измерений не превысило 0,64 мм (при требованиях не больше 1,5 мм).

Камера 1



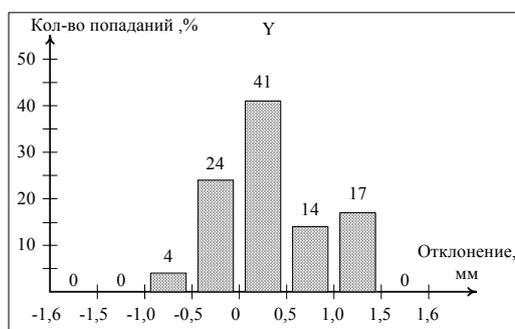
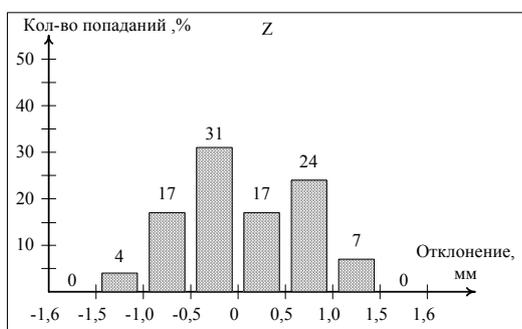
Z :
 $\Delta_{ср} = -0.013176$
 $\Delta_{max} = 1.247250$
 $\sigma = 0.611225$
 Y :
 $\Delta_{ср} = 0.222110$
 $\Delta_{max} = 0.889622$
 $\sigma = 0.422681$

Камера 2



Z :
 $\Delta_{ср} = -0.136177$
 $\Delta_{max} = 1.299038$
 $\sigma = 0.566858$
 Y :
 $\Delta_{ср} = 0.496420$
 $\Delta_{max} = 1.602738$
 $\sigma = 0.458740$

Камера 3



Z :
 $\Delta_{ср} = -0.058207$
 $\Delta_{max} = 1.254402$
 $\sigma = 0.630364$
 Y :
 $\Delta_{ср} = 0.345044$
 $\Delta_{max} = 1.305256$
 $\sigma = 0.566507$

Рис. 10. Гистограммы погрешностей измерения координат

Выводы

Анализ ПО РОЭ и ПО НРОЭ для поддержки определения ТПр показал:

1. Встроенное ПО РОЭ, обслуживающее 3 датчика координат на базе ортогональных ПЗС-линеек и цилиндрических линз, поддерживает определение координат по габаритам лазерного пятна во внутреннем формате, что позволяет добиться требуемой к РОЭ точности и быстродействия благодаря разработанной математической модели.

2. ПО НРОЭ не только проводит тарировку математической модели в системе «экраны – проекторы – регистраторы», но и выполняет сервисные функции по поддержке механической настройки проекторов и РОЭ, что упрощает обслуживание тренажера, частично автоматизируя этот трудоемкий процесс.

3. Инновационный характер исследований по регистратору оптико-электронному точки наведения/попадания подтвержден несколькими защищенными по этой теме диссертациями в коллективе авторов.

Таким образом, показана актуальность дальнейшего исследования и использования электронных стрелковых тренажеров, особенно благодаря дешевизне современных аппаратных комплектов, позволяющих реализовать регистраторы точки прицеливания с требуемыми характеристиками, высокой эффективностью и гибкости программного обеспечения, а также быстрой окупаемости и безопасности в подготовке личного состава.

Библиографические ссылки

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

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

3. *Bogatinov D., Lameski P., Trajkovic V.* Fire-arms training simulator based on low cost motion

tracking sensor // *MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS*. 2017, vol. 76, no. 1, pp. 1403-1418. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-015-3118-z>.

4. *Gudzbeler G., Struniawski J.* Functional assumptions of "Virtual system to improve shooting training and intervention tactics of services responsible for security" (VirtPol) // *Conference on Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments (Wilga, POLAND)*. 2017, vol. 10445, no. UNSP 104456M. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2281622>.

5. *Gudzbeler G., Struniawski J.* Methodology of shooting training using modern IT techniques // *Conference on Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments (Wilga, POLAND)*. 2017, vol. 10445, no. UNSP 104456L. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2281618>.

6. *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](https://doi.org/10.3390/s19030451).

7. *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>.

8. *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>.

9. *Brown A.* Modeling and simulating the dynamics of the "Death Star" shotgun target // *SPORTS ENGINEERING*. 2017, vol. 20, no. 1, pp. 17-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12283-016-0214-x>.

10. *Егоров С. Ф.* Эволюция электронных акустических мишеней: исследование звуковых математических моделей // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2018. Т. 16, № 3. С. 42–51. DOI: [10.22213/2410-9304-2018-3-42-51](https://doi.org/10.22213/2410-9304-2018-3-42-51).

11. *Егоров С. Ф.* Оптимизация расположения акустических датчиков в плоскости электронной мишени // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2018. Т. 16, № 2. С. 62–68. DOI: [10.22213/2410-9304-2018-2-62-68](https://doi.org/10.22213/2410-9304-2018-2-62-68).

12. *Галаган Л. А., Сахратов Р. Ю., Чирков Д. В.* Эволюция дульных газовых устройств автоматов серии «АК» // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2018. Т. 21, № 3. С. 44-50. DOI: [10.22213/2413-1172-2018-3-44-50](https://doi.org/10.22213/2413-1172-2018-3-44-50).

13. *Галаган Л. А., Сахратов Р. Ю.* Обоснование назначенных технических параметров автомата АК-47 // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 3. С. 51–58. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-51-58.
14. *Чирков Д. В., Галаган Л. А., Сахратов Р. Ю.* Математическая модель исследования свободного движения оружия на примере автоматов Калашникова // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16, № 3. С. 35–41. DOI: 10.22213/2410-9304-2018-3-35-41.
15. *Писарев С. А., Мунibaев Р. В., Романов Д. С., Токарев И. В.* Технологические особенности сборки и испытания модульного оружия // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 3. С. 42–47. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-3-42-47.
16. *Алексеев С. А.* Системный подход к проектированию стрелково-пушечного вооружения // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16, № 4. С. 4–10. DOI: 10.22213/2410-9304-2018-4-4-10.
17. *Петухов К. Ю.* Алгоритмы обработки сигналов при цифровых измерениях в информационно-измерительных системах для стрелкового оружия : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2003. 156 с.
18. *Петухов К. Ю.* Автоматизация измерения скорости детали в момент встречи с упором // Вестник КИГИТ. 2010. № 1 (10). С. 116–117.
19. *Петухов К. Ю., Шаяхметов М. Р.* Пердискретизация как метод борьбы с шумом // Вестник КИГИТ. 2012. № 7 (25). С. 4–8.
20. *Петухов К. Ю.* Алгоритмы обработки цифровых измерений, эквивалентных преобразованиям аналоговых сигналов // Вестник КИГИТ. 2010. № 1 (10). С. 118–121.
21. *Вдовин А. Ю.* Организация сбора и хранения данных об испытаниях стрелкового оружия с помощью веб-приложения // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17, № 2. С. 4–10. DOI: 10.22213/2410-9304-2019-2-4-10.
22. *Селетков С. Г.* Законы развития техники и совершенствование устройств ствольного оружия // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 3. С. 4–8. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-4-8.
23. *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.
24. *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.
25. *Егоров С. Ф., Осипов Н. И., Кизнерцев С. Р.* Стрелковый тренажер «Ингибитор»: программное обеспечение изучения оружия // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17, № 3. С. 55–66. DOI: 10.22213/2410-9304-2019-3-55-66.
26. *Оптико-электронные стрелковые тренажеры. Теория и практика / В. С. Казаков, Ю. В. Веркиенко, В. В. Коробейников, Н. Ю. Афанасьева.* Ижевск : ИПМ УрО РАН, 2007. 260 с.
27. *Исследование оптико-электронных регистраторов точки прицеливания стрелковых тренажеров / С. Ф. Егоров, Ю. К. Шелковников, Н. И. Осипов, С. Р. Кизнерцев, А. А. Метелева // Проблемы механики и материаловедения : труды Института механики УрО РАН. Ижевск, 2017. С. 227–248.*
28. *Шелковников Ю. К., Осипов Н. И., Кизнерцев С. Р.* Стрелковый тренажер на основе телевизионного сканистора // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 1 (25). С. 128–132.
29. *Егоров С. Ф., Казаков В. С., Коробейников В. В.* Регистратор точки прицеливания на базе видеокамеры // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. № 1 (17). С. 177–182.
30. *Разработка методики испытания и исследование критериев отбора видеокамер для использования в стрелковых тренажерах / С. Ф. Егоров, В. В. Коробейников, В. С. Казаков, И. Г. Корнилов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2014. № 3. С. 118–122.*
31. *Веркиенко А. Ю.* Разработка и исследование оптико-электронных преобразователей координат для стрелкового тренажера : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2000. 177 с.
32. *Марков Е. М.* Разработка методик и средств контроля параметров дробового оружия с использованием телекамеры : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2011. 169 с.
33. *Коробейникова И. В.* Оценивание точности стрельбы и проверка гипотез в информационно-измерительных системах : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2006. 150 с.
34. *Корнилов И. Г.* Подсистема визуализации целей, имитации выстрела и определения точки попадания в стрелковом тренажере : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2006. 128 с.
35. Там же.
36. Там же.
37. Там же.

References

1. Muñoz J.E., Pope A.T., Velez L.E. Integrating Biocybernetic Adaptation in Virtual Reality Training Concentration and Calmness in Target Shooting. *Physiological Computing Systems. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10057. 2019. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-27950-9_12.
2. Lábr M., Hagara L. Using open source on multiparametric measuring system of shooting. ICMT 2019 - 7th International Conference on Military Technologies. DOI: 10.1109/MILTECHS.2019.8870093.
3. Bogatinov D., Lameski P., Trajkovic V. Firearms training simulator based on low cost motion tracking sensor. *MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS*. 2017, vol. 76, no. 1, pp. 1403-1418. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-015-3118-z>.
4. Gudzbeler G., Struniawski J. Functional assumptions of "Virtual system to improve shooting training and intervention tactics of services responsible for security" (VirtPol). Conference on Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments (Wilga, POLAND). 2017, vol. 10445, no. UNSP 104456M. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2281622>.
5. Gudzbeler G., Struniawski J. Methodology of shooting training using modern IT techniques. Conference on Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments (Wilga, POLAND). 2017, vol. 10445, no. UNSP 104456L. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2281618>.
6. 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.
7. 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>.
8. 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>.
9. Brown A. Modeling and simulating the dynamics of the "Death Star" shotgun target. In *SPORTS ENGINEERING*. 2017, vol. 20, no. 1, pp. 17-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12283-016-0214-x>.
10. Egorov S.F. *Evolyutsiya elektronnykh akusticheskikh misheni: issledovanie dozvukovykh matematicheskikh modelei* [Evolution of electronic acoustic targets: research of subsonic mathematical models]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2018, vol. 16, no. 3, pp. 42–51 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2017-2-86-93.
11. Egorov S.F. *Optimizatsiya raspolozheniya akusticheskikh datchikov v ploskosti elektronnoi misheni* [Optimization of the arrangement of acoustic sensors in the plane of the electronic target]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 62-68 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2018-2-62-68.
12. Galagan L.A., Sakhratov R.Yu., Chirkov D.V. *Evolyutsiya dul'nykh gazovykh ustroystv avtomatov serii «AK»* [Evolution of muzzle gas devices of automatic machines of a series of "AK"]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 44-50 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-44-50.
13. Galagan L.A., Sakhratov R.Yu. *Obosnovanie naznachennykh tekhnicheskikh parametrov avtomata AK-47* [Justification of the appointed technical parameters of an AK-47 assault rifle]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 51-58 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-51-58.
14. Chirkov D.V., Galagan L.A., Sakhratov R.Yu. *Matematicheskaya model' issledovaniya svobodnogo dvizheniya oruzhiya na primere avtomatov Kalashnikova* [Mathematical model of a research of the free movement of weapon on the example of Kalashnikovs]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2018, vol. 16, no. 3, pp. 35–41 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2018-3-35-41.
15. Pisarev S.A., Minibaev R.V., Romanov D.S., Tokarev I.V. *Tekhnologicheskie osobennosti sborki i ispytaniya modul'nogo oruzhiya* [Technological features of assembly and testing of modular weapons]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 42-47 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-3-42-47.
16. Alekseev S.A. *Sistemnyi podkhod k proektirovaniyu strelkovo-pushechnogo vooruzheniya* [System approach to design of shooting and gun arms]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 4–10 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2018-4-4-10.
17. Petukhov K.Yu. *Algoritmy obrabotki signalov pri tsifrovyykh izmereniyakh v informatsionno-izmeritel'nykh sistemakh dlya strelkovogo oruzhiya* [Algorithms of signal processing at digital measurements in information-measuring systems for small arms]: PhD thesis. Izhevsk, 2003, 156 p. (in Russ.).
18. Petukhov K.Yu. *Avtomatizatsiya izmereniya skorosti detali v moment vstrechi s uporom* [Auto-

mation of part speed measurement at the moment of meeting with stop]. *Vestnik KIGIT*. 2010, no. 1, pp. 116-117 (in Russ.).

19. Petukhov K.Yu., Shayakhmetov M.R. *Pere-diskretizatsiya kak metod bor'by s shumom* [Reexamination as a noise control method] *Vestnik KIGIT*. 2012, no. 7, pp. 4-8 (in Russ.).

20. Petukhov K.Yu. *Algoritmy obrabotki tsifrovyykh izmerenii, ekvivalentnykh preobrazovaniyam analogovykh signalov* [Algorithms for processing digital measurements equivalent to analog signal conversions] *Vestnik KIGIT*. 2010, no. 1, pp. 118-121 (in Russ.).

21. Vdovin A.Yu. *Organizatsiya sbora i khraneniya dannykh ob ispytaniyakh strelkovogo oruzhiya s pomoshch'yu WEB-prilozheniya* [The organization of collecting and data storage about tests of small arms by means of the Web application]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2019, vol. 17, no. 2, pp. 4-10 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2019-2-4-10.

22. Seletkov S.G. *Zakony razvitiya tekhniki i sovershenstvovanie ustroystv stvol'nogo oruzhiya* [Laws of development of technology and improvement of devices of a barreled weapon]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. 2018, vol. 21, no. 3, pp. 4-8 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-4-8.

23. Egorov S.F., Kazakov V.S. *Istoriya sozdaniya optiko-elektronnoy strelkovoy trenazhery «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.).

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

25. Egorov S.F., Osipov N.I., Kiznertsev S.R. *Strelkovyi trenazher «Ingibitor»: programmnoe obespechenie izucheniya oruzhiya* [Shooting simulator «Inhibitor»: software of studying of weapon]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2019, vol. 17, no. 3, pp. 55-66 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2019-3-55-66.

26. Kazakov V.S., Verkienko Yu.V., Korobeynikov V.V., Afanas'eva N.Yu. *Optiko-elektronnyye*

strelkovye trenazhery. Teoriya i praktika [Optical-electronic shooting exercise machines. Theory and practice]. Izhevsk, Institute of mechanics UB RAS, 2007, 260 p. (in Russ.).

27. Egorov S.F., Shelkovnikov Yu.K., Osipov N.I., Kiznertsev S.R., Meteleva A.A. *Issledovanie optiko-elektronnykh registratorov tochki pritselivaniya strelkovykh trenazherov* [Research of optical-electronic registrars of an aiming mark of shooting exercise machines]. *Problemy mekhaniki i materialovedeniya. Trudy Instituta mekhaniki UrO RAN* [Problems of mechanics and materials science. Works of Institute of mechanics UB RAS]. Izhevsk, 2017, pp. 227-248 (in Russ.).

28. Shelkovnikov Yu.K., Osipov N.I., Kiznertsev S.R. *Strelkovyi trenazher na osnove televizionnogo skanistora* [The shooting exercise machine on the basis of the television scanistor]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2015, no. 1, pp. 128-132 (in Russ.).

29. Egorov S.F., Kazakov V.S., Korobeynikov V.V. *Registrator tochki pritselivaniya na baze videokamery* [Recorder of aiming point on the basis of video camera] *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2011, no. 1, pp. 177-182 (in Russ.).

30. Egorov S.F., Korobeynikov V.V., Kazakov V.S., Kornilov I.G. *Razrabotka metodiki ispytaniya i issledovanie kriteriev otbora videokamer dlya ispol'zovaniya v strelkovykh trenazherakh* [Development of test methodology and examination of criteria for selection of video cameras for use in shooting simulators] *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. 2014, no. 3, pp. 118-122 (in Russ.).

31. Verkienko A.Yu. *Razrabotka i issledovanie optiko-elektronnykh preobrazovatelei koordinat dlya strelkovogo trenazhera* [Development and research of optical-electronic coordinate converters for small-scale simulator]: PhD thesis. Izhevsk, 2000, 177 p. (in Russ.).

32. Markov E.M. *Razrabotka metodik i sredstv kontrolya parametrov drobovogo oruzhiya s ispol'zovaniem telekamery* [Development of methods and means of monitoring the parameters of shotgun weapons with the use of television cameras]: PhD thesis. Izhevsk, 2011, 169 p. (in Russ.).

33. Korobeynikova I.V. *Otsenivanie tochnosti strel'by i proverka gipotez v informatsionno-izmeritel'nykh sistemakh* [Evaluation of firing accuracy and testing of hypotheses in information and measuring systems]: PhD thesis. Izhevsk, 2006, 150 p. (in Russ.).

34. Kornilov I.G. *Podsystema vizualizatsii tselei, imitatsii vystrela i opredeleniya tochki popadaniya v strelkovom trenazhere* [The subsystem of visualization is more whole, imitations of a shot and defi-

inition of a point of hit in the shooting exercise machine]: PhD thesis. Izhevsk, 2006, 128 p. (in Russ.).

35. Ibid.
36. Ibid.
37. Ibid.

Shooting Simulator «Inhibitor»: Software for Aiming Point Recorder

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

I. G. Kornilov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

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

S. R. Kiznertsev, PhD in Engineering, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia

I. V. Korobeynikova, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

E. M. Markov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The paper describes the aiming point software of the tactical exercise optical-electronic machine for small arms "Inhibitor" developed at the Institute of Mechanics UdmFRC UB RAS and at the Computer facilities department of Kalashnikov ISTU jointly with OJSC «Izhmash» Concern».

The tactical and technical assignment for the functional capabilities of the recorder of optical-electronic coordinates of the targeting point of the weapon simulator with laser radiator is given; the requirements for error and fixing angles are specified. The proposed and investigated scheme based on three blocks of two orthogonal CCD-lines and cylinder-shaped lenses allows for fixing the center of the laser spot in two directions with the required accuracy and fast operation. The rulers are controlled by the given algorithm of operation. The mathematical model of CCD-line samples translation into screen coordinates and software for its calibration by artificial images have been developed; results of recorder tests for the inaccuracy of coordinates determination are presented. The protocol for the transmission of coordinates to the simulator software with internal data synchronization is developed.

The conclusion is drawn on prospects of further researches and development of electronic shooting exercise machines thanks to improvement and reduction in the cost of element base and development of program libraries, for the increase in accuracy of exercise machines, expansion of functionality and decrease in cost value, thus improving the competitiveness.

Keywords: shooting exercise machine (shooting simulator), tactical specification, aiming point recorder, mathematical model, coordinate error, data frame.

Получено: 08.06.2020