

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 623.54; 681.5; 004.421

DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-41-52

### Стрелковый тренажер «Ингибитор»: встроенное программное обеспечение имитаторов оружия

С. Ф. Егоров, кандидат технических наук, доцент,  
Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия  
К. Ю. Петухов, кандидат технических наук, доцент,  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Описывается программное обеспечение взаимодействия с имитаторами оружия 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 имитаторов оружия с поддержкой 50 % отдачи и 60 % уровня звука, необходимо отслеживать установки как механических прицелов, так и оптических и ночных для соответствующих образцов. Встроенное программное обеспечение контроллера имитатора оружия должно гарантировать работу механизмов в реальном масштабе времени при отработке отдачи и обеспечивать синхронизацию импульсного лазерного излучателя определителя точки прицеливания. Показания датчиков магазина, курка, скорости спускового крючка, предохранителя, прицелов, от веса, свала, прижима к плечу необходимо передавать в программу тренажера для контроля параметров стрельбы и расчета баллистики, а также для фиксации ошибок обучаемого при обращении с оружием. Для обмена информацией разработан формат данных и встроенное программное обеспечение микшера, что гарантирует необходимый отклик и актуальность показаний.*

*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 и снижения себестоимости и, значит, повышения конкурентоспособности.*

**Ключевые слова:** стрелковый тренажер, имитатор оружия, отдача оружия, прицельные приспособления, встроенное программное обеспечение, микшер звука.

#### Введение

Разработка электронных стрелковых тренажеров (т. е. для ручного оружия и не использующих боеприпасы) [1–9] и электронных мишеней (использующих боеприпасы) [10–18] 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 в качестве боевых тренажеров и испытательных стендов для совершенствования конструкции изделий [19–25]. 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 ОАО «Концерн «Ижмаш» с 2000 по 2010 год и был принят на вооружение под индексом 1У33 [26–28].

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

#### Тактико-техническое задание

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

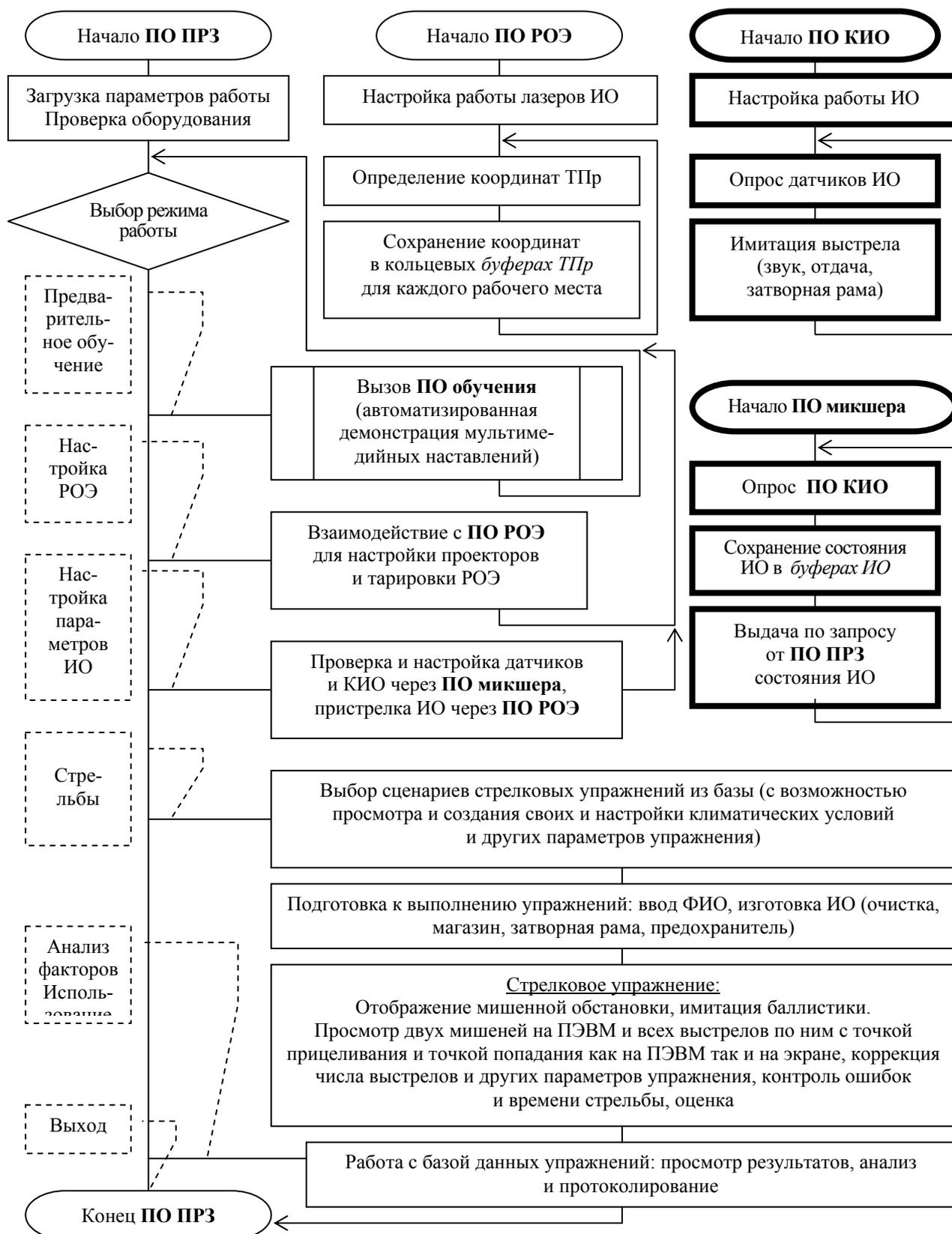


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы ПО тренажера

ПРЗ – пульт руководителя занятий, ТПр – точка прицеливания, РОЭ – регистратор опико-электронный или датчик координат ТПр, КИО – контроллер имитатора оружия (ИО), а требова-

ния ТТЗ [29] к ИО сводятся к имитации выстрела шумовым эффектом (не менее 60 % громкости реального) и имитации отдачи оружия (не менее 50 % реального, гранатометы без отдачи).

У ИО должны контролироваться магазин, предохранитель, свал влево-вправо, скорость спускового крючка, прижим к плечу, показания прицелов и т. п.

Набор ИО состоит из автомата (АК-74 с подствольным гранатометом ГП-25 3 шт., АКМ 2 шт.), ручного пулемета (РПК-74 2 шт.), пулемета Калашникова (ПКМ 1 шт.), снайперской винтовки Драгунова (СВД 2 шт.), ручного противотанкового гранатомета (РПГ-7 и РПГ-26 по 1 шт.), противотанкового комплекса 9К115 (1 шт.), пистолета Макарова (ПМ 8 шт.) с оптическими (СВД, РПГ-7 и 9К115) и ночными прицелами 1ПН93 (АК, РПК, ПКМ, СВД, РПГ-7) согласно наставлениям-руководствам [30] (рис. 2). Обучаемые в шлемах со стереонаушниками должны слышать выстрелы с соседних мест с соответствующим ослаблением громкости. Таким образом, для выполнения требований ТТЗ необходимо было снабдить ИО набором датчиков и пневмоотдачей (рис. 3) и разработать встроенные в восемь контроллеров ПО КИО для имитации выстрела с отдачей на ИО и звуком в шлемах восьми рабочих мест через микшер и разработать ПО микшера для органи-

зации накопления информации о состоянии датчиков ИО и обмена информацией с ПО ПРЗ (центральной ЭВМ), в том числе и для настройки параметров каждого из ИО.



Рис. 2. Набор имитаторов оружия тренажера

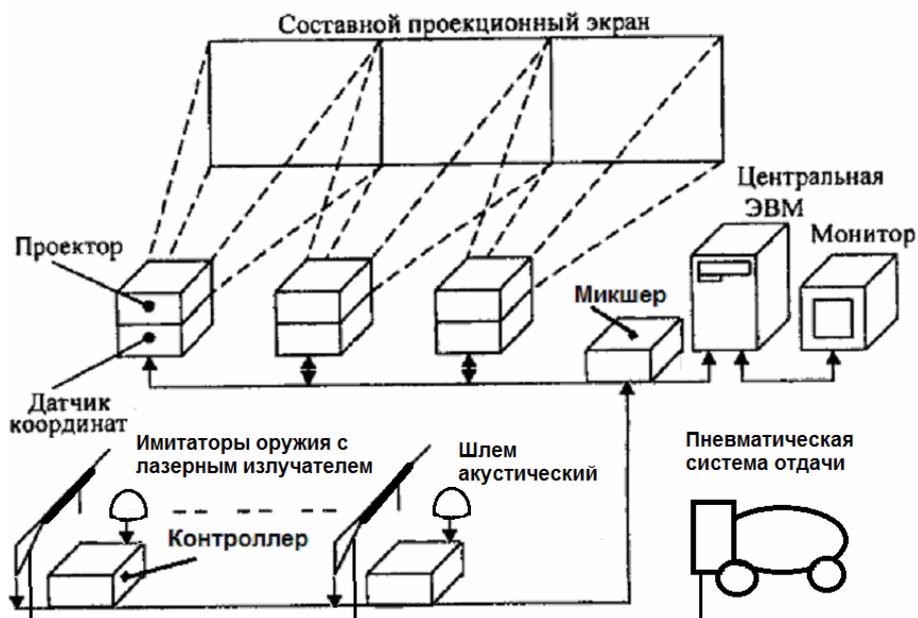


Рис. 3. Структурная схема тренажера оптико-электронного стрелкового «Ингибитор»

### Алгоритм работы ПО КИО

ПО КИО разработано в системе программирования Keil  $\mu$ Vision2 v 2.20 на машинно-ориентированном языке программирования ассемблере SIEMENS SAB 80C166/80C167 и на проблемно-ориентированном языке программирования С. ПО КИО встроено в контроллер, к которому подключается ИО, и работает неза-

висимо от центральной ЭВМ, обеспечивая имитацию выстрела с отдачей и звуком (рис. 1, 3).

При включении КИО (или по кнопке «Сброс») ПО опрашивает код подключенного к контроллеру ИО (по переключкам в разьеме, табл. 1) и настраивает внутренние переменные в значения по умолчанию для данного типа ИО. Далее программа по нажатию спускового крюч-

ка ИО имитирует выстрелы со звуками, которые подаются в подключенный к КИО шлем (каска) и через резистивные сборки с каскадным ослаблением подаются на стереошлемы остальных семи рабочих мест через микшер. С помощью подключенной к ИО пневматической системы (насос с баллоном, редуктором и ресивер

с шлангами,  $10 \pm 1$  атм.) обеспечивается движение затворной рамы и отдача (кроме гранатометов). При имитации работы ИО учитываются положение предохранителя-переключателя огня, наличие магазина и его наполненность (изначально в магазин загружено 255 патронов и обновляется по кнопке «Сброс» на КИО).

Таблица 1. Набор имитаторов оружия, их кодов и датчиков

Название ИО	Код ИО	Магазин/граната	Предохр.	Свал	Срыв	Прижим	Положения прицела +ночного+оптики
АК74	0, 1, 2	М	Авт/один	+	+	+	10(+П)+7
ГП-25	3,11,15	Г	Огонь	-	-	-	11
АКМ	4, 5	М	Авт/один	+	+	+	10(+П)+7
СВД	6, 7	М	Один	+	+	+	12(+П)+7+11(+21)
ПКМ	8	М	Авто	+	+	+	15(+П)+7
РПК74	9, 10	М	Авт/один	+	+	+	10(+П)+7
РПГ-7	12	Г	Огонь	-	-	-	4(+2)+2+2
РПГ-26	13	всегда	Огонь	-	-	-	3
9К115	14	всегда	Огонь	-	-	-	0+0+1
ПМ	16-23	М	Один	-	+	-	1

При фиксации контактными датчиками нажатия спускового крючка (а предохранитель механически не дает нажать его) и наличии патрона в патроннике (гранаты в стволе), для чего на этапе «подготовка к стрельбе» требуется перерднуть затвор или вложить гранату (условно), осуществляется имитация выстрела через открытие пневмоклапанов для отдачи (что приводит в движение затворную раму и ударных механизмов в прикладе, кроме гранатометов) и запуск воспроизведения звукового эффекта выстрела, зашито в ПО КИО (звуковой блок можно поменять через интерфейс ПО микшера). После отработки одного выстрела для стрелкового оружия проверяется продолжение нажатия спускового крючка, присутствие магазина и вычитается количество патронов и при их наличии в магазине и установок на автоматический огонь запускается очередной выстрел (с частотой 10 выстр./с), иначе – одиночный огонь – устанавливается признак перезарядки (патрон в стволе) и ожидается очередное нажатие спускового крючка после отжатия. При имитации фиксируются параметры (ошибки) выстрела по соответствующим датчикам (кроме гранатометов): свал – наклон стрелкового оружия в стороны более чем на 5 градусов (реализовано на дугообразной трубке с шариком и концевыми датчиками), срыв – уровень «дерганья» спускового крючка (реализовано на оценке оцифрованного сигнала с соленоида), отсутствие прижима приклада к плечу (иначе отдача не будет реалистичной, реализовано контактными датчиком с пружиной), наличие магазина, значение

прицела не контролируется на ошибки дальности (но изменение прицела отражается сигналом с датчика на резистивной сборке).

Для того чтобы ИО мог функционировать и без подключенной пневмосистемы, т. е. без имитации отдачи, датчик курка является виртуальным (программным) и устанавливается в процессе имитации выстрела в ПО КИО и сбрасывается также программно. Именно сигналы «курка» определяют выстрел – спусковой крючок при автоматической стрельбе не отпускается – и передаются в ПО РОЭ по аппаратным линиям соответствующего порта микроконтроллера в микшер (где кроме ПО микшера на другом микроконтроллере встроено ПО РОЭ – рис. 3) для своевременного реагирования на выстрел уже ПО тренажера.

Индивидуальными параметрами ИО являются время открытия пневмоклапанов (для полноценной по силе отдачи), уровень срыва спускового крючка (скорости нажатия для стрелкового оружия – ошибка «дерганье»), время импульса ИК-лазера, которые хранятся в ПО КИО, и коррекция показаний АЦП датчиков по номеру КИО, сигналы АЦП границ установок дальности прицелов (отдельно механического, оптического и ночного), которые хранятся на более высоком уровне (в ПО ПРЗ). Обмен информацией с ПО ПРЗ идет по СОМ-интерфейсу через ПО микшера.

Все прицелы ИО (в том числе оптические и ночные) механически приводятся к состоянию, когда при смене их установок дальности линия прицеливания (например, прорезь прице-

ла – мушка или перекрестье в оптике) не должна изменяться, и при этом она должна быть всегда параллельна лазерному лучу импульсного излучателя. На этапе юстировки ИО (первоначально произведена разработчиками) с помощью наведения лазерного пятна в специальное место выверенной бумажной мишени (входят в поставку тренажера для всех ИО со всеми прицелами и светятся от ИК-луча лазера) на расстоянии примерно 25 м и ручной регулировки мушки ИО стандартным инструментом выводят линию прицеливания в специальный крест на бумажной мишени, чем и обеспечивают параллельность линий, а их постоянные отклонения учитываются в дальнейших расчетах ТПр. Для РПГ-26 юстировка выполняется по нижней мушке из существующих трех (на 3 разные дальности).

Для поддержки всех видов прицелов (механический, ночной, оптический с боковыми поправками, в которых установлены резистивные сборки) используется до четырех каналов АЦП на один ИО: один канал на механический (открытый) прицел, один канал на прицел ГП-25, один канал на оптический или ночной прицел и один канал на боковые поправки оптического прицела. В гранатометах РПГ-7, кроме того, имеется мушка на два температурных положения (как бы высокое и низкое, но она сточена), а в ГП-25 – отвес для контроля вертикали (без сигнала отвеса точку попадания по точке прицеливания нельзя определить в принципе), реализованные на контактных датчиках. Прицелы ИО (см. табл. 2) имеют ряд положений дальности, каждое из которых дает разные значения с соответствующих АЦП:

АК-74, АКМ, РПК-74 имеют механические прицелы дальности П-100-200-300-400-500-600-700-800-900-1000 и ночные прицелы 400-500-600-700-800-900-1000.

ПКМ имеет механический прицел дальности П-100-200-300-400-500-600-700-800-900-1000-1100-1200-1300-1400-1500 и ночной прицел 400-500-600-700-800-900-1000.

СВД имеют механический прицел дальности П-100-200-300-400-500-600-700-800-900-1000-1100-1200, ночной прицел 400-500-600-700-800-900-1000 и оптический на дальности 0-100-200-300-400-500-600-700-800-900-1000 (еще большая дальность реализована рисками под оптической мушкой) с боковыми поправками на ветер -10-9-8-7-6-5-4-3-2-1+0+1+2+3+4+5+6+7+8+9+10.

ГП-25 имеют механический прицел дальности: настильный диапазон 100-150-200-250-300-

350-400 и навесной 350+300+250+200 и вертикальный отвес.

РПГ-7 имеет механический прицел дальности 200-300-400-500 и мушку на два температурных положения (высокое «+» и низкое «-»), а также оптический и ночной прицелы на два температурных положения «-» и «+».

РПГ-26 имеет механический прицел на три температурных положения «-», «±15», «+» и три мушки дальности 150-250-350 (выбор которых технически невозможно контролировать, но баллистика от них не зависит).

9К115 имеет только оптический прицел.

ПМ имеют только механический прицел П.

При подключенном к АК-74 ГП-25 можно «стрелять» только из ГП-25 с использованием лазера ГП-25 (при прицеливании необходимо выставлять отвес ГП-25, иначе в дальнейшем фиксируется ошибка), а отдача имитируется затворной рамой АК-74, но со звуком выстрела ГП-25.

Вывод звука выстрела осуществляется по прерываниям от таймера (частота 8 КГц) путем записи в порт ЦАП звукового канала очередного байта (8 бит) оцифрованного звукового блока. Изначально в ПО КИО входит только звуковой блок стрелкового оружия АК-74 (т. е. все ИО стреляют одинаково по звуку), но с помощью ПО микшера из ПО ПРЗ для каждого ИО загружается свой реальный звуковой блок данных (записаны разработчиками на полигоне с использованием боевого оружия).

При реализации ПО КИО встретились проблемы с «дребезгом» контактов датчиков ИО – возникла первоначальная импульсная характеристика сигнала при замыкании контактов, что приводило к генерации ложных прерываний микропроцессора. Для решения проблемы по контактным датчикам введено временное маскирование прерывания после первого вызова для пропуска дребезга. Для решения проблемы «дребезга» показаний АЦП резистивных сборок датчиков прицела введено сглаживание многократно считанных показаний АЦП датчиков.

Лазерный ИК-излучатель ИО начинает испускать импульсы для идентификации ТПр по команде ПО КИО при снятии с предохранителя 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 фиксации ТПр РОЭ не менее 1360 Гц). Параметры временных диаграмм лазера можно регулировать для каждого ИО через ПО микшера.

При установке на ПМ лазерного излучателя не удалось сохранить масса-габаритные характеристики пистолета, а набор подводимых кабеля и шланга отдачи препятствует свободному обращению с имитатором.

Пневматическая отдача ИО реализована одноклапанная для ПМ, АК+ГП-25 и РПК (т. е. только через движение затворной рамы) и усиленная двухклапанная для ПКМ и СВД (т. е. кроме движения затворной рамы используется дополнительный клапан и поршень в прикладе). Все пневмоклапаны оборудованы термодатчиками, и при их перегревании отдача программно блокируется до момента остывания клапанов. При отладке системы отдачи использовалось «Устройство для измерения перемещения, ско-

рости, ускорения и темпа движения объекта» (Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Петухов К. Ю., Афанасьев А. Н. Патент на изобретение RU 2223505 С1, 10.02.2004. Заявка № 2002116945/28 от 24.06.2002), результаты испытаний силы и скорости отдачи и функционирования датчиков отражены в [31–35].

Таким образом, в основном цикле ПО КИО ожидает прерывания: от CAN-интерфейса, от АЦП прицелов, от таймера звука и от таймера очереди, от ШИМ лазерного излучателя, от спускового крючка, от «дергуна» – соленоида спускового крючка, от «перезарядки» – датчика затворной рамы и занимается их обработкой согласно вышеприведенному описанию (рис 1, 4).

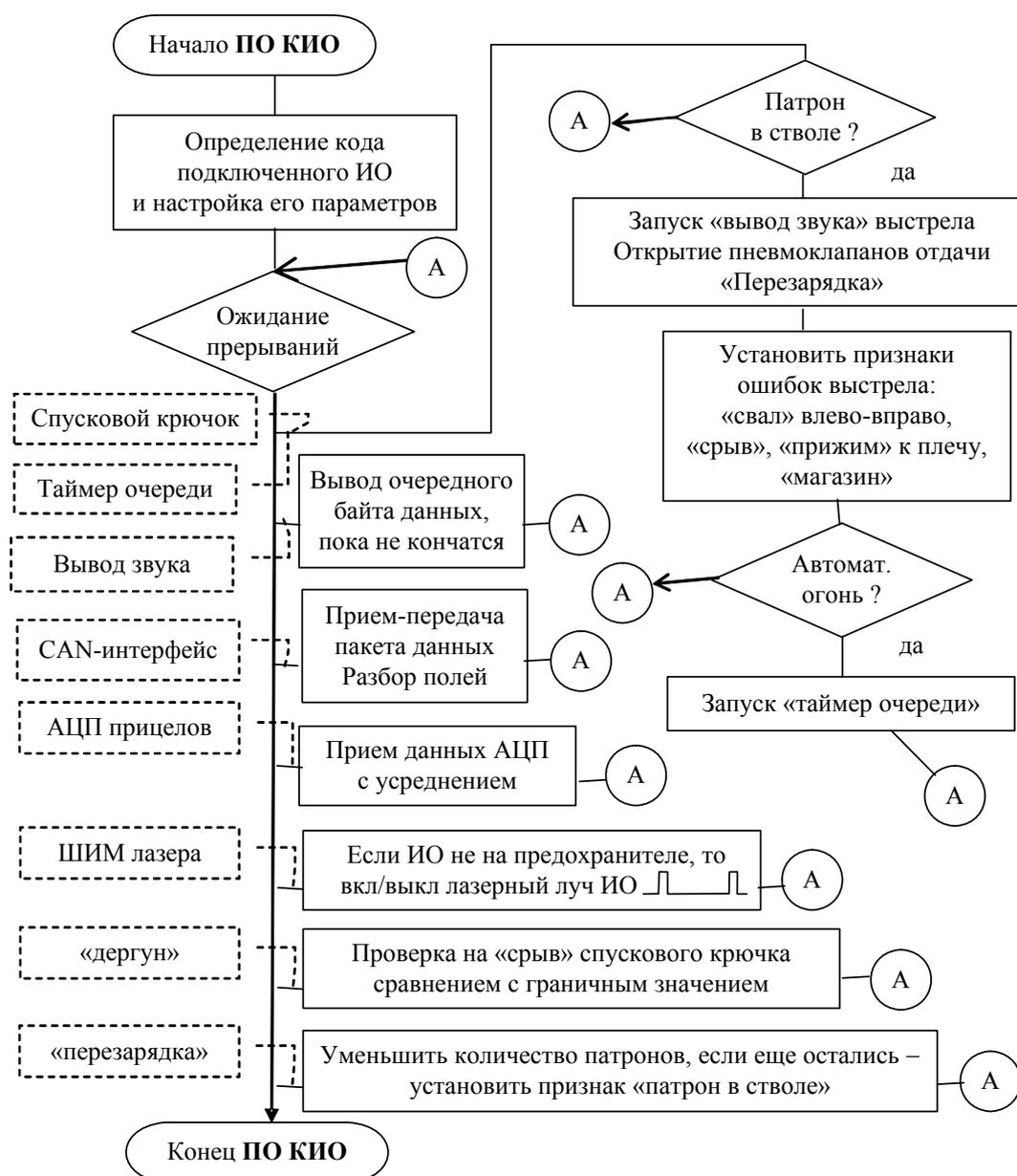


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы ПО имитаторов оружия

### Алгоритм работы ПО микшера

ПО микшера разработано в системе программирования Keil  $\mu$ Vision2 v 2.20 на машинно-ориентированном языке программирования ассемблере SIEMENS SAB 80C166/80C167. ПО микшера встроено в микроконтроллер микшера и работает независимо от центральной ЭВМ (рис. 1). Микшер связывает все КИО по CAN-интерфейсу и смешивает звуки акустических шлемов, с центральной ЭВМ микшер связан по СОМ-интерфейсу (рис. 3).

Необходимость в ПО микшера (точнее, в дополнительном коммуникационном микроконтроллере) связана с загруженностью микропроцессора КИО обработкой имитации всех аспектов выстрела и невозможностью гарантировать своевременный отклик на запросы со стороны ПО ПРЗ о состоянии ИО.

Таким образом, алгоритм работы ПО микшера сводится к постоянному запросу ко всем ПО КИО (независимо работающих на 8 КИО) о текущем состоянии датчиков ИО, получении этих данных, их буферизации и выдаче по за-

просу ПО ПРЗ, а также получении настроек ИО от ПО ПРЗ и передачи их в соответствующие ПО КИО. Прием информации ПО микшера от КИО осуществляется по прерываниям CAN-интерфейса, что исключает потерю данных, а передача проходит в циклах ожидания готовности.

### Формат данных ПО микшера

Обмен информацией между ПО КИО и ПО микшера осуществляется пакетами по 8 байт (табл. 2, размер пакета определяется протоколом используемого CAN-интерфейса). В пакетах нет номера КИО, т. к. пакеты выдаются и получаются через индивидуальные порты каждого из 8 КИО. Пакеты с кодами 1...6 направляются от ПО микшера к ПО КИО для инициализации и загрузку звуков выстрела, а с кодами 16...19 возвращаются от ПО КИО к ПО микшера с информацией о статусе и состоянии датчиков ИО. При инициализации в блоке данных поля со значением 0 игнорируются, т. е. не изменяют данной настройки в ПО КИО (остается старое значение).

Таблица 2. Типы пакетов данных обмена информации по байтам

1 код	2-й байт	3-й байт	4-й байт	5-й байт	6-й байт	7-й байт	8-й байт	Описание
01	1 – включить	Кол. патронов	Температура клапана 1 и 2		Маска25	Время лазера		Инициализация1
02	Уровень срыва	Темп стрельбы		Время клапана1	Время клапана2			Инициализация2
03	Не используется							Запрос статуса
04	Размер данных		5 первых байт данных звука					Начало звука
05	До 7 байт очередных данных звука							Порция звука
06	CRC16 звуковых данных		Не используется					Проверка звука
16	Код ИО	Датчики_ПМ		Прицельная планка	Ночной/оптич. прицел			Датчики1 ИО
17	Патронов	Датчики_ОС		Прицел ГП-25		Оптический прицел 2		Датчики2 ИО
18	Срыв и перегрев	Длина очереди	Не используется					Датчики3 ИО
19	1 – ошибок нет		Не используется					Звук загружен

Из всех параметров инициализации пакетов 1...2 допустимо изменять только «Кол. патронов» (от 1 до 255, хотя это и нереальная вместимость магазинов ИО но проверки отсутствуют) и «Уровень срыва» (от 1 до 255 – показатель «дергуна», при превышении которого начинается фиксироваться срыв спускового крючка), остальные параметры настроены разработчиками и не рекомендуются для изменения (хотя возможность этого присутствует в ПО тренажера).

Поля «Время клапана1» и «Время клапана2», которые отвечают за силу отдачи, настраиваются эмпирически разработчиками и не рекомендуется изменять без консультации. То же отно-

сится к полю «Температура клапана 1 и 2», где задается граничная температура разогрева клапанов.

Поле «Темп стрельбы» настроено разработчиками на 10 выст./с и не подлежит изменению, а заложено для будущих имитаторов оружия.

Поле «Время лазера» позволяет несколько увеличить изначальную скважность лазерного импульса, равную 8 (т. е. уменьшить длительность импульса), оставаясь в рамках их предопределенной теоретической частоты  $3000000:(2100):8 = 178,57$  Гц (импульс лазера ИО каждые 5,6 мс и длительностью не более 0,7 мс). Это необходимо для сохранения равенства инте-

гральной яркости всех лазерных пятен с учетом естественных разбросов их характеристик, что позволяет уверенно регистрировать координаты точки прицеливания средствами ПО РОЭ.

Пакеты с кодами 4...6 предназначены для загрузки в ПО КИО звуковых данных для подключенного ИО вместо значения по умолчанию: «начало звука», «порция звука» и «проверка звука». Корректность загрузки проверяется контрольной суммой (CRC16), и генерируется ответный пакет с кодом 19 «звук загружен», в случае ошибки передача звука повторяется.

Пакет с кодом 3 запускает в ПО КИО выдачу в ПО микшера ответных пакетов с кодами 16...18 для передачи текущего статуса ИО (тип подключенного ИО определяется по полю «Код ИО» из табл. 1).

Для программной поддержки в ПО ПРЗ разницы баллистического рассеивания первого вы-

стрела в очереди и последующих ПО КИО отслеживает очередность стрельбы и передает через параметр «Длина очереди» для правильного расчета баллистической траектории. Поле «Патронов» возвращает оставшееся их количество в магазине (для полного подсчета патронов в ИО надо учитывать бит «патрон в стволе» из табл. 3).

Поля прицелов возвращают текущее значение АЦП резистивных сборок соответствующих прицелов ИО и используют для определения установленной прицельной дальности механических, ночных и оптических прицелов (для оптического прицела СВД еще и значения боковой поправки на ветер).

В битах полей «Срыв и перегрев», «Датчики\_ОС» и «Датчики\_ПМ» закодированы некоторые датчики ИО (см. табл. 3), при этом бит «срыв» связан с установленным граничным значением «Уровень срыва» (табл. 2).

Таблица 3. Форматы сигналов датчиков оружия по битам

7 бит	6 бит	5 бит	4 бит	3 бит	2 бит	1 бит	0 бит	Описание
–	–	–	готовность ГП-25	готовность	была инициализация	перегрев	срыв	<i>Срыв и перегрев</i>
–	отвес ГП-25	–	–	свал: 10-влево, 01-вправо, 11-ровно		–	–	<i>Датчики_ОС</i>
11 бит	10 бит	9 бит	8 бит	7 бит	6 бит	5 бит	4 бит	Описание
–	–	0-автомат	0-предохранитель	0-магазин	патрон в стволе	–	мушка РПГ-7	<i>Датчики_ПМ</i>

Таким образом, разработанный формат данных позволяет эффективно обмениваться информацией между ПО КИО и ПО микшера, настраивать параметры ИО и имеет резервы для поддержки новых образцов.

#### Выводы

Анализ ПО КИО и ПО микшера для поддержки имитаторов оружия показал:

1. Встроенное ПО КИО поддерживает весь набор подключаемых ИО и обеспечивает их самостоятельную имитацию выстрела со звуком и отдачей, что позволяет обрабатывать обращения с оружием и без центральной ЭВМ.

2. Встроенное ПО микшера накапливает информацию о состоянии датчиков ИО для обмена с центральной ЭВМ, что снижает нагрузку на микроконтроллер КИО при имитации процесса выстрела и обеспечивает работу ПО тренажера в реальном масштабе времени.

3. Формат данных для обмена с ПО КИО позволяет настраивать все параметры имитации выстрела, что дает гибкость в подстройке под конкретные характеристики ИО, и даже заложена поддержка будущих образцов оружия.

Таким образом, показана актуальность дальнейшего исследования и использования электронных стрелковых тренажеров, особенно благодаря дешевизне современных аппаратных комплектов, позволяющих улучшить реалистичность имитаторов оружия, высокой эффективности и гибкости программного обеспечения, а также 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](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. 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 // SPORTS ENGINEERING. 2017, vol. 20, no. 1, pp. 17-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12283-016-0214-x>.
10. *Aphanasiev V.A., Vdovin A.Yu., Kornilov I.G.* Weight functions of light shield and the signal at the input of optical sensor at the intersection of the bullets of light shield. // JOURNAL OF MEASUREMENTS IN ENGINEERING. JUNE 2019, VOL. 7, ISSUE 2. P. 74–83. DOI: <https://doi.org/10.21595/jme.2019.20441>.
11. *Aphanasiev V.A., Yuran S.I.* Determination of point estimates in an information measuring system on the basis of light shields // Journal of Measurements in Engineering. 2019. Т. 7. № 2. С. 90-95. DOI: 10.21595/jme.2019.20442.
12. *Afanasyev V.A., Mayshev A.E., Anisimov K.Y.* Elaboration of mathematical model of flight trajectory of material point in atmosphere // Vibroengineering Procedia 33, Vibration and Acoustics: Challenges in Mechanical Engineering. Сер. “33rd International Conference on Vibroengineering” 2018. С. 246-251. DOI: 10.21595/vp.2018.20121.
13. *Вдовин А. Ю., Марков Е. М.* Оптимизация положения световых экранов в системах определения скорости и баллистического коэффициента с использованием лазерного излучателя // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2014. № 3. С. 129–132.
14. *Марков Е. М., Вдовин А. Ю.* Разработка мобильной телевизионной системы для измерения параметров дробового выстрела на основе камеры видеонаблюдения // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2014. № 4. С. 121–123.
15. *Егоров С. Ф.* Эволюция электронных акустических мишеней: исследование дозвуковых математических моделей // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16, № 3. С. 42–51. DOI: 10.22213/2410-9304-2018-3-42-51.
16. *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.
17. *Коробейников В. В., Коробейникова И. В.* Варианты моделей акустических мишеней // Вестник КИГИТ. 2012. № 1 (19). С. 18–23.
18. *Афанасьев В. А., Коробейникова И. В.* Модели акустических мишеней для сверхзвуковых и дозвуковых скоростей движения пуль // Системная инженерия. 2015. № 1 (1). С. 53–64.
19. *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.
20. *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.
21. *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.
22. Технологические особенности сборки и испытания модульного оружия / С. А. Писарев, Р. В. Минibaев, Д. С. Романов, И. В. Токарев // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 3. С. 42–47. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-3-42-47.
23. *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.
24. *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.
25. *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.
26. *Егоров С. Ф., Казаков В. С.* История создания оптико-электронного стрелкового тренажера «Ингибитор» // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. регион. науч.-техн. очно-заочной конф. / науч. ред. В. А. Куликов. Ижевск, 2016. С. 134–142.
27. 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.
28. *Егоров С. Ф.* Информационные потоки в электронном стрелковом тренажере // Интеллек-

туальные системы в производстве. 2010. № 2 (16). С. 132–134.

29. 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.

30. 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.

31. Петухов К. Ю. Алгоритмы обработки сигналов при цифровых измерениях в информационно-измерительных системах для стрелкового оружия : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2003. 156 с.

32. Петухов К. Ю. Автоматизация измерения скорости детали в момент встречи с упором // Вестник КИГИТ. 2010. № 1 (10). С. 116–117.

33. Петухов К. Ю., Шахметов М. Р. Передискретизация как метод борьбы с шумом // Вестник КИГИТ. 2012. № 7 (25). С. 4–8.

34. Петухов К. Ю. Алгоритмы обработки цифровых измерений, эквивалентных преобразованиям аналоговых сигналов // Вестник КИГИТ. 2010. № 1 (10). С. 118–121.

35. Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Петухов К. Ю., Афанасьев А. Н. Устройство для измерения перемещения, скорости, ускорения и темпа движения объекта. Патент на изобретение RU 2223505 С1, 10.02.2004. Заявка № 2002116945/28 от 24.06.2002.

## References

1. Muñoz J.E., Pope A.T., Velez L.E. Integrating Bio-cybernetic 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. 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 Experi-

ments (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. *SPORTS ENGINEERING*. 2017, vol. 20, no. 1, pp. 17-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12283-016-0214-x>.

10. Aphanasiev V.A., Vdovin A.Yu., Kornilov I.G. Weight functions of light shield and the signal at the input of optical sensor at the intersection of the bullets of light shield. *JOURNAL OF MEASUREMENTS IN ENGINEERING*. JUNE 2019, VOL. 7, ISSUE 2. P. 74–83. DOI: <https://doi.org/10.21595/jme.2019.20441>.

11. Aphanasiev V.A., Yuran S.I. Determination of point estimates in an information measuring system on the basis of light shields. *Journal of Measurements in Engineering*. 2019. Т. 7. № 2. С. 90-95. DOI: 10.21595/jme.2019.20442.

12. Afanasyev V.A., Mayshev A.E., Anisimov K.Y. Elaboration of mathematical model of flight trajectory of material point in atmosphere. *Vibroengineering Procedia 33, Vibration and Acoustics: Challenges in Mechanical Engineering*. Ser. “33rd International Conference on Vibroengineering” 2018. С. 246-251. DOI: 10.21595/vp.2018.20121.

13. Vdovin A.Yu., Markov E.M. *Optimizatsiya polozheniya svetovykh ekranov v sistemakh opredeleniya skorosti i ballisticheskogo koeffitsienta s ispol'zovaniem lazernogo izluchatelya* [Optimizing the Position of Light Screens in Velocity and Ballistic Coefficient Systems Using a Laser Emitter] *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2014, no. 3, pp. 129-132 (in Russ.).

14. Markov E.M., Vdovin A.Yu. *Razrabotka mobil'noi televisionnoi sistemy dlya izmereniya parametrov drobovogo vystrela na osnove kamery videonablyudeniya* [Development of a mobile television system for measuring the parameters of a shot boom based on a CCTV camera] *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2014, no. 4, pp. 121-123 (in Russ.).

15. Egorov S.F. *Evolyutsiya elektronnykh akusticheskikh mishenei: 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.

16. 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.
17. Korobeynikov V.V., Korobeynikova I.V. *Varianty modelei akusticheskikh mishenei* [Acoustic Target Model Options]. *Vestnik KIGIT*, 2012, no. 1, pp. 18-23 (in Russ.).
18. Afanas'ev V.A., Korobeynikova I.V. *Modeli akusticheskikh mishenei dlya sverkhzvukovykh i dozvukovykh skorostei dvizheniya pul'* [Acoustic target models for supersonic and subsonic bullet speeds] *Sistemnaya inzheneriya*. 2015, no. 1, pp. 53-64 (in Russ.).
19. Galagan L.A., Sakhratov R.Yu., Chirkov D.V. *Evolutsiya 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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 ochnozaochnoi 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.).
27. Kazakov V.S., Verkievko Yu.V., Korobeynikov V.V., Afanas'eva N.Yu. *Optiko-elektronnyye strelkovyye trenazhery. Teoriya i praktika* [Optical-electronic shooting exercise machines. Theory and practice]. Izhevsk, Institute of mechanics UB RAS, 2007, 260 p. (in Russ.).
28. 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.).
29. Egorov S.F. *Strelkovyy trenazher «Ingibitor»: funktsional'naya skhema programmnoy 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.
30. Egorov S.F., Osipov N.I., Kiznertsev S.R. *Strelkovyy trenazher "Ingibitor": programmnoye 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.
31. 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.).
32. Petukhov K.Yu. *Avtomatizatsiya izmereniya skorosti detali v moment vstrechi s uporom* [Automation of part speed measurement at the moment of meeting with stop]. *Vestnik KIGIT*. 2010, no. 1, pp. 116-117 (in Russ.).
33. Petukhov K.Yu., Shayakhmetov M.R. *Perediskretizatsiya kak metod bor'by s shumom* [Reexamination as a noise control method] *Vestnik KIGIT*. 2012, no. 7, pp. 4-8 (in Russ.).
34. 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.).
35. Verkievko Yu.V., Kazakov V.S., Petukhov K.Yu., Afanas'ev A.N. *Ustroystvo dlya izmereniya peremeshcheniya, skorosti, uskoreniya i tempa dvizheniya ob'ekta* [Device for measurement of movement, speed, acceleration and pace of object movement]. Patent RU 2223505 C1, 10.02.2004 (in Russ.).

\* \* \*

**Shooting Simulator “Inhibitor”: Firmware Weapon Simulators**

S.F. Egorov, PhD in Engineering, Associate Professor, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia  
K.Yu. Petukhov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The paper describes the software of interaction between weapon simulators and the tactical shooting optical-electronic simulator for small arms “Inhibitor” developed at the Institute of mechanics UdmFRC UB RAS and at Computer facilities department of Kalashnikov ISTU jointly with JSC “Kalashnikov” Concern”.*

*A tactical and technical task is given for the functionality of weapon simulators with the support for 50% recoil and 60% of the sound level; it is necessary to track the installations of both mechanical sights and optical and night ones for the corresponding samples. The built-in software of the weapon simulator controller shall guarantee the operation of the mechanisms in real time when working out the recoil and enable the synchronization of the pulse laser emitter of the targeting point detector. Indications of sensors of the magazine, trigger, speed of a trigger, safety lock, sights, plumb, slope, and clip to a shoulder need to be transferred to the program of the shooting exercise machine for control of parameters of firing and calculation of ballistics and also for fixing of mistakes of the trainee at weapon handling. For information exchange, a data format and integrated mixer software had been developed to guarantee the necessary from-click and up-to-date readings.*

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

**Keywords:** shooting exercise machine (shooting simulator), weapon simulator, weapon recoil, aiming devices, built-in software, sound mixer.

Получено 27.07.2020