



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 246–258
Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics, 2021, vol. 21, iss. 2, pp. 246–258

Научная статья

УДК 681.518.3

<https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-2-246-258>

Средства имитации для автоматизированных систем, применяемых при испытаниях стрелкового оружия

А. Ю. Вдовин

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, Россия, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

Вдовин Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, vd_aleks@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8268-3375>

Аннотация. В настоящее время для тестирования различного оборудования и оценки его параметров широко применяются разнообразные имитаторы (средства имитации). Основная цель разработки новых средств имитации в сфере создания автоматизированных систем, применяемых при испытаниях стрелкового оружия, заключается в ускорении и удешевлении процесса разработки и внедрения в эксплуатацию подобных систем. В статье рассмотрены общие структуры применяемых при испытаниях стрелкового оружия информационно-измерительных систем на основе акустических и оптических блокирующих устройств, а также на основе видеокамеры. Исходя из рассмотренных структур, предложена классификация средств имитации (СИ): СИ массива цифровых данных (программные варианты), СИ аналоговых сигналов датчиков системы (аппаратные и программно-аппаратные), СИ иницирующих воздействий на чувствительные элементы системы (аппаратные и программно-аппаратные). Выполнен подробный анализ сравнительных преимуществ и недостатков упомянутых типов имитаторов, описаны возможные трудности при их создании, ограничения на применение того или иного варианта реализации, а также перспективы их развития и применения.

Ключевые слова: средство имитации, имитатор, классификация, испытания, стрелковое оружие

Для цитирования: Вдовин А. Ю. Средства имитации для автоматизированных систем, применяемых при испытаниях стрелкового оружия // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 246–258. <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-2-246-258>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Article

<https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-2-246-258>

Imitation tools for automated systems used in small arms testing

A. Yu. Vdovin

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, 7 Studencheskaya St., Izhevsk 426069, Russia

Aleksey Yu. Vdovin, vd_aleks@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8268-3375>



Имитатором для АС ИСО будем называть программное, программно-аппаратное или аппаратное средство, предназначенное для создания некоего воздействия на один или несколько элементов системы. Система выдаст результат, который мог быть получен и при реальном испытании (выстреле), само такое воздействие будем называть иницирующим.

На рис. 1 используются следующие обозначения: БУ — блокирующие устройства системы (оптические или акустические), БПО — блок предварительной обработки (цифровой виртуальный осциллограф или устройство на основе микроконтроллера), предназначенный для временного хранения и оцифровки данных с датчиков. Под иницирующим воздействием будем понимать воздействие объекта на видеокамеру или блокирующие устройства системы, осуществляемое при реальном выстреле. Объектом в данном случае будем называть объект исследования (например, пулю или элемент автоматики стрелкового оружия в случае с использованием фотоэлектронных блокирующих устройств, лист с отметками дробовых или пулевых попаданий в случае использования видеокамеры). В системах на основе блокирующих устройств после запуска основной программы обработки данных на ЭВМ осуществляется конфигурирование БПО, затем он инициализируется и переходит в состояние регистрации сигналов, поступающих с датчиков на входы его каналов. При выполнении выстрела БПО фиксирует событие запуска (по превышению заданной пороговой величины напряжения) и формирует буфер данных, который отправляется на ПК и автоматически сохраняется там в файле специального формата. Затем осуществляется математическая обработка данных [20]. В системах на основе видеокамеры программа последовательно формирует разностные кадры и осуществляет оценку произошедших изменений. При превышении заданной пороговой величины фиксирует событие запуска, после чего формирует буфер данных, который сохраняется на ПК в файле. Далее осуществляется математическая обработка данных.

1. Классификация средств имитации

Средства имитации для АС ИСО, имея единую цель своего создания, заключающуюся в ускорении и удешевлении процесса разработки и введения в эксплуатацию автоматизированных систем для испытаний стрелкового оружия, могут при этом решать достаточно широкий спектр различных задач. Предлагается следующая классификация средств имитации (СИ), применяемых при создании АС ИСО (рис. 2). Необходимо иметь в виду, что часть таксонов в предлагаемой классификации относится не ко всем типам АС ИСО (с учетом рис. 1).

Такой вариант классификации предусматривает разделение средств имитации на типы в зависимости от того, что именно имитируется:

- 1) массив цифровых данных, поступающих основной программе АС ИСО для обработки;
- 2) совокупность аналоговых сигналов, поступающих на вход БПО;
- 3) иницирующее воздействие объекта на видеокамеру или блокирующие устройства системы.

Рассмотрим некоторые варианты реализации подобных имитаторов, применяемых на различных этапах создания и внедрения АС ИСО (далее будем руководствоваться терминами ГОСТ 34.601-90 «Автоматизированные системы. Стадии создания»), их возможности, сравнительные преимущества и недостатки.

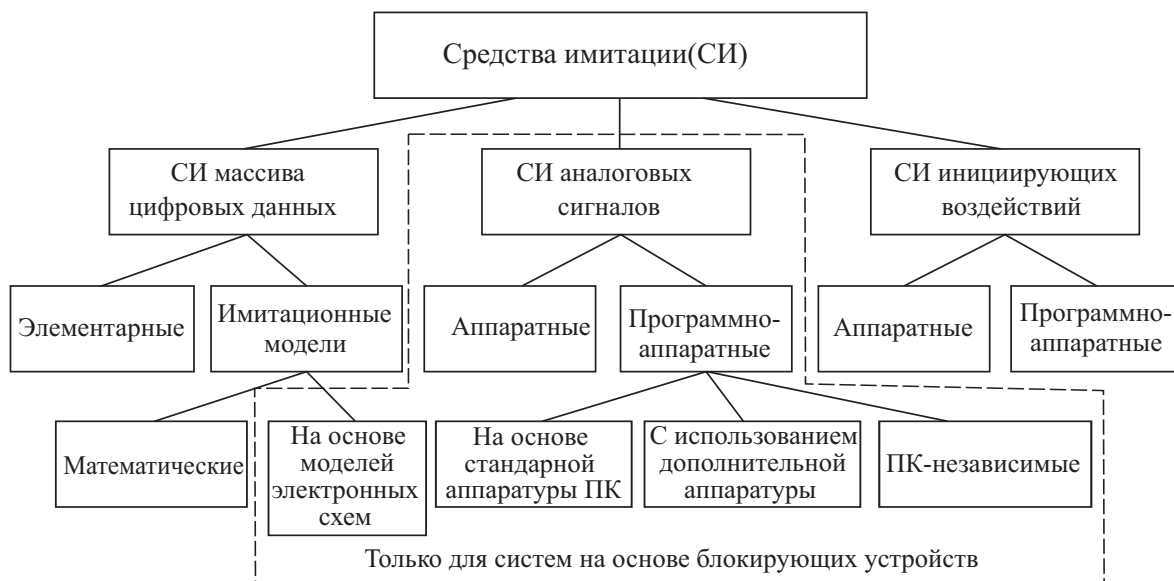


Рис. 2. Классификация средств имитации для АС ИСО
 Fig. 2. The classification of simulations for AS ISO

2. Средства имитации массива цифровых данных, поступающего для обработки основной программе АС ИСО

Элементарными будем называть СИ массива цифровых данных, основанные на дублировании данных реальных опытов. К таким вариантам относится, например, подпрограмма, включаемая в состав программного обеспечения системы и позволяющая загружать файлы, сохраненные при выполнении реальных выстрелов. Этот вариант имеет смысл применять лишь на заключительных стадиях создания системы (при отладке разрабатываемого программного обеспечения, во время предварительных испытаний и при опытной эксплуатации). Основной недостаток варианта заключается в том, что отсутствует возможность внесения каких-либо изменений в условия уже проведенных экспериментов.

Следующий по сложности вариант — создание специальных имитационных моделей сигналов с необходимыми параметрами. Подобное моделирование предоставляет гораздо более широкие возможности: имея приблизительное представление о параметрах шума и полезных импульсов в реальной системе, можно оценить диапазон параметров сигналов, при которых система будет функционировать корректно. Имитационные модели разделим на чисто математические, никак не учитывающие физику процесса формирования сигнала, и модели на основе электронных схем.

Для систем на основе блокирующих устройств даже простейшая имитационная математическая модель, представляющая собой последовательность сгенерированных в заданные моменты прямоугольных импульсов, в некоторых случаях позволяет оценить корректность работы основных алгоритмов созданного программного обеспечения. Для систем с использованием видеокамеры подобной имитационной моделью может быть совокупность кругов на контрастном фоне, сгенерированных в соответствии с необходимыми параметрами. Имитационные математические модели могут быть и существенно более сложными. Например, для системы на основе световых экранов (один из вариантов фотоэлектронных блокирующих устройств) создать подобную модель можно на основе совокупности ранее полученных при выполнении выстрелов сигналов. Для этого можно сформировать некий эталонный импульс, соответствующий пересечению светового эк-



рана пульс определенногo типа, а затем наложить на этот импульс модель шума, генерируемую также на основе апостериорных данных. В этом случае имитационное моделирование позволяет существенно облегчить принятие различных решений при разработке программного обеспечения. Так, например, с помощью имитационных моделей можно осуществить и обосновать выбор оптимального порога срабатывания с точки зрения обнаружения полезного сигнала или выбор оптимального с точки зрения точности критерия определения момента времени прихода импульса (в случае выполнения реальных выстрелов истинное время прихода неизвестно) [21]. Подобные исследования удобно проводить в математических пакетах MATLAB, Scilab, Mathcad, среде разработки LabView. Еще более сложный и трудоемкий вариант создания имитационных моделей предполагает моделирование электронных схем используемых датчиков с помощью симуляторов электронных цепей (например MicroCap [22] или Qucs [23]). При этом возникает необходимость иметь модель воздействия на чувствительный элемент датчика.

В случае системы на основе фотоэлектронных блокирующих устройств потребуется разработка специального программного обеспечения, позволяющего на основе модели перемещения регистрируемого объекта (например пули или элемента автоматики стрелкового оружия) относительно системы датчиков и излучателей в пространстве получить модель воздействия на датчик [24], которая и будет использоваться в симуляторе электронных цепей (рис. 3).

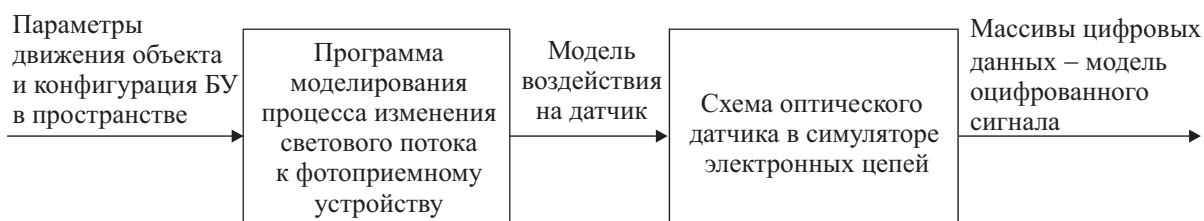


Рис. 3. Моделирование на основе схемы в симуляторе электронных цепей с использованием дополнительно разработанного программного обеспечения

Fig. 3. Simulation based on a circuit in an electronic circuit simulator using additionally developed software

Модель воздействия на датчик при этом представляет собой массив разностей потенциалов на выходе фотодиода, соответствующий процессу изменения светового потока к фотодиоду. При этом на схеме оптического датчика в симуляторе электронных цепей используется эквивалентная схема фотодиода.

Если оптический датчик является достаточно сложным устройством (помимо фотоприемника содержит каскады усилителей, фильтры и проч.) [25], можно использовать еще один вариант имитационной модели на основе электронных схем — модель реакции чувствительного элемента (фотоприемного устройства) на воздействие. Необходимую информацию для построения такой модели можно получить, например, с помощью цифрового осциллографа, измеряя разность потенциалов непосредственно на выходе фотоприемного устройства при выполнении выстрелов.

Для первого случая моделирования электронных схем недостатком является необходимость разработки дополнительного достаточно сложного программного обеспечения, во втором же случае отсутствует возможность какого-либо варьирования условий испытаний (например, для АС ИСО на основе световых экранов [26–28] реакция фотодиода зависит от весовой функции светового экрана [29] и его толщины в точке пересечения объектов, положения регистрируемого объекта



в пространстве и его скорости и проч.). Основное же преимущество имитационного моделирования на основе электронных схем заключается в том, что уже на этапе эскизного проекта можно получить достаточно хорошее представление о форме регистрируемых импульсов.

Все рассмотренные варианты имитационного моделирования применимы уже на ранних стадиях создания автоматизированной системы, начиная с разработки эскизного проекта и вплоть до проведения опытной эксплуатации, при этом разработанную модель можно усложнять по мере накопления апостериорной информации. Важный недостаток всех средств имитации массива цифровых данных в целом состоит в том, что подобное моделирование ориентировано в основном на создание качественных алгоритмов обработки сигналов и не позволяет получить представление о многих существенных характеристиках аппаратной части системы (реальный уровень и характер помех, скорость передачи данных по применяемым интерфейсам с учетом различных ограничений, накладываемых особенностями функционирования в конкретных условиях, и проч.).

3. Средства имитации аналоговых сигналов (только для систем на основе блокирующих устройств)

Решение такой проблемы возможно лишь с применением СИ аналоговых сигналов. При этом создание подобных имитаторов вовсе не обязательно подразумевает дополнительные затраты, наиболее простой вариант предусматривает использование стандартных аппаратных ресурсов компьютера, например, звуковой платы. Схема имитатора сигналов оптических датчиков АС ИСО, разработанного на основе звуковой платы, представлена на рис. 4. Один или два выхода звуковой платы подключаются к измерительным каналам БПО.

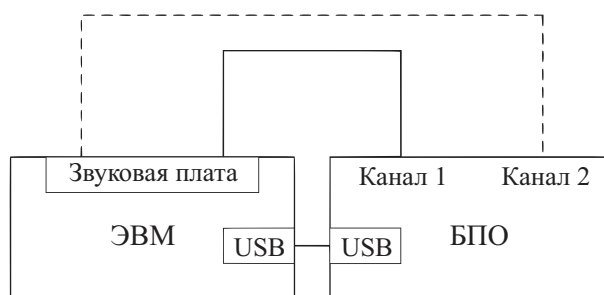


Рис. 4. Схема системы с имитатором сигналов
Fig. 4. The system diagram with a signal simulator

В простейшем случае такой имитатор может генерировать последовательность прямоугольных импульсов, где моменты прихода импульсов рассчитываются на основе математической модели взаимного расположения датчиков (а для фотоэлектронных систем — и излучателей) в пространстве. Недостатки имитаторов на основе звуковой платы целиком обусловлены ограничениями, накладываемыми характеристиками самой звуковой платы, даже при использовании оптических блокирующих устройств желательно иметь частоту дискретизации от 1 МГц и выше (а для акустических [30,31] — от 10МГц [32]), поэтому при генерации сигнала необходимо выполнять передискретизацию (например, на основе линейной интерполяции), что приводит в результате к искажениям формы сигнала [33, 34].

Подобные имитаторы позволяют оценить характеристики граничных режимов работы БПО и его канала передачи (например, по быстродействию или по максимальному темпу стрельбы, поддерживаемому системой). Для такого их применения указанные ограничения становятся несущественными, в этом случае вместо сигналов сложной формы достаточно генерировать последовательность прямоугольных импульсов. Если же рассмотренный недостаток принципиален, его можно устранить переходом к варианту имитатора с использованием дополнительной аппаратуры —



специально разработанной платы ЦАП, подключаемой к компьютеру.

Еще одним недостатком имитаторов на основе звуковой платы является потенциальное влияние на стабильность их работы программного обеспечения ПК (ОС и различных приложений). Решение этой проблемы, очевидно, возможно с использованием ПК-независимых имитаторов на основе микроконтроллеров и чисто аппаратных реализаций. В свою очередь, очевидный недостаток аппаратных имитаторов и программно-аппаратных (ПК-независимых и требующих использования дополнительной аппаратуры) — дополнительные затраты на их разработку. Простейший аппаратный имитатор может быть реализован на основе счетчиков и сдвиговых регистров.

4. Средства имитации иницирующих воздействий

Средства имитации иницирующих воздействий, в первую очередь, предназначены для проверки работоспособности чувствительных элементов АС ИСО. Элементарными аппаратными средствами имитации иницирующих воздействий для фотоэлектронных систем могут быть самые простые и доступные источники света (светодиоды, лампы накаливания и проч.), для акустических — источники звука (динамики), для систем с использованием видеокамеры — устройства на основе стробоскопа. В фотоэлектронных системах также возможно применение механических имитаторов, которые более точно позволяют имитировать пересечение светового экрана движущимся объектом. Последний вариант с точки зрения логики работы системы максимально приближен к выполнению реального выстрела. Но возможны и существенно более сложные — программно-аппаратные варианты создания подобных средств, позволяющие имитировать воздействия на все датчики разработанной АС ИСО в программно задаваемые моменты времени [35]. В этом случае можно говорить о программно-аппаратных системах имитации иницирующих воздействий. Создание таких систем имитации на основе современных микроконтроллеров потенциально позволит осуществлять комплексную проверку работоспособности программной и аппаратной части АС ИСО как в лабораторных условиях, так и непосредственно после ее монтажа в реальных условиях, более того, подобные системы имитации будут незаменимы при необходимости оперативной оценки работоспособности АС ИСО. В этом случае недостатки заключаются лишь в дополнительных затратах на разработку системы имитации и сложности имитации таких воздействий на датчики, которые давали бы импульсы желаемой формы. Весьма перспективным выглядит вариант реализации системы имитации иницирующих воздействий с использованием беспроводных интерфейсов (Bluetooth, Wi-Fi, радиоканал и проч.), что позволит существенно повысить гибкость системы и уменьшить время ее развертывания.

Выводы

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы. При необходимости создания в сжатые сроки АС ИСО, к которой предъявляются достаточно высокие требования (по точности, информативности и проч.), не обойтись без разработки программ, позволяющих создавать адекватную имитационную модель сигнала с большим количеством варьируемых параметров.

Для решения вопросов, связанных с проверкой возможности работы системы в заданных режимах (например при заданном темпе стрельбы), можно рекомендовать программно-аппаратный имитатор на основе звуковой платы (разумеется,



если ее характеристики позволяют создать необходимый сигнал с допустимыми отклонениями). При необходимости выполнения оперативной диагностики работы системы и выявления конкретной неисправности с минимальными затратами незаменимы будут средства имитации иницирующих воздействий на чувствительные элементы АС ИСО.

Предложенная классификация средств имитации может быть применена и к СИ для АС ИСО на основе других типов блокирующих устройств, например магнитоиндукционных [36, 37] или электростатических [38], а также для АС ИСО на основе ИК-камеры [39]. Более того, можно утверждать, что на основе однажды созданных программных и программно-аппаратных средств имитации одной АС ИСО возможна разработка с минимальными затратами средств имитации для других АС ИСО, даже существенно отличных от первой.

Список литературы

1. Крат Н. М., Савин А. А., Шарыгин Г. С. Контрольно-проверочная аппаратура системы автономной навигации космических аппаратов // Доклады ТУСУР. 2014. № 1 (31). С. 28–32.
2. Красненко С. С., Недорезов Д. А., Кашкин В. Б., Хазагаров Ю. Г., Пичкалев А. В. Многоканальный цифровой синтез в имитаторах радионавигационных сигналов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2013. Т. 6, № 5. С. 521–526.
3. Антонов К. А., Григорьев В. О., Сучков В. Б., Фабричный М. Г. Вопросы реализации имитатора входных сигналов систем ближней радиолокации для полунатурного моделирования помех от подстилающей поверхности // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия : Приборостроение. 2006. № 4 (65). С. 45–58.
4. Долгов А. Н., Раскита М. А. Имитатор гидроакустических сигналов для отладки научного гидроакустического оборудования, предназначенного для мониторинга водных биоресурсов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. № 9 (122). С. 52–56.
5. Костенков С. Ю., Сидорова М. А. Особенности разработки программного имитатора электрофизиологических сигналов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Технические науки. Информационные технологии. 2013. № 10 (14). С. 210–214.
6. Копылов Е. Ю. Имитатор сигналов для электроразведочного измерительного комплекса // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2016. Т. 16, № 5. С. 146–150.
7. Афанасьева Н. Ю., Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Коробейников В. В. ; Институт прикладной механики УрО РАН. Световая мишень. Патент на изобретение RU 2213320 С1, МПК F41J 5/02. № 2002116940/02 ; Заявл. 24.06.2002 ; Оpubл. 27.09.2003.
8. Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Казаков С. В., Коробейников В. В. ; Институт прикладной механики УрО РАН. Способ определения внешнебаллистических характеристик полета пуль и снарядов. Патент на изобретение RU 2231738 С2, МПК F41J 5/06, G01S 5/18. № 2002119931/02 ; Заявл. 22.07.2002 ; Оpubл. 27.06.2004.
9. Петухов К. Ю. Алгоритмы обработки аналоговых сигналов при цифровых измерениях в информационно-измерительных системах для стрелкового оружия : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2003. 156 с.
10. Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Петухов К. Ю., Афанасьев А. Н. ; Институт прикладной механики УрО РАН. Устройство для измерения перемещения, скорости, ускорения и темпа движения объекта. Патент на изобретение RU 2223505 С1, МПК G01P 3/68. № 2002116945/28 ; Заявл. 24.06.2002 ; Оpubл. 10.02.2004.



11. *Вдовин А. Ю., Марков Е. М., Корнилов И. Г.* Современная автоматизированная система для оценки скорости перемещения затвора стрелкового оружия // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. Т. 15, № 3. С. 82–87. <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2017-3-82-87>
12. *Марков Е. М.* Разработка методик и средств контроля параметров дробового оружия с использованием телекамеры : дис. . . . канд. техн. наук. Ижевск, 2011. 171 с.
13. *Коновалов А. А., Николаев Ю. В.* Внешняя баллистика. Москва : ЦНИИ информации, 1974. 228 с.
14. *Златин Н. А., Красильщиков А. П., Мишин Г. И., Попов Н. Н.* Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / под ред. Н. А. Златина, Г. И. Мишина. Москва : Наука, 1974. 344 с.
15. *Дмитриевский А. А., Лысенко Л. Н., Богодистов С. С.* Внешняя баллистика : учебник для студентов вузов. Москва : Машиностроение, 1991. 640 с.
16. *Иванов А. П., Колиев М. Р.* ; Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова». Устройство для измерения скорости и ускорения метаемого элемента. Патент на изобретение RU 2285268 С1, МПК G01P 3/68. № 2005109398/28 ; Заявл.04.04.2005 ; Оpubл. 10.10.2006.
17. *Афанасьев В. А., Афанасьева Н. Ю., Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Коробейников В. В.* ; Институт прикладной механики УрО РАН. Тир. Патент на изобретение RU 2388990 С2, МПК F41J 5/02. № 2008129857/02 ; Заявл.18.07.2008 ; Оpubл. 10.05.2010.
18. *Афанасьев В. А., Афанасьева Н. Ю., Веркиенко Ю. В.* ; Институт прикладной механики УрО РАН. Устройство определения внешнебаллистических параметров в совмещенной с баллистической трассой инвариантной световой мишени. Патент на изобретение RU 2388991 С2, МПК F41J 5/02. № 2008131125/02 ; Заявл.28.07.2008 ; Оpubл. 10.05.2010.
19. *Близнюк А. М., Кочнев Ю. В., Хорошко А. Н.* ; Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» — ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Способ определения координат положения в пространстве и во времени пуль и снарядов. Патент на изобретение RU 2470252 С1, МПК F41J 5/06, G01S 5/18. № 2011128198/28 ; Заявл.07.07.2011 ; Оpubл. 20.12.2012.
20. *Вдовин А. Ю.* Разработка системы на основе световых экранов для определения внешнебаллистических параметров : дис. . . . канд. техн. наук. Ижевск, 2010. 157 с.
21. *Вдовин А. Ю.* Цифровая фильтрация в автоматизированных системах определения внешнебаллистических параметров // Информационные технологии в промышленности и образовании : сб. тр. науч.-техн. конф. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2009. С. 52–55.
22. *Вдовин А. Ю., Казаков В. С., Коробейников В. В., Киселев В. А.* Моделирование в среде Micco-Cap оптического датчика информационно-измерительной системы на основе световых экранов // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. 2012. № 3. С. 108–110.
23. *Вдовин А. Ю., Данилов С. А.* Моделирование оптического датчика светового экрана в среде Qucs // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. регион. науч.-техн. очно-заоч. конф. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. С. 130–133.
24. *Зыкина А. И., Вдовин А. Ю.* Моделирование процесса пересечения светового экрана телом вращения // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. регион. науч.-техн. очно-заоч. конф. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. С. 247–251.
25. *Афанасьев В. А.* Совершенствование моделей и программно-аппаратных средств для контроля изделий по внешнебаллистическим параметрам : дис. . . . канд. техн. наук. Ижевск, 2013. 159 с.
26. *Шарипов Р. М.* Световой экран для определения координат пролета пули и комплект элементов светового экрана. Патент на полезную модель RU 109284 U1, МПК F41J 5/00. № 2011122389/28 ; Заявл.02.06.2011 ; Оpubл. 10.10.2011.



27. *Афанасьева Н. Ю.* Информационно-измерительная система на основе световых экранов для испытаний стрелкового оружия : дис. . . . канд. техн. наук. Ижевск, 2003. 127 с.
28. *Афанасьева Н. Ю., Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Коробейников В. В.* ; Институт прикладной механики УрО РАН. Устройство для определения внешнебаллистических параметров метательного элемента с помощью световых экранов. Патент на изобретение RU 2279035 С1, МПК F42В 35/00, G01P 3/68. № 2005100994/02 ; Заявл.18.01.2005 ; Оpubл. 27.06.2006.
29. *Aphanasiev V. A., Vdovin A. U., 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*. 2019. Vol. 7, iss. 2. P. 74–83. <https://doi.org/10.21595/jme.2019.20441>
30. *Казаков В. С., Коробейников В. В.* Акустическая мишень с выносным датчиком // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2013. № 1. С. 127–129.
31. *Егоров С. Ф., Коробейникова И. В., Коробейников А. В.* Исследование влияния на точность акустической мишени, инвариантной к рабочей позиции математической модели // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2015. Т. 13, № 3. С. 45–49.
32. *Казаков С. В.* Разработка и исследование информационно-измерительной системы на основе акустических мишеней для испытаний стрелкового оружия на открытой местности : автореф. дис. . . . канд. техн. наук. Ижевск, 2002. 19 с.
33. *Вдовин А. Ю., Покушев А. Н., Максимова А. В.* Создание на основе звуковой платы имитатора сигналов датчиков системы для оценки параметров движения механизмов стрелкового оружия // *Информационные технологии. Проблемы и решения : материалы междунар. науч.-практ. конф.* Уфа, 2018. № 1 (5). С. 67–71.
34. *Вдовин А. Ю., Марков Е. М., Максимова А. В., Покушев А. Н.* Создание на основе звуковой платы имитатора сигналов оптических датчиков автоматизированной системы для определения внешнебаллистических параметров // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2016. Т. 14, № 3. С. 52–55.
35. *Вдовин А. Ю., Хамидуллин Р. Р., Шадрин В. В.* Средство имитации инициирующих воздействий на датчики оптико-электронной системы, применяемой при испытаниях стрелкового оружия // *Приборостроение в XXI веке – 2019. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов XV Всерос. науч.-техн. конф.* Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2019. С. 23–29.
36. *Вьюков Н. Н., Акимов А. В., Аверин Н. Н.* ; Центральный научно-исследовательский институт точного машиностроения. Устройство для измерения скорости полета пули и снаряда. Патент на изобретение RU 2089917 С1, МПК G01P 3/66. № 4540242/28 ; Заявл.15.03.1991 ; Оpubл. 10.09.1997.
37. *Зубанков А. В., Николаев В. А., Кортюков И. И., Батарев С. В., Страбыкин В. В.* ; Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» — ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Способ запуска регистрирующих систем и измеритель средней скорости метаемого объекта. Патент на изобретение RU 2525687 С1, МПК G01P 3/66. № 2013116297/28 ; Заявл.09.04.2013 ; Оpubл. 20.08.2014.
38. *Ашихмин А. С., Познухов А. В.* ; Рязанская государственная радиотехническая академия. Способ сообщения электрического заряда металлической пуле. Патент на изобретение RU 2251113 С1, МПК G01P 3/66. № 2003137273/28 ; Заявл.24.12.2003 ; Оpubл. 27.04.2005.
39. *Захаров В. Н., Ромашкин В. В., Рублев Н. И.* Способ определения координат попаданий в мишень для стрелкового тира и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2255294 С1, МПК F41J 5/08. № 2004107951/02 ; Заявл.19.03.2004 ; Оpubл. 27.06.2005.



References

1. Krat N. M., Savin A. A., Sharygin G. S. Test equipment for autonomous navigation system of space vehicles. *Proceedings of TUSUR University*, 2014, no. 1 (31), pp. 28–32 (in Russian).
2. Krasnenko S. S., Nedorezov D. A., Kashkin V. B., Hazagarov Yu. G., Pichkalev A. V. Multi-channel digital synthesis of radio navigation signals simulator. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2013, vol. 6, no. 5, pp. 521–526 (in Russian).
3. Antonov K. A., Grigoriev V. O., Suchkov V. B., Fabrichny M. G. Questions of implementation of the simulator of input signals of near-field radar systems for semi-natural modeling of interference from the underlying surface. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Instrument Engineering*, 2006, no. 4 (65), pp. 45–58 (in Russian).
4. Dolgov A. N., Raskita M. A. Sonar signal simulator designed for debugging research sonar equipment used for monitoring aquatic bioresources. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2011, no. 9 (122), pp. 52–56 (in Russian).
5. Kostenkov S. Y., Sidorova M. A. Features of development software simulator of electrophysiological signals. *XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus. Series: Engineering Sciences. Information Technologies*, 2013, no. 10 (14), pp. 210–214 (in Russian).
6. Kopylov E. Iu. Simulator of signals for electromagnetic prospecting measuring system. *Herald of KRSU*, 2016, vol. 16, no. 5, pp. 146–150 (in Russian).
7. Afanas'eva N. Ju., Verkienko Ju. V., Kazakov V. S., Korobejnikov V. V. *Light target*. Patent RU 2213320 C1.
8. Verkienko Ju. V., Kazakov V. S., Kazakov S. V., Korobejnikov V. V. *Method for determination of exterior ballistic characteristics of flight of bullets and projectiles*. Patent RU 2231738 C2.
9. Petukhov K. Iu. *Algorithms for processing analog signals for digital measurements in information and measurement systems for small arms*. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Izhevsk, 2003. 156 p. (in Russian).
10. Verkienko Ju. V., Kazakov V. S., Petukhov K. Ju., Afanas'ev A. N. *Device measuring translation, velocity, acceleration and rate of motion of object*. Patent RU 2223505 C1.
11. Vdovin A. Yu., Markov E. M., Kornilov I. G. Modern automated system for evaluation of movement velocity of firearm bolt. *Intelligent Systems in Manufacturing*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 82–87 (in Russian). <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2017-3-82-87>
12. Markov E. M. *Development of methods and means of controlling parameters of shotguns using a camera*. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Izhevsk, 2011. 171 p. (in Russian).
13. Konovalov A. A., Nikolaev Yu. V. *Vneshnjaja ballistika* [External Ballistic]. Moscow, CNII informacii, 1974. 228 p. (in Russian).
14. Zlatin N. A., Krasil'shnikov A. P., Mishin G. I., Popov N. N. *Ballisticheskie ustanovki i ih primenenie v jeksperimental'nyh issledovanijah* [Ballistic Installations and Their Application in Experimental Research]. Moscow, Nauka, 1974. 344 p. (in Russian).
15. Dmitrievskij A. A., Lysenko L. N., Bogodistov S. S. *Vneshnjaja ballistika* [External Ballistic]. Moscow, Mashinostroenie, 1991. 640 p. (in Russian).
16. Ivanov A. P., Koliev M. R. *Device for measurement of speed and acceleration of thrown object*. Patent RU 2285268 C1.
17. Afanas'eva N. Yu., Afanas'ev V. A., Verkienko Ju. V., Kazakov V. S., Korobejnikov V. V. *Shooting gallery*. Patent RU 2388990 C2.
18. Afanas'eva N. Yu., Afanas'ev V. A., Verkienko Ju. V. *Device for determining outer-ballistic parameters in invariant light target combined with ballistic track*. Patent RU 2388991 C2.
19. Bliznjuk A. M., Kochnev Ju. V., Khoroshko A. N. *Method of defining bullet and shell position coordinates in space and time*. Patent RU 2470252 C1.



20. Vdovin A. Yu. *Development of a system based on light screens for determining external ballistic parameters*. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Izhevsk, 2010. 157 p. (in Russian).
21. Vdovin A. Yu. Digital filtering in automated systems for determining external ballistic parameters. In: *Informatsionnye tekhnologii v promyshlennosti i obrazovanii* [Information Technologies in Industry and Education: Collected Papers Scientific and Technical Conf.]. Izhevsk, Izd-vo IzhGTU, 2009, pp. 52–55 (in Russian).
22. Vdovin A. Yu., Kazakov V. S., Korobeynikov V. V., Kiselev V. A. Optical sensor modeling in micro-cap medium for information-measuring system on basis of light screens. *Bulletin of Kalashnikov ISTU*, 2012, no. 3, pp. 108–110 (in Russian).
23. Vdovin A. Yu., Danilov S. A. Light screen optical sensor modeling in Quacs. In: *Informatsionnye tekhnologii v nauke, promyshlennosti i obrazovanii* [Information Technologies in Industry and Education: Collected Papers Scientific and Technical Conf.]. Izhevsk, Izd-vo IzhGTU, 2013, pp. 130–133 (in Russian).
24. Zykina A. I., Vdovin A. Yu. Simulation of the process of crossing the light screen by the rotation body. In: *Informatsionnye tekhnologii v nauke, promyshlennosti i obrazovanii* [Information Technologies in Industry and Education: Collected Papers Scientific and Technical Conf.]. Izhevsk, Izd-vo IzhGTU, 2014, pp. 247–251 (in Russian).
25. Aphanasiev V. A. *Improvement of models and hardware and software for controlling products by external ballistic parameters*. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Izhevsk, 2013. 159 p. (in Russian).
26. Sharipov R. M. *Light screen for determining the coordinates of the bullet passage and a set of light screen elements*. Patent for useful model RU 109284 U1.
27. Afanas'eva N. Yu. *Information-measuring system based on light screens for testing small arms*. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Izhevsk, 2003. 127 p. (in Russian).
28. Afanas'eva N. Yu., Afanas'ev V. A., Verkienko Ju. V., Kazakov V. S., Korobeynikov V. V. *Device for determination of exterior ballistic parameters of projectile component with the aid of light screens*. Patent RU 2279035 C1.
29. Aphanasiev V. A., Vdovin A. U., 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*, 2019, vol. 7, iss. 2, pp. 74–83. <https://doi.org/10.21595/jme.2019.20441>
30. Kazakov V. S., Korobeynikov V. V. Acoustic target with portable sensor. *Intelligent Systems in Manufacturing*, 2013, no. 1, pp. 127–129 (in Russian).
31. Egorov S. F., Korobeynikova I. V., Korobeynikov A. V. Research for the influence of mathematical model invariant to working position on the accuracy of an acoustic target. *Intelligent Systems in Manufacturing*, 2015, vol. 13, no. 3, pp. 45–49 (in Russian).
32. Kazakov S. V. *Development and research of an information and measurement system based on acoustic targets for testing small arms in open areas*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Tech.). Izhevsk, 2002. 19 p. (in Russian).
33. Vdovin A. Yu., Pokushev A. N., Maksimova A. V. Creation on the basis of the sound card the simulator signals of the system for determining of mechanisms movement parameters of weapons. *Informacionnye tehnologii. Problemy i reshenija* [Information Technology. Problems and Solutions: Materials of the International Scientific and Practical Conference], Ufa, 2018, no. 1 (5), pp. 67–71 (in Russian).
34. Vdovin A. Y., Markov E. M., Maksimova A. V., Pokushev A. N. Creation of automated system for determining the external ballistics parameters based on the sound card of signal imitator for optical sensors. *Intelligent Systems in Manufacturing*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 52–55 (in Russian).
35. Vdovin A. Yu., Khamidullin R. R., Shadrin V. V. Initiating impacts imitator on the sensors of the optical-electronic system used in small arms testing. *Priborostroenie v XXI veke* –



2019. *Integracija nauki, obrazovanja i proizvodstva* [Instrumentation in the 21 century – 2019. Integration of science, education and production: Proc. All-Russ. Scientific and Technical Conf.]. Izhevsk, IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova Publ., 2019, pp. 23–29 (in Russian).
36. V'jukov N. N., Akimov A. V., Averin N. N. *Projectile velocity-measuring device*. Patent RU 2089917 C1.
37. Zubankov A. V., Nikolaev V. A., Kortjukov I. I., Batarev S. V., Strabykin V. V. *Method to start recording systems and meter of average speed of thrown object*. Patent RU 2525687 C1.
38. Ashikhmin A. S., Poznukhov A. V. *Mode of transferring a charge on a metallic bullet*. Patent RU 2251113 C1.
39. Zakharov V. N., Romashkin V. V., Rublev N. I. *Method for determination of coordinates of target hits for small arms and device for its realization*. Patent RU 2255294 C1.

Поступила в редакцию / Received 17.02.2020

Принята к публикации / Accepted 05.10.2020

Опубликована / Published 31.05.2021