

26. Пономарева О. В., Пономарев А. В., Пономарева Н. В. Формализованное описание погрешностей измерения вероятностных характеристик случайных процессов процессорными измерительными средствами // Современные информационные и электронные технологии. – 2013. – Т. 1. – № 14. – С. 90–93.

27. Алексеев В. А., Пономарев В. А., Пономарева О. В. Методология определения погрешностей измерения вероятностных характеристик случайных процессов, реализуемых процессорными измерительными средствами // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 91–99.

28. Пономарева О. В., Пономарев А. В., Пономарева Н. В. Скользящее параметрическое ДПФ в задачах обнаружения тональных компонент // Цифровая обработка сигналов. – 2012. – № 4. – С. 2–7.

29. Пономарева О. В., Пономарев А. В., Пономарев В. А. Измерение скользящего взвешенного энергетического дискретно-временного спектра тональных компонент // Ин-

Получено 24.05.15

теллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2(24). – С. 126–132.

30. Пономарева О. В. Измерение временных спектров дискретных сигналов методом модифицированного параметрического дискретного преобразования Фурье // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2(24). – С. 132–138.

31. Пономарев В. А., Пономарева О. В. Виброакустическое диагностирование коробок передач станков цифровыми методами // Станки и инструмент. – 1983. – № 9. – С. 18–21.

32. Демпфирование поперечных колебаний вращающейся по крену ракеты с помощью микрогироскопа / В. Я. Распопов, Р. В. Алалуев, Ю. В. Иванов, Д. М. Малютин // Гироскопия и навигация. – 2007. – № 1(56). – С. 125–128.

33. Гирин В. Я., Распопов В. И., Белобрагин В. Н. Измерители угловых параметров летательного аппарата на базе гироскопа с вращающимся подвесом // Датчики и системы. – 2005. – № 2. – С. 7–10.

УДК 681.518.3+623.54

А. Ю. Вдовин, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
С. В. Суглов, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ СВЕТОВЫХ ЭКРАНОВ НА СТРЕЛКОВОЙ ТРАССЕ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ КОНТАКТНОЙ БЛОКИРОВКИ

Системы на основе световых экранов широко применяются для определения различных внешнебаллистических параметров пуль [1–5]. При этом очевидно, что погрешности определения этих параметров будут в большой степени определяться погрешностями установки световых экранов на стрелковой трассе. Поэтому необходимо стремиться к максимально точной установке экранов или по крайней мере к максимально точному определению местоположения световых экранов после их установки. Но в условиях стрелковой трассы это не всегда возможно по ряду причин (средства измерения несовершенны, кроме того, световые экраны имеют определенную толщину, причем ее величина может изменяться в зависимости от расстояний до оптического датчика и излучателя, и пр.). В связи с этим весьма актуальной становится задача идентификации (в данном случае – уточнения) положения световых экранов. Возможен вариант идентификации с использованием системы уравнений внешней баллистики [6].

При использовании штатного бесконтактного метода определения скорости пули стрелковая трасса оборудуется двумя парами световых экранов – на дистанциях 8 и 12, 23 и 27 м для определения скоростей на дистанции 10 и 25 м от дульного среза соответственно.

Оценим возможность выполнения идентификации расположения световых экранов путем стати-

стического моделирования с большим числом опытов ( $n = 1000$ ) при проведении следующего эксперимента. На стрелковой трассе кроме 4 световых экранов размещены датчики штатной контактной блокировки Д0 и Д5 (рис. 1).

На рис. 1 Э1–Э4 – световые экраны, образованные линейными излучателями И1–И4 и оптически датчиками Д1–Д4. В среде Mathcad создана модель баллистического комплекса, соответствующего рис. 1.

Считая, что местоположение экрана Э4 и Д5 относительно Д0 известно точно, на основании рассчитанных моментов срабатывания датчиков Д0, Д4, Д5, полученных при моделировании серии выстрелов (точки попадания генерируются в соответствии с табличными характеристиками рассеивания пуль для изделия АКМ [7]), по известной методике [8] определяются начальные скорости и баллистические коэффициенты пуль. Далее решается прямая задача внешней баллистики, и для каждого выстрела определяются дальности расположения световых экранов, затем результаты усредняются. Было установлено, что при таких условиях погрешность идентификации практически не зависит от исходной погрешности установки световых экранов Э1–Э3, заданной на модели, и для экранов Э1, Э2 и Э3 не превышает 1; 1,2; 1,5 мм соответственно.

Далее была произведена оценка влияния погрешности установки экрана Э4 относительно Д0 на точ-

ность идентификации остальных экранов при условии, что Д5 относительно Д0 расположен точно (рис. 2).

Как видно из представленных графиков, погрешность идентификации положения экранов Э1–Э3 линейно зависит от исходной погрешности установ-

ки Э4, причем для экрана Э3 она примерно совпадает с исходной погрешностью. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что для идентификации по предлагаемому алгоритму целесообразнее всего уточнять положение остальных экранов, считая известным именно положение экрана Э4.

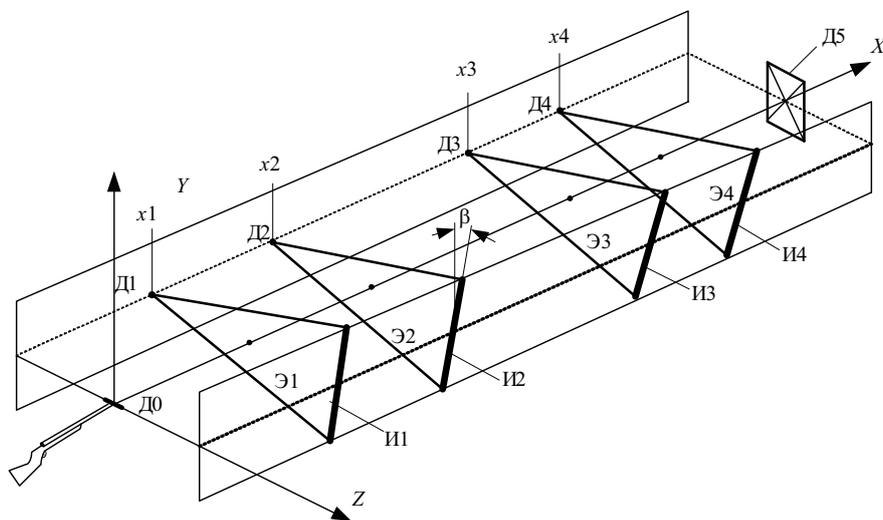


Рис. 1. Схема расположения датчиков на стрелковой трассе

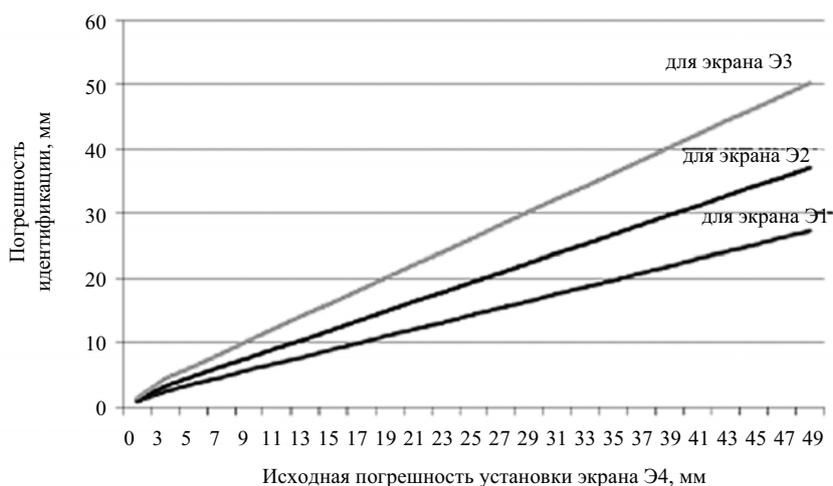


Рис. 2. График зависимости погрешности идентификации экранов Э1–Э3 от погрешности расположения экрана Э4 при  $n = 1000$

Но в реальности, с учетом высокой стоимости выстрела, выполнение нескольких сотен (и даже десятков) выстрелов для уточнения положения световых экранов неприемлемо. С другой стороны очевидно, что при уменьшении количества опытов погрешность в существенно большей степени станет зависеть от фактора случайности (в данном случае от точки попадания пули в конкретном опыте).

Оценим возможность реализации предлагаемого алгоритма идентификации при малом числе выстрелов. Для единичного опыта при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  (и, соответственно, с доверительной вероятностью в 95 % [9, 10]) с учетом табличных характеристик рассеивания координаты  $y$  и  $z$  будут принадлежать интервалам  $(-58,8; 58,8)$  и  $(-44,1; 44,1)$  мм со-

ответственно. Расчеты показывают, что если координаты точек попадания находятся в указанных пределах, то величина погрешностей идентификации положения экранов Э1, Э2, Э3 может возрасти не более чем на 4; 3,5; 2,3 % соответственно, причем влияние координаты  $z$  на величину этой погрешности существенно (почти на два порядка) ниже влияния координаты  $y$ . Это означает, что идентификацию положения световых экранов можно выполнять даже по результатам выполнения одного выстрела без существенного ухудшения результатов.

Таким образом, если при установке световых экранов на стрелковой трассе изначально допущены примерно одинаковые погрешности, то использова-

ние предложенного алгоритма идентификации даже при малом числе выстрелов может обеспечить существенное уменьшение погрешностей определения положения световых экранов, ближайших к дульному срезу оружия.

#### Библиографические ссылки

1. Пат. 2213320 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 41 J 5/02. Световая мишень / Н. Ю. Афанасьева, Ю. В. Веркиенко, В. С. Казаков, В. В. Коробейников; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УрО РАН № 2002116940/02; заявл. 24.06.02; опубл. 27.09.03.
  2. Пат. 2279035 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 42 В 35/00 G 01 P 3/68. Устройство для определения внешнебаллистических параметров метательного элемента с помощью световых экранов / Н. Ю. Афанасьева, В. А. Афанасьев, Ю. В. Веркиенко, В. С. Казаков, В. В. Коробейников; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УрО РАН № 2005100994/02; заявл. 18.01.05; опубл. 27.06.06.
  3. Пат. 2386100 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 41 J 5/00. Световая мишень / Н. Ю. Афанасьева, В. А. Афанасьев, Ю. В. Веркиенко; заявитель и патентообладатель Институт
- Получено 24.07.15

прикладной механики УрО РАН № 2008127417/02; заявл. 04.07.08; опубл. 10.04.10.

4. Афанасьева Н. Ю. Информационно-измерительная система на основе световых экранов для испытаний стрелкового оружия: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2003.
5. Вдовин А. Ю. Разработка системы на основе световых экранов для определения внешнебаллистических параметров: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2010.
6. Идентификация модели баллистической трассы / В. А. Афанасьев, А. Ю. Вдовин, В. С. Казаков, В. В. Коробейников // Информационные системы в промышленности и образовании: сб. научн. тр. – Ижевск: ИПМ УРО РАН, 2008 – С. 23–27.
7. Наставления по стрелковому делу. Основы стрельбы из стрелкового оружия. – М.: Воениздат, 1985. – 640 с.
8. Решение обратной задачи внешней баллистики в информационно-измерительной системе / В. А. Афанасьев, Н. Ю. Афанасьева, А. Ю. Вдовин, Ю. В. Веркиенко // Вестник ИжГТУ. – 2008. – № 3. – С. 104–106.
9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – 4-е изд. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
10. Афанасьева Н. Ю., Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2006. – 248 с.

УДК 621.396

**М. Л. Никитин**, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**А. Н. Копысов**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**В. В. Хворенков**, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**А. А. Богданов**, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**А. В. Жидяев**, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## МЕТОДЫ СИНТЕЗА СОСТАВНЫХ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

При прохождении через коротковолновый канал связи сигнал испытывает значительные искажения и замирания, что затрудняет, а во многих случаях приводит к невозможности проведения сеанса связи, при этом возникает необходимость в разработке помехоустойчивых СК, которые могут обеспечить прием даже в условиях сильно загруженного канала связи.

В качестве помехоустойчивой сигнальной конструкции в работе рассмотрен широкополосный составной частотно-временной сигнал (ЧВС) [1–4] с прямым расширением спектра (ПРС) псевдослучайной последовательностью (ПСП).

В статье представлены результаты имитационного моделирования составного ЧВС с ПРС.

При проведении исследований использована двухлучевая модель канала связи с рэлеевскими замираниями и аддитивным белым гауссовским шумом, то есть в случае идеальной синхронизации сигнала, при отсутствии неопределенности по задержке [5, 6], а также без использования методов компенсации межсимвольной интерференции [7] и алгоритмов снижения пик-фактора [8].

При использовании М-последовательностей [9, 10] в качестве ПСП малый объем алфавита не позволяет получить большие скорости передачи. Одним из возможных вариантов увеличения скорости передачи является применение ПСП с большим алфавитом. Для этих целей подходят последовательности Голда. В работе рассматривался сигнал с полосой 100 кГц, обеспечивающий скорость передачи 1574 бит/с при использовании последовательностей Голда и М-последовательностей. Кроме того, представлены результаты относительно сигнальной конструкции со скоростью 2755 бит/с при использовании последовательностей Голда. В табл. 1 сведены объемы алфавита для М-последовательностей и последовательностей Голда.

Скорость передачи информации для рассматриваемых сигналов может быть найдена по формуле

$$R = \frac{bF}{2N}, \quad (1)$$

где  $b$  – количество передаваемых бит в 1 дискретно-частотном элементе;  $F$  – полоса сигнала;  $N$  – длина ПСП.