

УДК 623.45(045)

В. И. Заболотских, доктор технических наук, старший научный сотрудник

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Ю. Н. Липченко, кандидат технических наук

В. Г. Романов

Ногинский филиал ОАО «НПО «Прибор»

Р. Р. Шарипов, аспирант

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПЫТАНИИ МАЛОКАЛИБЕРНЫХ БОЕПРИПАСОВ

*Рассмотрен процесс выстрела и регистрации баллистического времени и скорости снаряда, оптической регистрации элементов и снаряжения снаряда. Представлен метод помехоустойчивой регистрации измерительной информации и состав аппаратуры для ее регистрации. Рассмотрена природа помех, влияющих на достоверность регистрируемой информации, а также рекомендации для их устранения.*

**Ключевые слова:** помехоустойчивая регистрация, методика измерения, боеприпасы.

Основные виды испытаний малокалиберных боеприпасов (МКБ) – оценка стойкости снаряжения, баллистические испытания, испытания прочности крепления элементов снаряда, надежность и безопасность функционирования – выполняются в натуральных условиях, т. е. в процессе стрельбы. Как правило, такие испытания проводятся в условиях закрытых баллистических трасс или же в условиях полигона.

Выстрел из орудия – сложный термодинамический и газодинамический процесс очень быстрого, почти мгновенного, превращения химической энергии пороха сначала в тепловую, а затем в кинетическую энергию пороховых газов, приводящих в движение снаряд, ствол и лафет. Это процесс очень высоких параметров динамической нагрузки: длительность выстрела – тысячные и сотые доли секунды; наибольшие давления достигают 3000...4000 кг/см<sup>2</sup>; температура газов достигает 2500...3500 К в момент их образования и 1500...2000 К к моменту вылета снаряда; максимальная скорость снаряда при вылете из ствола более 700...1000 м/с, а наибольшее ускорение его (перегрузка) составляет 15 000...20 000 g [1].

При этом время наблюдения  $T_{\text{наб}}$  исследуемого процесса (от запуска регистраторов в режим наблюдения и команды «Выстрел» до завершения процесса) может достигать нескольких десятков секунд при времени реализации процесса выстрела 10...30 мс. Таким образом, время наблюдения превышает в 500...1000 раз продолжительность регистрации измерительной информации. Под информацией здесь понимается как измерительная информация в виде электрических сигналов с датчиков, так и оптическая информация (фотографии и видеоклипы в электронном виде) [2].

При решении задачи регистрации кратковременного динамического процесса на длительном интервале наблюдения возникает проблема обеспечения синхронизации запуска регистрирующих средств (РС), заключающаяся в определении момента времени запуска этих средств в режим регистрации и определяемая следующими условиями [3, 4]:

– весьма значительное соотношение длительностей интервала наблюдения и времени реализации исследуемого процесса делает нецелесообразным регистрацию информации на всем интервале наблюдения;

– большая длительность интервала наблюдения определяет нецелесообразность цифровой регистрации измерительной информации, в соответствии с теоремой отсчетов, на всем интервале наблюдения ввиду ограниченности времени регистрации для существующих цифровых средств;

– случайный характер момента начала реализации процесса на интервале наблюдения ограничивает применение способов внешней и внутренней временной (таймерной) синхронизации и определяет необходимость запуска по идентификации (обнаружению) начала процесса;

– наличие мешающих факторов (помех, наводок и т. д.) осложняет обнаружение начала исследуемого процесса при его регистрации, что требует применения помехоустойчивых способов его обнаружения.

На рис. 1 приведена временная диаграмма протекания процессов, регистрируемых при испытании МКБ, где введены следующие обозначения временных параметров:

•  $t_{\text{н}}$ ,  $t_{\text{к}}$  – моменты времени начала и конца наблюдений. Время наблюдения процесса определяется следующим образом:

$$T_{\text{наб}} = t_{\text{к}} - t_{\text{н}};$$

•  $t_{\text{в}}$  – момент времени соответствующий команде руководителя испытаний «Выстрел». По этой команде испытатель (стрелок) дистанционно производит спуск затвора. Промежуток времени от запуска регистрирующей аппаратуры до накола капсуля (инициирования выстрела) – величина случайная и может достигать нескольких десятков секунд;

•  $t_{\text{нак}}$ ,  $t_{\text{р}}$ ,  $t_{\text{вых}}$  – соответственно моменты времени накола капсуля, начала регистрации давления в зарядной камере и выхода снаряда из ствола. Баллистическое время выстрела  $\tau_{\text{б.в.у}}$  определяется следующим образом:

$$\tau_{б.в.у} = t_{\text{вых}} - t_{\text{нак}}$$

• момент времени  $t_{\text{нак}}$  можно считать началом процесса измерений. При этом  $\tau_{б.в.у}$  также является случайной величиной. Существуют эксперименты, в которых  $\tau_{б.в.у}$  достигает значений от нескольких десятков до нескольких сотен миллисекунд из-за задержек выстрела. Поэтому использовать сигнал, связанный с датчиком момента накола, в качестве внешнего запуска для всех процессов регистрации нецелесообразно. Время регистрации давления  $T_p = t_{\text{вых}} - t_p$  не превышает 3–5 мс;

•  $t_{\text{вс}}$  – момент времени подлета снаряда к зоне видеосъемки, фиксируется при пролете через блокирующую плоскость  $B_{\text{вс}}$ ;

•  $t_1, t_4$  – моменты времени пролета через блокирующие плоскости  $B_1, B_4$ .

Расстояния между блокирующими плоскостями фиксированы: между блокирующими плоскостями  $B_1$  и  $B_4$  равняется  $L_B$ , соответственно, между  $B_2$  и  $B_3 - L_M$ .

Скорость снаряда определяется по формулам:

$$V_1 = \frac{L_B}{t_4 - t_1}; V_2 = \frac{L_M}{t_3 - t_2}; V_{\text{ср}} = \frac{V_1 + V_2}{2}.$$

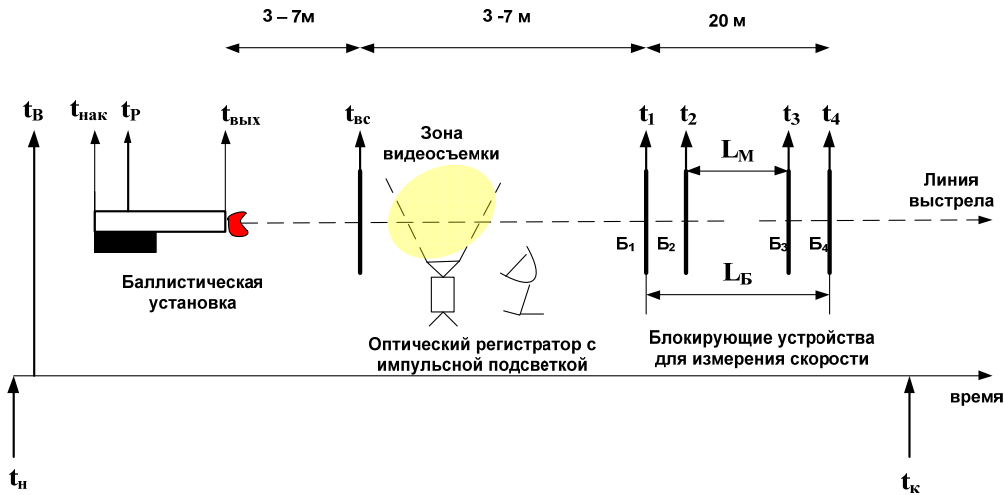


Рис. 1. Временная диаграмма реализации процессов, регистрируемых при испытании МКБ

Процесс измерений заканчивается в момент времени  $t_4$ . При скорости снаряда, равной 1000 м/с, время пролета от среза ствола до конечной блокирующей плоскости  $B_4$  составит не более 30 мс.

В рассмотренных условиях при регистрации измерительной информации в виде электрических сигналов с датчиков (например, давление в стволе, скорость МКБ) наиболее целесообразным типом запуска является запуск по идентификации начала регистрируемого процесса.

Как правило, в выпускаемых серийно автоматизированных регистраторах, на базе которых создаются измерительные комплексы, реализуется аппаратно-программный режим запуска. В качестве признака, идентифицирующего начало процесса измерения, используется достижение сигналом определенного уровня напряжения. Буферная память реализована в виде кольца [5]. В частности, такой режим реализован в автоматизированном регистраторе ЦЗО-06 (производство ЗАО «Руднев-Шилиев») и автоматизированной станции измерения давления «Нейва-10000» (производство ФКП «НТИИМ», г. Нижний Тагил). На базе регистратора ЦЗО-06 разработана автоматизированная система измерения баллистического времени выстрела [6]. Уровень напряжения запуска в таких системах должен превышать уровень амплитуды помех.

Сигнальное отображение изменения физической величины  $A_i(t)$  может содержать полезную состав-

ляющую  $Cy_i(t)$  ( $C = \text{const}$ ,  $y_i(t) = \{y_i\}_1^n$  и помеху  $p(t)$ , иногда сопоставимую по амплитуде с полезной составляющей:

$$A_i(t) = Cy_i(t) \cup p(t).$$

Помехоустойчивый алгоритм запуска процесса регистрации на основе идентификации измерительного сигнала может использовать критерии наличия первой положительной волны сигнала, определенной длительности и заданной интегральной суммы этой волны (см. рис. 2) [7]. Алгоритм работает следующим образом. Происходит измерение и анализ входного сигнала и заполнение памяти цифрового регистратора по принципу кольцевой памяти. При этом для каждого текущего отсчета определяется полярность и для всей цифровой дискретной последовательности  $\{y_i\}_1^n$  вычисляется сумма смежных положительных отсчетов по следующей формуле (см. рис. 2):

$$Z_i = U_i \sum_{k=i-m}^i (X_k), m < n, k \in \{1, n\},$$

где  $m$  – ширина окна анализа;  $U_i$  – признак смежности положительных отсчетов, определяемый следующим образом:

$$U_i = \begin{cases} 1 & \text{при } X_k > 0, \\ 0 & \text{при } X_k \leq 0. \end{cases}$$

Если подсчитанная интегральная величина  $Z_i$  удовлетворяет условию:

$$Z_i \geq mP,$$

где  $P$  выбирается из условия, что произведение  $mP$  должно быть равно ожидаемой минимальной интегральной сумме положительной волны полезного сигнала или его фрагмента, то сигнал регистрируется.

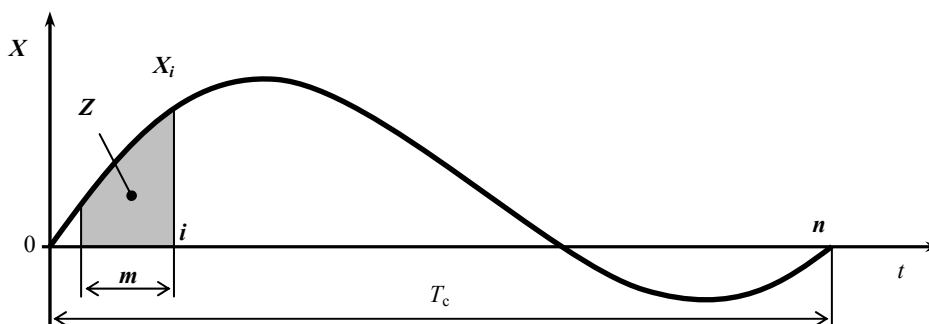


Рис. 2. Опознавание сигнала окном анализа

Для измерения скорости снаряда в ОАО «НПО «Прибор» разработано автоматизированное рабочее место АРМ «Баллистика». АРМ «Баллистика» реализовано на базе внешнего модуля АЦП «Е14-440» (производство ЗАО «Л-КАРД») и программного комплекса АСTest, разработанного ООО «Лаборатория автоматизированных систем (АС)». В отличие от вышеназванных автоматизированных регистраторов, в АРМ «Баллистика» применяется режим «самописца». Процесс преобразования сигнала в цифровой вид и запись в память идет в течение всего времени наблюдения. В оперативной памяти организованы две буферные зоны. Сначала идет накопление информации в первой зоне и программно определяется начало момента измерений – появление импульса от блокирующего устройства. Затем этот процесс переносится во вторую зону, при этом из первой зоны информация переписывается на жесткий диск.

При реализации помехоустойчивой регистрации необходимо тщательно анализировать природу помех. Анализ схем регистрации информации при проведении испытаний МКБ показал, что помехи можно классифицировать следующим образом:

1) помехи электромагнитной природы от промышленных и природных систем (работа сварочных аппаратов, включение и выключение электродвигателей, молнии и т. п.), имеющие случайный характер;

2) помехи, имеющие сильную корреляцию с регистрируемым процессом, например электромагнитный импульс при выстреле; помехи, обусловленные трибозффектом и пьезоэффектом измерительных кабелей связи;

3) помехи от явлений, сопровождающих выстрел (световая вспышка), или же помехи от работы оптического регистратора с импульсной подсветкой для регистрации видеoinформации могут создавать серьезные проблемы для измерения других параметров, например, для измерения скорости пролета МКБ световыми блокирующими плоскостями Б1...Б4.

В первом случае уровень помех можно снизить за счет правильного выбора типа измерительных линий, согласования входов и выходов устройств, вхо-

дящих в схему регистрации, и применения различных схем фильтрации (аппаратных и программных).

Во втором случае запуск процесса регистрации может произойти от помехи, однако при обработке полученных измерительных сигналов в режиме диалога («вручную») можно всегда определить начало измеряемого процесса.

В третьем случае пламя, появляющееся при выходе снаряда из ствола, импульсное освещение зоны скоростной видео- или фотосъемки могут привести к преждевременному запуску фотоэлектронных блокирующих устройств, применяемых для измерения скорости МКБ. Помехозащищенность в этом случае обеспечивается выработкой блокирующих сигналов от мешающих источников света, временно запрещающих работу фотоэлектронных устройств для измерения скорости МКБ.

Таким образом, анализ временной диаграммы протекания процессов, регистрируемых при испытании малокалиберных боеприпасов, выявил три вида экспериментальных исследований:

- измерение баллистического времени выстрела [8];
- измерение скорости снаряда [9];
- регистрация видеoinформации, для качественной оценки поведения изделий на начальном участке траектории, процессов разделения элементов снарядов, процессов нутации, встречи с преградой и подрывов зарядов [10].

Поэтому каждый вид экспериментальных исследований требует выполнения специфических условий для реализации помехоустойчивой регистрации при проведении экспериментов, при этом не всегда обеспечивается одновременная регистрация всех видов информации.

#### Библиографические ссылки

1. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. – М. : Оборонгиз, 1962. – 705 с.
2. Котляревский В. А., Аверченко А. М., Заболотских В. И. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособие / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – В 5 кн. Кн. 5. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2001. – С. 122–136.

3. Липченко Ю. Н., Романов В. Г., Шарипов Р. Р., Заболотских В. И. Методы помехоустойчивой синхронизации процессов регистрации информации при проведении испытаний малокалиберных боеприпасов // Приборостроение в XXI веке – 2012. Интеграция науки, образования и производства : материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, посвященной 60-летию ИжГТУ имени М. Т.Калашникова (Ижевск, 14–16 ноября 2012 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 161–165.

4. Алексеев В. А., Заболотских В. И. Автоматизация регистрации и обработки измерительной информации при испытании техники на ударное воздействие: монография. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2006. – 184 с.

5. Липченко Ю. Н., Романов В. Г., Шарипов Р. Р., Заболотских В. И. Методы помехоустойчивой синхронизации процессов регистрации информации при проведении испытаний малокалиберных боеприпасов // Приборостроение в XXI веке – 2012. Интеграция науки, образования и производства : материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, посвященной 60-летию ИжГТУ имени М. Т.Калашникова (Ижевск, 14–16 ноября 2012 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 161–165.

6. Липченко Ю. Н., Романов В. Г., Шарипов Р. Р., Зелинский А. Н. Автоматизированный комплекс измерений баллистического времени удара // Вопросы оборонной техники. – 2012. Сер. 14, вып. 2. – С. 178–181.

7. Алексеев В. А., Заболотских В. И. Помехоустойчивая синхронизация цифровых средств регистрации параметров скоротечных процессов // Датчики и системы. – 2001. – № 11. – С. 2–6.

8. Липченко Ю. Н., Романов В. Г., Шарипов Р. Р., Зелинский А. Н. Автоматизированный комплекс измерений баллистического времени удара // Вопросы оборонной техники. – 2012. Сер. 14, вып. 2. – С. 178–181.

9. Липченко Ю. Н., Шарипов Р. Р., Заболотских В. И. Автоматизированное рабочее место для измерения скорости и распределения поражающих элементов боеприпасов по направлениям разлета // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2. – С. 35–39.

10. Липченко Ю. Н., Цымбалов Г. В., Шарипов Р. Р., Заболотских В. И. Автоматизированный комплекс регистрации видеоинформации при проведении испытаний малокалиберных боеприпасов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 69–73.

\*\*\*

Zabolotskikh V. I., DSc in Engineering, Senior Research Worker, Kalashnikov ISTU

Lipchenko Yu. N., PhD in Engineering, Deputy CEO, CEO of Noginsk Department of PC “SPA” Pribor”

Romanov V. G., Deputy Director on Testing Department of Noginsk Department of PC “SPA” Pribor”.

Sharipov R. R., Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Deputy head of control and test station of Noginsk Department of PC “SPA” Pribor”

#### **Method and apparatus of noise immunity registration of information during small-caliber ammunition test**

*The process of shots and recording the time and speed of a ballistic missile, optical recording the elements and the shell equipment are reconsidered. A method of noise immunity registration of measuring information, and composition of the equipment for its registration are given. The nature of the noise affecting the accuracy of the recorded data is considered, and recommendations for their elimination are presented.*

**Keywords:** noise immunity registration, measurement technique, ammunition.

Получено: 22.09.15