

Стенд для испытаний на стойкость к перегрузкам

© К.И. Евланов¹, В.А. Токарев², В.А. Борисенко¹,
В.А. Брагунец², Д.И. Баклашов², В.Г. Симаков^{1,2},
А.В. Крюков², А.А. Седов², Е.Е. Шестаков^{1,2}

¹Саровский физико-технический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
Саров, Нижегородская обл., 607186, Россия

²Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-
исследовательский институт экспериментальной физики
(РФЯЦ-ВНИИЭФ), Саров, Нижегородская обл., 607188, Россия

Для испытаний приборов и устройств электроники на стойкость к перегрузкам используется лабораторный стенд на основе легкогазовой пушки калибром 38 мм (рабочий газ — гелий). Стенд обеспечивает формирование импульсов перегрузок в широком диапазоне амплитуд и полуширин при торможении снаряда-контейнера с исследуемыми объектами о крешер специальной конструкции. Для определения перемещения снаряда как функции времени используется радиоинтерферометр с длиной волны 3,2 мм. Расчет перемещения проводится по зарегистрированной интерферограмме, зависимости скорости и ускорения от времени определяются дифференцированием. Приведены результаты испытаний источников питания и электронных сборок на стойкость к перегрузкам с максимальной амплитудой 45 000g и 70 000g при полуширине импульса 0,8 мс и 0,7 мс соответственно.

Ключевые слова: стенд, испытания, источники тока, электронные сборки, перегрузка, стойкость

Введение. Повышение эффективности артиллерийского, гранатометного, минометного и реактивного выстрелов — одно из приоритетных направлений в развитии вооружения. Решение этой задачи предполагает проведение работ по нескольким направлениям, в том числе по повышению эффективности самих боеприпасов.

Эффективность боеприпаса определяется многими факторами, в частности, взрывательным устройством (ВУ) — элементом, входящим в состав всех артиллерийских, гранатометных, минометных и реактивных снарядов и определяющим своевременность их срабатывания. В связи с этим, разработка новых и модернизация существующих ВУ является важной составляющей по повышению эффективности осколочно-фугасных и кумулятивных боеприпасов [1–3].

Работа разрабатываемых до недавнего времени ВУ основывалась, как правило, на механических принципах. Артиллерийские боеприпасы традиционно оснащались ВУ четырех типов: ударными, удар-

ными с замедлением, дистанционными и неконтактными. В настоящее время во всех указанных типах взрывателей электронные блоки постепенно вытесняют механические узлы, обеспечивая возможность объединить все четыре вида срабатывания в одном многофункциональном устройстве [2, 3].

Постоянно возрастающие требования к точности срабатывания ВУ, в сочетании с предельно минимальным временем на обработку информации, значительными динамическими нагрузками, малыми габаритами и ограниченными ресурсами бортовых источников питания обуславливают поиск новых научно-технических путей и способов их реализации. В последнее время наибольший приоритет получило развитие электронных ВУ с использованием новейшей элементной базы микроэлектроники для существенного улучшения тактико-технических характеристик ВУ и, соответственно, боеприпасов [2, 3].

В современных условиях, для повышения конкурентоспособности разрабатываемых ВУ нужно не только оптимизировать стоимость их разработки и изготовления, но и повышать надежность работы ВУ. Для этого необходимо:

- создавать новые образцы ВУ на основе серийно производимых унифицированных модулей с использованием БИС и СБИС;
- разрабатывать методы оценки партии ВУ по показателям надежности в процессе серийного производства и после длительного хранения, существенно сокращающие затраты на проведение испытаний.

Замена механических подсистем электронными блоками влечет за собой необходимость снабжения ВУ надежным источником электропитания. Этот источник должен сохранять свои свойства в течение десяти лет и более, а затем обеспечить ВУ электроэнергией после того, как подвергнется ударным нагрузкам при выстреле. Для проведения успешных разработок ВУ необходимы данные по стойкости элементной базы и его электронных узлов к перегрузкам. Цель настоящей работы — создать лабораторный стенд для моделирования нагрузок, действующих на ВУ при выстреле.

Постановка задачи. Для определения требуемых характеристик стенда был проведен анализ внутренней баллистики артиллерийского выстрела с «жестким» режимом разгона снаряда [4]. На основе известных зависимостей давления газов и скорости снаряда в стволе от пути [4] оценены параметры импульса перегрузок: максимальное ускорение $a_m \approx 60\ 000g$, полуширина $\tau_{1/2} \approx 0,5$ мс. На базе этих данных и сведений из литературы [3] сформированы технические требования к стенду: стенд должен обеспечивать импульсный режим ускорения контейнера с исследуемыми объектами со следующими харак-

теристиками импульса: максимальная амплитуда до 60 000g, полуширина до 0,5 мс.

Описание стенда. В состав стенда (рис. 1) входят легкогазовая пушка, снаряд-контейнер с емкостями для размещения исследуемых объектов, крешер, радиоинтерферометр, осциллографический комплекс.

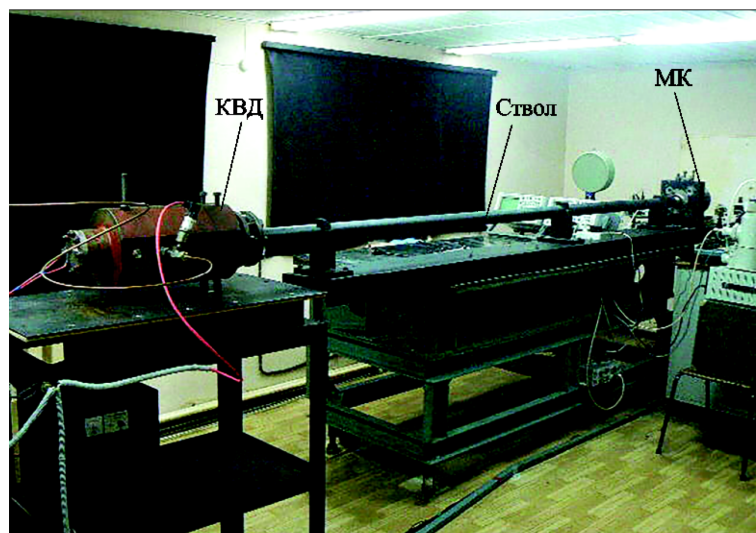


Рис. 1. Стенд

Легкогазовая пушка (рабочий газ — гелий) состоит из камеры высокого давления (КВД), ствола и мишенной камеры (МК). Калибр ствола 38 мм, длина — 3,2 м. Габаритные размеры КВД 300×450 мм (внутренний объем 2,5 л), МК 250×250 мм. КВД отделена от ствола мембраной, которая разрушается принудительно. Максимально возможное давление в камере составляет 150 атм. Ствол и МК перед опытом вакуумируют.

Фото снаряда-контейнера приведено на рис. 2. Снаряд изготовлен из полиэтилена, носовая часть закрыта колпачком из алюминия. Для придания снаряду прочности в него вставлен алюминиевый цилиндр, в котором размещают исследуемые объекты. Снаряд имеет следующие размеры: внешний диаметр 36,6 мм, длина 55 мм, сечение отсека для исследуемых объектов размерами 31×37 мм.



Рис. 2. Снаряд-контейнер

Для определения перемещения снаряда $x(t)$ служит радиоинтерферометр с длиной волны 3,2 мм. Перемещение от времени рассчитывают по экспериментальной интерферограмме, а зависимость скорости $v(t)$ и ускорения $a(t)$ от времени — дифференцированием $x(t)$.

Была проведена отработка способов ускорения контейнера с исследуемыми объектами на стадиях разгона и торможения. Измерение скорости снаряда на стадии разгона, зависимость которой от времени приведена на рис. 3, показало, что нарастание скорости происходит плавно, максимальные перегрузки не превышают 5 000g и, следовательно, недостаточны для проведения испытаний в большинстве случаев.

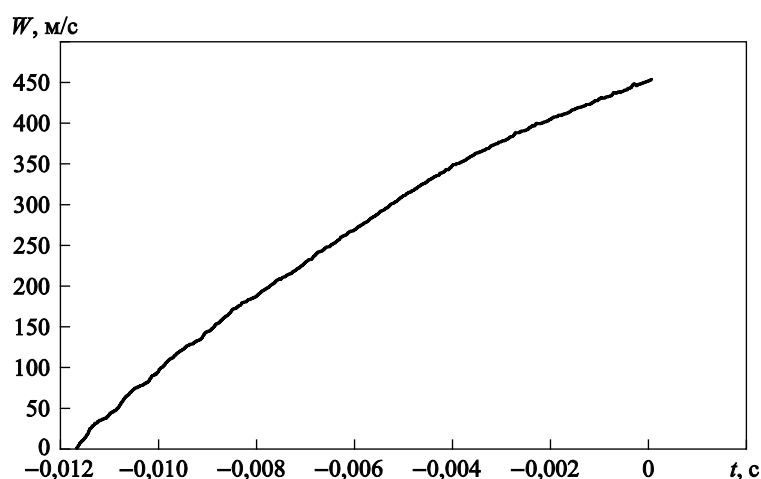


Рис. 3. Зависимость скорости снаряда от времени

С использованием стадии торможения снаряда опробованы три способа достижения требуемых ускорений:

- 1) ускорение контейнера с образцами через крешерную систему;
- 2) торможение снаряда-контейнера о сплошную преграду из низкоплотного материала;
- 3) торможение снаряда-контейнера о крешер, в конструкции которого предусмотрено отверстие с диаметром меньшим, чем диаметр снаряда.

Результаты компьютерного моделирования и экспериментов показали, что использование каждого из перечисленных методов позволяет получить значительные ускорения, однако сформировать импульс ускорений с требуемыми амплитудно-временными характеристиками можно только третьим способом. Так, результат одного из опытов, проведенных при отработке второго способа с преградой из полиэтилена, приведен на рис. 4.

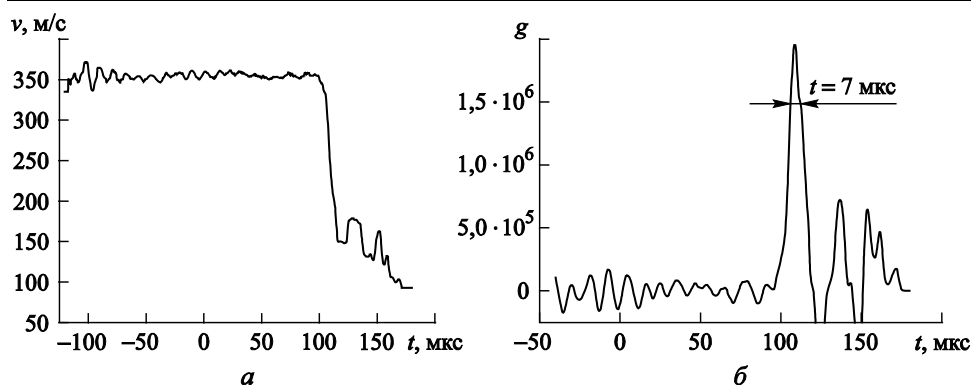


Рис. 4. Зависимость скорости (а) и ускорения (б) снаряда от времени

Максимальное ускорение составило $\sim 2 \cdot 10^6 g$ ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$), полуширина импульса $\tau_{1/2} \approx 15 \text{ мкс}$.

По результатам отработки способов ускорения были сформулированы технические требования к крешеру. В настоящее время используют крешер, показанный на рис. 5.

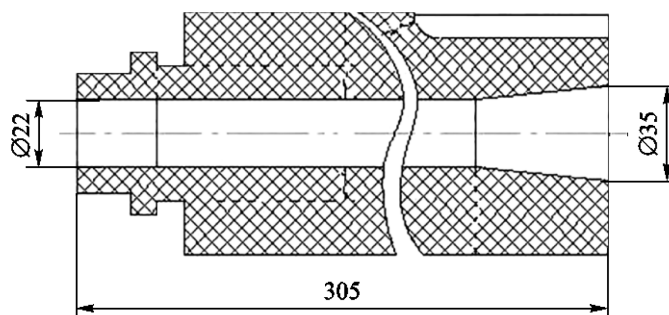


Рис. 5. Эскиз крешера

Эксперименты. Типичные интерферограммы и зависимости $x(t)$, $v(t)$ и $a(t)$ в опыте при финишной скорости снаряда $v \approx 275 \text{ м/с}$ представлены на рис. 6. Измерение финишной скорости дублировалось лазерным измерителем, представляющим собой два параллельных лазерных луча, расстояние между которыми известно. Временная отметка «ноль» во всех экспериментах соответствует времени пересечения снарядом ближнего к крешеру луча измерителя. В опыте (см. рис. 6) максимальная пиковая перегрузка достигла $\sim 45\,000g$ при $\tau_{1/2} \approx 0,8 \text{ мс}$.

В опытах проводили испытания литиевых источников тока и электронных сборок с чип-элементами и микросхемами. После опытов источник тока и печатные платы извлекали из снаряда и тестировали.

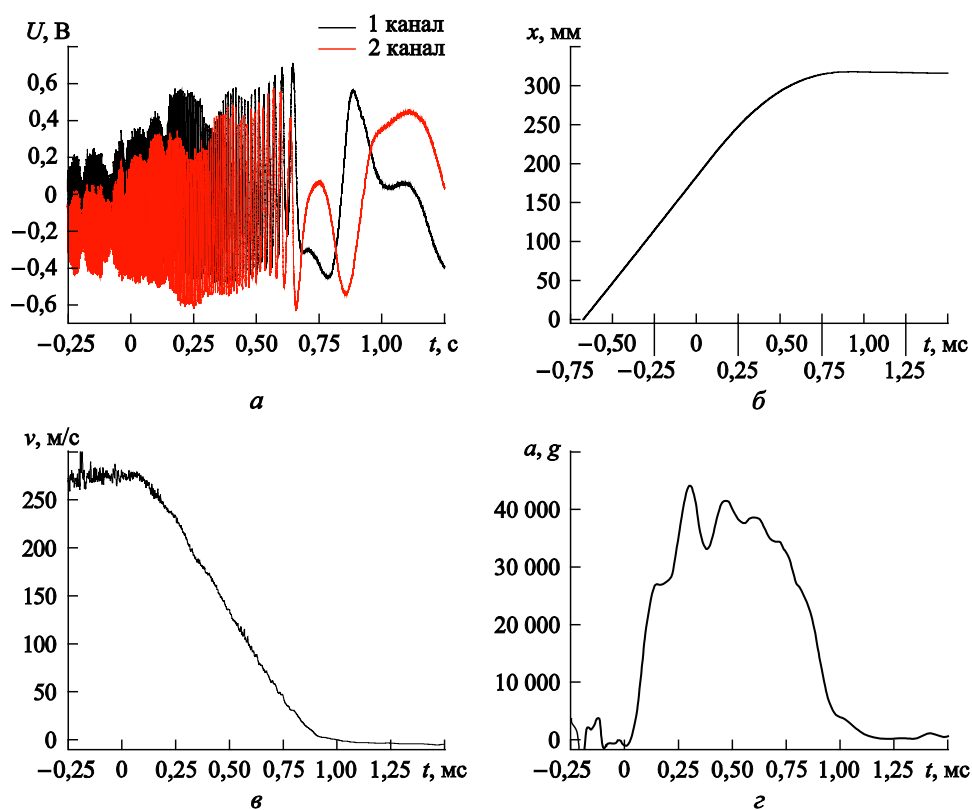


Рис. 6. Интерферограммы (а) и зависимости $x(t)$ (б), $v(t)$ (в) и $a(t)$ (г)

На рис. 7 показан литиевый источник тока до и после испытаний. На рисунке видно, что испытанный источник тока при такой перегрузке немного деформировался. Однако проверка показала, что несмотря на незначительную деформацию он сохранил свою работоспособность.

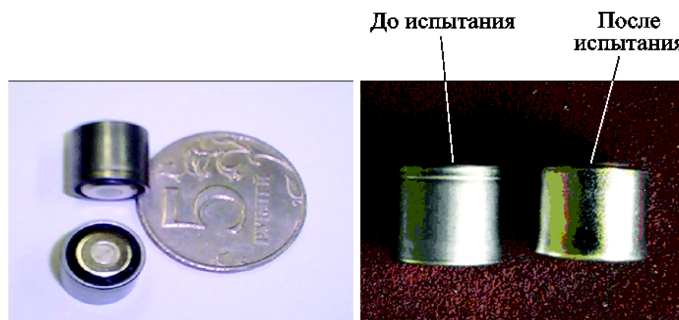


Рис. 7. Литиевые источники тока

Фотографии электронныхборок до и после испытаний представлены на рис. 8. В опыте одна электроннаяборка была частично залита в контейнере снаряда термопластичной вакуумной замазкой — пицейном, другая — компаундом ЭК-34.

На рис. 8, б видно, что электроннаяборка стала неработоспособной: произошел отрыв микросхемы и конденсатора в той области, в которой заливка отсутствует. Плата в заливке из компаунда ЭК-34 сохранила свою работоспособность.

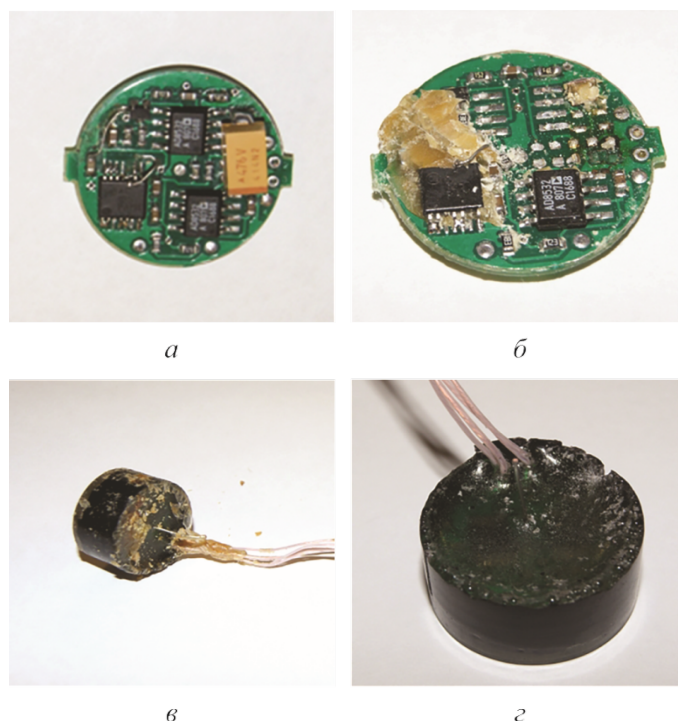


Рис. 8. Электронные сборки до (а, в) и после испытаний (б, г) с заливкой:

а, б — пицейном; в, г — компаундом ЭК-34

Зависимости $v(t)$ и $a(t)$ опыта с финишной скоростью снаряда $v = 375$ м/с приведены на рис. 9. Максимальная пиковая перегрузка в опыте достигла $\sim 70\,000g$, полуширина импульса $\tau_{1/2} \approx 0,7$ мс.

В рассматриваемом опыте исследовали ту же электроннуюборку (см. рис. 8, а), но с заливкой компаундом марки КПТД-1/1Т-5.5. Состояние сборки после опыта ($v = 375$ м/с) показано на рис. 10. Согласно рисунку, электроннаяборка при такой перегрузке полностью разрушилась.

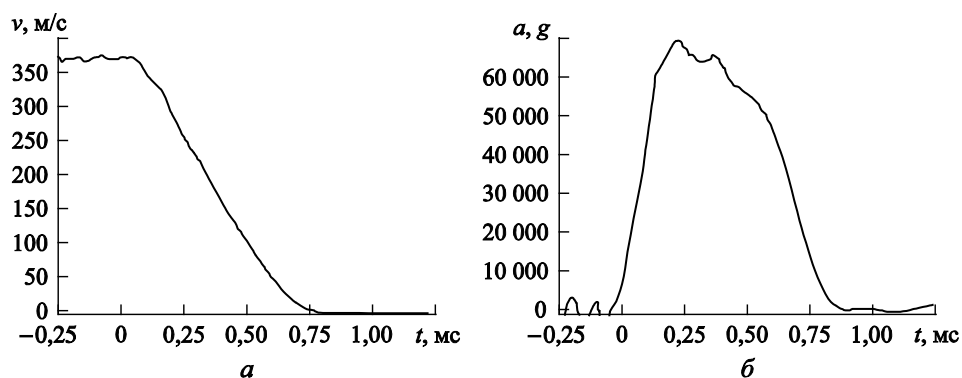


Рис. 9. Зависимости скорости v (а) и ускорения a (б) от времени t



Рис. 10. Фотография электронной сборки после испытаний

Выводы.

1. Создан стенд для испытаний изделий и материалов на стойкость к перегрузкам в широком диапазоне режимов нагружения. В данной работе на стенде сформированы импульсы перегрузок с максимальными амплитудами 45 000g и 70 000g и полуширинами 0,8 мс и 0,7 мс соответственно. Другие режимы нагружения могут быть получены за счет изменения скорости снаряда-контейнера и(или) конструкции крешера.

2. Проведены испытания источников тока и электронных сборок с чип-элементами и микросхемами на перегрузки до 70 000g. Показано, что литиевые источники тока сохраняют работоспособность при воздействии импульса перегрузок с максимальной амплитудой 45 000g и полушириной $\tau_{1/2} \approx 0,8$ мс. При таких же условиях нагру-

жения у электронной сборки без заливки происходит отрыв некоторых элементов, электронная сборка в заливке из эпоксидного компаунда сохраняет целостность и работоспособность. При более высоком уровне нагружения ($a_m = 70\,000g$ и $\tau_{1/2} \approx 0,7$ мс) печатная плата в заливке из компаунда КПТД-1/1Т-5.5 полностью разрушается.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Козлов В.И. Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 79 с.
- [2] Меркулова И.И., Козлов В.И. Тенденции и перспективы развития взрывательных устройств боеприпасов. *Инженерный вестник*, 2014, № 10, с. 633–640.
- [3] Коленкин А.В., Гогин В.В., Стецкевич А.Д. Состояние и направления разработок многофункциональных взрывательных устройств за рубежом. *Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы*, 2016, вып. 2, с. 1–16.
- [4] Горовой С.А. Физические основы функционирования стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия. Новосибирск, СГГА, 2007, 140 с.

Статья поступила в редакцию 15.03.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Евланов К.И., Токарев В.А., Борисенко В.А., Брагунец В.А., Баклашов Д.И., Симаков В.Г., Крюков А.В., Седов А.А., Шестаков Е.Е. Стенд для испытаний на стойкость к перегрузкам. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 5.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-5-1875>

Евланов Константин Игоревич — старший преподаватель кафедры «Технология специального машиностроения» СарФТИ НИЯУ МИФИ.
e-mail: kievlanov@mephi.ru

Токарев Владимир Анатольевич — д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Автор более 30 научных работ в области лазерной и радиационной физики. e-mail: tokarev.vl@mail.ru

Борисенко Валерий Аркадьевич — д-р физ.-мат. наук, заместитель руководителя СарФТИ НИЯУ МИФИ по научной работе. Автор более 60 научных работ в области ударных волн, динамической прочности материалов и радиационной физике. e-mail: vaborisenok@mephi.ru

Брагунец Вячеслав Алексеевич — начальник группы ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Автор более 20 научных работ в области ударных волн, динамической прочности материалов. e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Баклашов Дмитрий Иванович — ведущий инженер-исследователь ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

К.И. Евланов, В.А. Токарев, В.А. Борисенок, В.А. Брагунец, Д.И. Баклашов и др.

Симаков Владимир Геннадиевич — канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Автор более 25 научных работ в области ударных волн, динамической прочности материалов. e-mail: vgsimakov@hotmail.com

Крюков Андрей Владимирович — ведущий инженер-исследователь ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Седов Александр Анатольевич — начальник лаборатории ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Автор более 10 научных работ в области радиоинтерферометрии. e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Шестаков Евгений Евгеньевич — мл. науч. сотр. ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Автор научной работы в области физики ударных волн. e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Bench for overload endurance test

© K.I. Evlanov¹, V.A. Tokarev², V.A. Borisenok¹,
V.A. Bragunets², D.I. Baklashov², V.G. Simakov^{1,2},
A.V. Kryukov², A.A. Sedov², E.E. Shestakov^{1,2}

¹Sarov State Physics and Technical Institute – Branch of the National Research Nuclear University MEPhI, Sarov, Nizhny Novgorod region, 607186, Russia

²The Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF), Sarov, Nizhny Novgorod region, 607188, Russia

A laboratory bench based on a 38 mm light gas gun (working gas — helium) is used for overload endurance test of electronic devices. The stand provides the formation of overload pulse in a wide range of amplitudes and half widths when a projectile container with the objects under study decelerates at the cracker of a special design. A radio interferometer with a wavelength of 3.2 mm is used for determination of the projectile movement as a function of time. The calculation of displacement is carried out according to the registered interferogram, the speed and acceleration dependences on time are determined by differentiation. The results of overload endurance test of power supplies and electronic assemblies with maximum amplitude of 45,000g and 70,000g with a pulse half width of 0.8 ms and 0.7 ms, respectively, are presented.

Keywords: bench, tests, current power supply, electronic assemblies, overload, endurance

REFERENCES

- [1] Kozlov V.I. *Osobennosti konstruksiy vzryvatelykh ustroystv k boepripasam stvolnoy artillerii i raketnym snaryadam* [Design features of firing assemblies for barreled ammunition and rocket projectiles]. Moscow, BMSTU Publ., 2012, 79 p.
- [2] Merkulova I.I., Kozlov V.I. *Inzhenernyy vestnik MGTU imeni N.E. Baumana — Engineering Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University*, 2014, no. 10, pp. 633–640.
- [3] Kolenkin A.V., Gogin V.V. Stetskevich A.D. *Boyepripasy i vysokoenergeticheskie kondensirovannye sistemy (Ammunition and high-energy condensed systems)*, 2016, no. 2, pp. 1–16.
- [4] Gorovoy S.A. *Fizicheskie osnovy funktsionirovaniya strelkovo-pushechnogo, artilleriyskogo i raketnogo oruzhiya* [Principal physics of functioning aircraft-gun, artillery and rocket weapons]. Novosibirsk, Siberian State Academy of Geodesy Publ., 2006, 140 p.

Evlanov K.I., Senior Lecturer, Department of Technology of Special Mechanical Engineering, Sarov State Physics and Technical Institute — Branch of the National Research Nuclear University MEPhI. e-mail: kievlanov@mephi.ru

Tokarev V.A., Dr. Sc. (Phys.-Mat.), Chief Research Scientist, The Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF), author of over 30 research publications in the field of laser and radiation physics. e-mail: tokarev.vl@mail.ru

Borisenok V.A., Dr. Sc. (Phys.-Mat.), Chief Scientific Officer, Sarov State Physics and Technical Institute — Branch of the National Research Nuclear University MEPhI; author of over 60 research publications in the field of shock waves, the dynamic strength of materials and radiation physics. e-mail: vaborisenok@mephi.ru

Bragunets V.A., Head of the Group, The Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF); author of over 20 research publications in the field of shock waves, the dynamic strength of materials. e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Baklashov D.I., Leading Research Engineer, The Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF). e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Simakov V.G., Cand. Sc. (Phys.-Mat.), Leading Researcher, The Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF); author of over 25 research publications in the field of shock waves, the dynamic strength of materials. e-mail: vgsimakov@hotmail.com

Kryukov A.V., Leading Research Engineer, The Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF).

Sedov A.A., Head of the Laboratory, The Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF); author of over 10 research publications in the field of radio interferometry. e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

Shestakov E.E., Research Assistant, The Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF); author of the research publication in the field of shock wave physics. e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru