

РЕГИСТРАЦИЯ ПЕРЕГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

*А. В. Цветков¹, В. А. Токарев¹, В. А. Борисенко², В. А. Брагунец¹, Д. И. Баклашов¹,
В. Г. Симаков^{1,2}, А. В. Крюков¹, А. А. Седов¹, А. В. Родионов¹, Е. Е. Шестаков^{1,2}*

¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

²СарФТИ НИЯУ «МИФИ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Эффективность боеприпаса определяется многими факторами, одним из основных является эффективность работы взрывного устройства (ВУ) – элемента, входящего в состав всех артиллерийских и реактивных снарядов и определяющего 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 ВУ, разрабатываемых до недавнего времени, основывалась, как правило, на механических принципах. Однако всевозрастающие требования к точности срабатывания ВУ, в сочетании с предельно минимальным временем на обработку информации, значительными динамическими нагрузками и малыми габаритами, обуславливают поиск новых научно-технических путей и принципов их построения. В последнее время наибольший приоритет получило развитие электронных ВУ с использованием новейшей элементной базы микроэлектроники с целью существенно повысить тактико-технические характеристики ВУ и, соответственно, боеприпасов [2, 3].

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 успешного проведения разработки ВУ необходимы также данные по стойкости элементной базы и его электронных узлов к перегрузкам. Цель настоящей работы – отработать метод регистрации перегрузок с использованием микроволновой диагностики на имеющемся лабораторном комплексе [4].

Описание комплекса

Для создания перегрузок использовался лабораторный комплекс [4], расположенный в СарФТИ. В состав комплекса входят: легкогазовая пушка, ла-

зерный измеритель скорости метаемого объекта, система управлением выстрела и регистрации. Фотография комплекса представлена на рис.1.

Легкогазовая пушка (рабочий газ – гелий) состоит из камеры высокого давления (КВД), ствола и мишенной камеры (МК). Стволы сменные, калибры – 37мм и 40 мм, длина – 3,2 м. Размеры КВД Ø300x450мм (внутренний объем 2,5 л), МК Ø250x250мм. КВД отделена от ствола мембраной. Разрушение мембраны принудительное с помощью электромагнитного устройства. Максимально возможное давление в камере - 150 атм. Ствол и МК перед опытом вакуумируются.

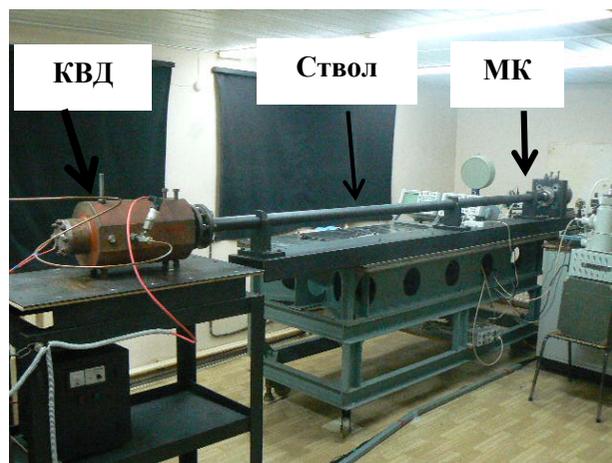


Рис. 1. Фотография комплекса

Метод регистрации перегрузок

Для регистрации параметров перегрузок выбрана микроволновая диагностика [5] (радиоинтерферометр) с длиной волны зондирующего излучения 3,2 мм.

Наиболее важным достоинством метода является прозрачность диэлектрических материалов для миллиметрового диапазона длин волн, что позволяет проводить измерения характеристик движения снаряда через заглушку на выходном торце мишенной камеры (см. рис. 2). При этом характерные размеры шероховатостей, отражающих микроволновое излучение, таких как шероховатость поверхностей удар-

ников, значительно меньше длины волны излучения. Такие поверхности для микроволнового излучения являются практически гладкими.

Микроволновой метод является невозмущающим и дистанционным, поскольку в зону зондирования не вносятся какие-либо датчики, волокно и др., а зондирование возможно в достаточно протяженных объектах (стволе). Высокая чувствительность микроволнового метода к движению различных границ раздела, возможность проведения исследований в оптически-непрозрачных средах, а также непрерывность получаемых данных предоставляют широкие возможности в экспериментальных исследованиях.

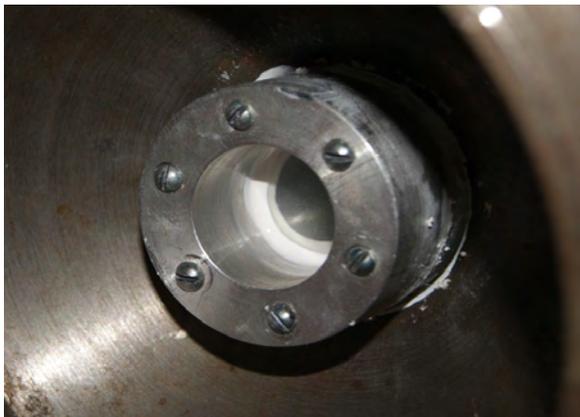


Рис. 2. Выходной торец мишенной камеры с заглушкой

Оценка границ применимости микроволновой диагностики

Для того чтобы обеспечить возможность расчета ускорения движения объекта по данным радиointерферометра, необходимо обеспечить наличие в экспериментальных результатах хотя бы минимального массива некоррелированных данных о скорости объекта. Дело в том, что для минимизации систематических погрешностей при расчете $V-t$ диаграммы, дифференцирование $X-t$ диаграммы осуществляется методом скользящей секущей, адаптируемой к интервалу перемещения в половину длины волны зондирующего излучения. Поэтому соседние отсчеты данных о скорости, удаленные друг от друга по перемещению менее чем на половину длины волны, являются коррелированными друг с другом. Следовательно, для определения перегрузки перемещение объекта за время её действия должно составить не менее двух полуволн или одной полной длины волны.

Если взять одну из известных формул для перемещения объекта, движущегося с постоянным ускорением:

$$x = \frac{W_2^2 - W_1^2}{2a}, \quad (1.1)$$

где W_1 и W_2 – начальная и конечная скорости соответственно, из (1.1), приняв полную остановку $W_2 = 0$ можно выразить:

$$|a| = \frac{W_1^2}{2x}. \quad (1.2)$$

В качестве x следует понимать выше упомянутый интервал минимальной дифференцируемости $V-t$ диаграммы, который равен длине волны, т. е. 3,2 мм. Из формулы можно сделать вывод, что максимальная перегрузка, которую можно рассчитать, будет зависеть не столько от величины перепада скорости, сколько от диапазона скоростей, в котором проводится эксперимент.

Для оценки минимальной длительности перегрузки, которую можно зарегистрировать, используем другую формулу из элементарной механики:

$$x = W_1 t - \frac{at^2}{2}. \quad (1.3)$$

Решив квадратное уравнение (один из корней которого нужно опустить) и подставив в решение значение для перегрузки, получаем:

$$t = \frac{2x}{W_1}. \quad (1.4)$$

Если подставить в формулы значения, близкие к условиям проводимого эксперимента, а именно – торможение объекта с 200 м/с до нулевой скорости, то получим, что максимальная регистрируемая перегрузка составит $6,25 \cdot 10^5 g$, а минимальная длительность – 32 мкс. Следует отметить, что данные значения были получены при минимальном значении x , при котором такие измерения вообще теоретически возможны. На практике же проведение измерений на экстремально малых базах сопряжено со значительными трудностями при обработке и большими погрешностями величин, полученных дифференцированием массива экспериментальных данных, поэтому в реальности следует руководствоваться значением предельной перегрузки ниже и значением предельного времени выше указанного.

Оценка погрешности метода показала, что она, в основном, определяется шумовой составляющей интерферограммы и составляет 2 % для перемещения, 4 % для скорости и 9 % для ускорения.

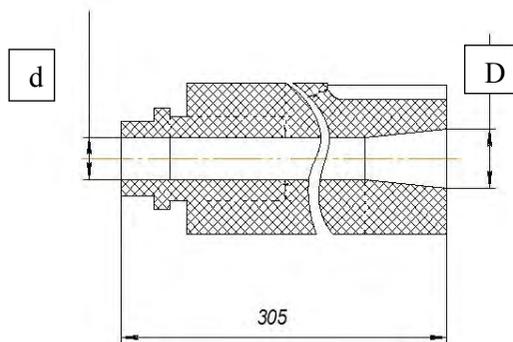
Создание перегрузок

Проведена отработка методов создания нагружающего импульса на контейнере с исследуемыми объектами на стадиях разгона и торможения. Измерение скорости снаряда на стадии разгона показало, что ее нарастание плавное, максимальные перегрузки не превышают 5000 g и, следовательно, недостаточны для достижения поставленной цели. С использованием стадии торможения снаряда опробованы два способа достижения требуемых ускорений.

1. Торможение снаряда-контейнера при взаимодействии со сплошной преградой из низкоплотного материала.

2. Торможение снаряда-контейнера при внедрении в крешерную систему, в конструкции которого предусмотрено отверстие с диаметром меньшим, чем диаметр снаряда.

По результатам проведенных на комплексе экспериментов сформулированы технические требования к крешеру. В настоящее время используется крешер, эскиз (см. рис. 3а) и фото (см. рис. 3б) которого показаны на рис.3. Для ствола калибра 40 мм $D = 40$ мм $d = 25$ мм. Крешер изготовлен из полиэтилена.



а



б

Рис. 3. Крешер: а – эскиз, б – фото

Для исключения поперечного деформирования снаряда на него надевался алюминиевый колпачок в виде усеченного конуса, а также внутри полиэтиленового поддона вставлялся цилиндр из алюминия, фото снаряда-контейнера приведено на рис. 4а. Также такая конструкция колпачка обеспечивает хорошее отражение для микроволнового излучения. Фотографии снаряда до и после торможения о крешер приведены на рис. 4. Основной действующий фактор – сила в осевом направлении.



а



б

Рис. 4. Снаряд с контейнером в снаряженном состоянии: а – до опыта, б – после опыта

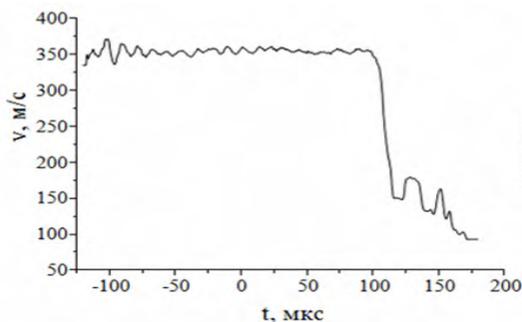
Регистрация перегрузок

Проведена отработка способа торможения снаряда-контейнера при взаимодействии со сплошной преградой из полиэтилена, результаты опыта приведены на рис. 5. Максимальное значение ускорения составило $\sim 2 \cdot 10^6 g$, половина длительности импульса $\tau_{1/2} \approx 15$ мкс.

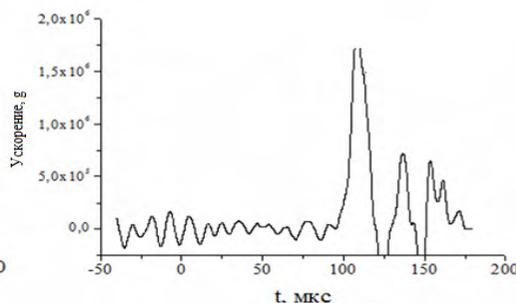
Проведено три опыта по способу торможения снаряда-контейнера при внедрении в крешерную систему.

В первом опыте скорость снаряда W составила 275 м/с. Результаты обработки эксперимента представлены на рис. 6. Временная отметка «ноль» во всех экспериментах соответствует моменту времени пересечения снарядом ближнего к крешеру луча лазерного измерителя скорости. Максимальная перегрузка в опыте составила $a_m = 45000g$, половина длительности импульса $\tau_{1/2} = 0,75$ мс.

Во втором опыте скорость снаряда составила 375 м/с. Результаты обработки эксперимента представлены на рис. 7. Максимальная перегрузка $a_m = 70000g$, половина длительности импульса $\tau_{1/2} = 0,58$ мс.



а



б

Рис. 5. Зависимости характеристик снаряда от времени: а – скорости, б – ускорения

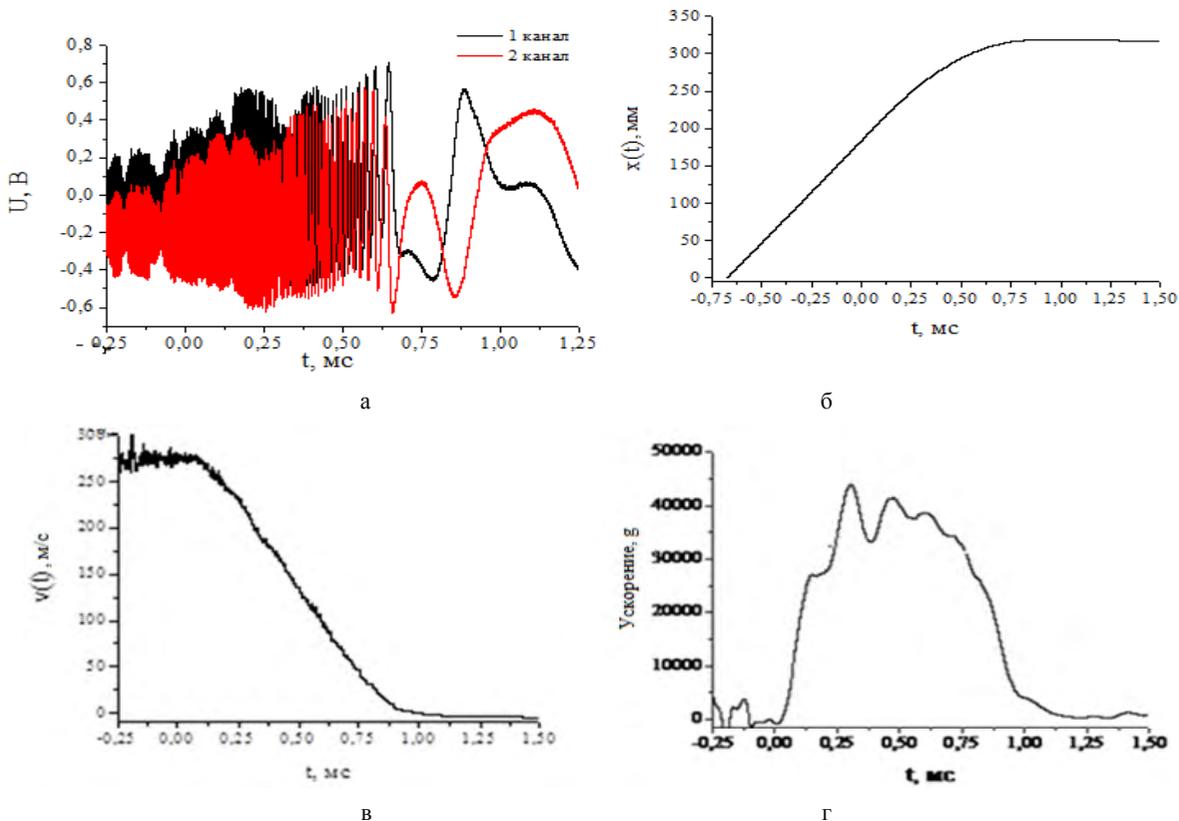


Рис. 6. Результаты опыта с $W = 275$ м/с: а – интерферограмма полета снаряда, зависимости характеристик снаряда от времени: б – расстояния, в – скорости, г – ускорения

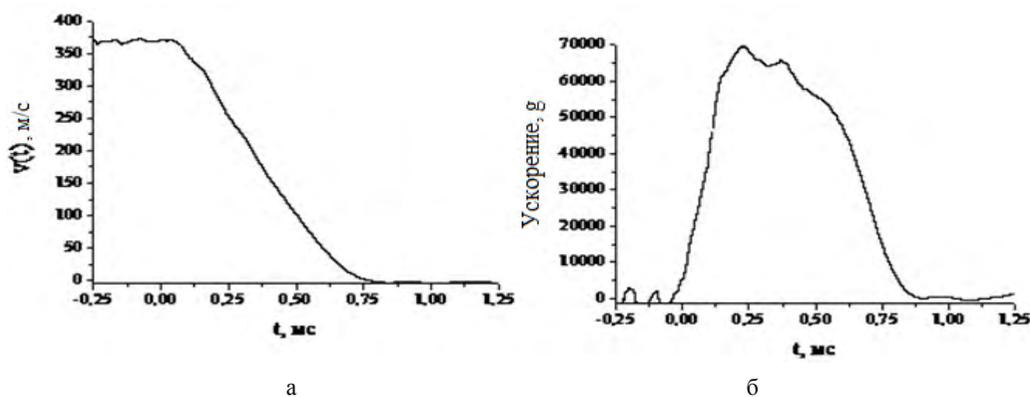


Рис. 7. Зависимости параметров полета снаряда от времени: а – скорости, б – ускорения

В третьем опыте скорость снаряда составила 225 м/с. Зависимость ускорения от времени, полученная в опыте, представлена на рис. 8. Максимальная перегрузка составила 35000g, половина длительности импульса $\tau_{1/2} = 0,77$ мс.

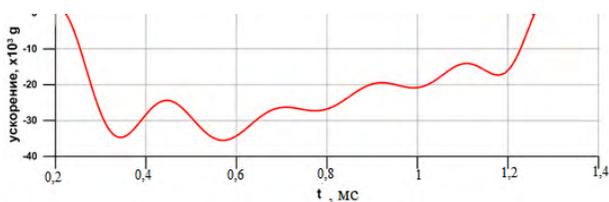


Рис. 8. Зависимость ускорения от времени

Заключение

Обосновано использование микроволновой диагностики с длиной зондирующего излучения 3,2 мм для регистрации параметров полета снаряда. Оценено максимальное значение перегрузки, которое может зарегистрировать радиоинтерферометр при торможении снаряда с 200 м/с до полной остановки, оно составило $6,25 \cdot 10^5 g$. Дана оценка минимальному времени регистрации этих процессов – 32 мкс.

Представлены результаты измерения кинематических параметров полета снаряда на комплексе при помощи микроволновой диагностики.

Применение методики позволяет регистрировать импульсы перегрузок при различных условиях нагружения:

1) при ускорении максимальная зарегистрированная перегрузка составила 5000 g;

2) при торможении о сплошную преграду максимальное значение ускорения составило $\sim 2 \cdot 10^6$ g и половиной длительности импульса $\tau_{1/2} \approx 15$ мкс;

3) при торможении через крешер максимальные амплитуды перегрузок составили до 70000 g и половинами длительности импульса от 0,58 до 0,77 мс.

Литература

1. Козлов В. И. Особенности конструкции взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.

2. Меркулова И. И., Козлов В. И. Тенденции и перспективы развития взрывательных устройств боеприпасов // Инженерный вестник. 2014. Эл. № ФС77-51036, № 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. Выпуск № 2.

4. Токарев В. А., Борисенко В. А., Евланов К. И. и др. Лабораторный комплекс для испытания элементов электроники на стойкость к перегрузкам // Международная конференция «XX Харитоновские тематические научные чтения» // Сборник тезисов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019.

5. Невозмущающие методы диагностики быстротекущих процессов. Под ред. доктора техн. наук А. Л. Михайлова. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2015. С. 322.