

УДК 623.4

Испытания элементов радиоэлектронной аппаратуры на ударную стойкость не менее 20000g

**Е. В. Ботов, В. Н. Хворостин,
К. П. Новиков, В. Ю. Липшев,
П. И. Левашов**

Приведено описание постановки опытов по отработке элементов радиоэлектронной аппаратуры на воздействия перегрузки с амплитудой не менее 20000g. Представлены методика и порядок проведения испытаний, расчет режимов нагружения на ПК «ЛОГОС», редакция опытов, результаты измерений.

Введение

При создании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), рассчитанной на работу при ударных воздействиях высокого уровня (перегрузка больше 20000g), одной из основных проблем является разработка метода экспериментального подтверждения стойкости элементов РЭА [1]. Одним из наиболее информативных методов получения данных о поведении испытуемого объекта (ИО) в процессе действия нагрузки является так называемый метод обращенного пуска. Суть его заключается в механической передаче кинетической энергии от ударника, обладающего этой энергией, к ИО. Ударник получает кинетическую энергию при разгоне до необходимой скорости давлением продуктов взрыва (ПВ) от подрываемого в закрытой взрывной камере взрывчатого вещества (ВВ). При соударении с ИО через крешерную систему формируется требуемый механический импульс. Данный метод позволяет увеличить время диагностирования характеристик ИО за счет увеличения времени жизни измерительных линий до и после взаимодействия, осуществлять контроль нагружающего импульса и обеспечить возможность «бережного» улавливания (улавливание ИО перегрузкой линии 10% от нагружающего импульса) ИО для дальнейшей проверки работоспособности.

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ ведется разработка взрывателя нового поколения для артиллерийских боеприпасов. В состав взрывателя входит тепловой источник тока (ИТ). Одним из видов испытаний этого ИТ является воздействие удара одиночного действия с перегрузкой не менее 20000g.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ находится в эксплуатации исследовательско-испытательный комплекс (ИИК) «Ствол», в состав которого входят взрывной ударный стенд (ВУС) «Ствол 142М» и измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «Ствол М» [2]. С помощью этих структурных единиц ИИК «Ствол» проводилось испытание ИТ на воздействие удара одиночного действия с перегрузкой не менее 20000g методом обращенного пуска.

Методика испытания

После инициирования бризантного ВВ во взрывной камере ВУС «Ствол 142М» (рис. 1) давление продуктов взрыва действует на дно ударника, обеспечивая его разгон до необходимой расчетной скорости. (Использование бризантного ВВ объясняется тем, что ВВ данного типа обладает необходимой энергетикой для разгона ударника и обеспечивает стабильную повторяемость экспериментов.) Затем ударник, двигаясь по волноводу разгонного отсека, проходит дренаж, где происходит сброс ПВ в атмосферу. Чтобы исключить влияние сжатого воздуха, который образуется между ударником и испытательной сборкой (ИС) с ИТ, на формирование заданной нагрузки, применен дополнительный дренаж, расположенный непосредственно перед ИС. После разгона ударник соударяется с заданной скоростью с ИС через крешерную систему в разгонном отсеке, передавая свою кинетическую энергию и формируя заданный импульс нагружения ИС. Объекты испытания окончательно останавливаются в тормозном отсеке пневмотормозной системой, которая обеспечивает «бережное» улавливание.

Порядок проведения испытаний

Учитывая экстремальные требования к испытуемым изделиям, возможность их разрушения, отсутствие возможности их повторного нагружения из-за изменения конструктивных характеристик, параметры воздействия в опыте должны иметь точно прогнозируемые значения. Поэтому сначала проводятся расчеты нагружающего заряда с целью подбора режимов нагружения, параметров крешера, создающего механический импульс на ИС, и параметров тормозного устройства. Затем для уточнения расчетных параметров проводятся предварительные испытания с использованием габаритно-весового макета (ГВМ), т. е. отработка режимов нагружения (1–2 опыта). При необходимости уточняются параметры режима нагружения и проводятся зачетные испытания.

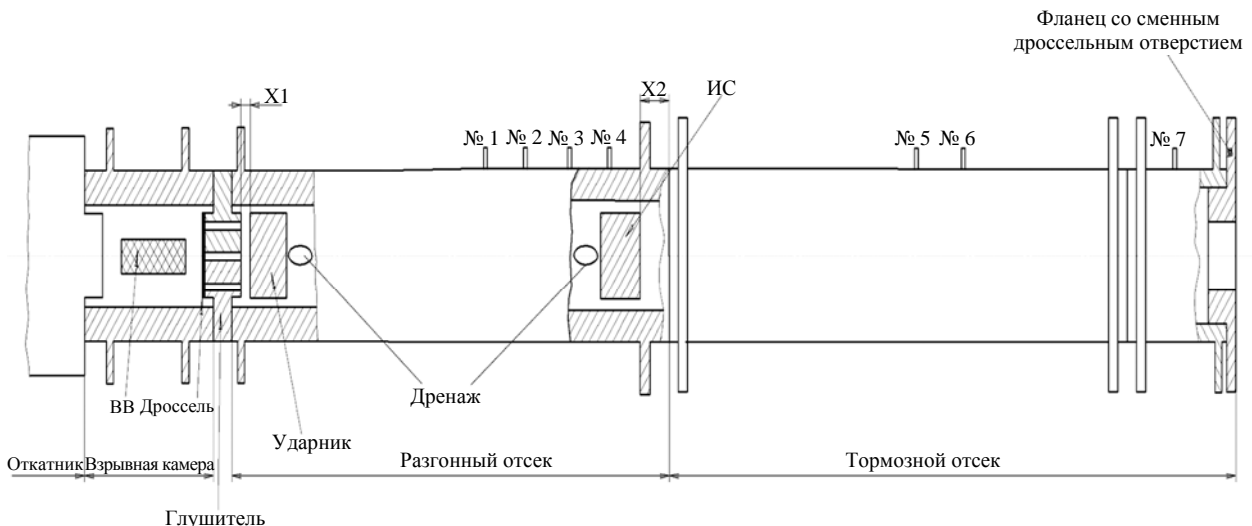


Рис. 1. Схема испытательного комплекса на основе ВУС «Ствол-142М»

Расчет режима нагружения

Расчет режимов нагружения проводился в пакете программ двух- и трехмерного моделирования «Логос-Прочность». На рис. 2 показана трехмерная расчетная модель экспериментальной сборки. Решение задачи осуществляется с позиций уравнений механики сплошных сред и соотношений дифференциальной теории пластичности. Взаимодействие элементов сборки между собой в процессе соударения описывается путем решения нестационарной контактной задачи с переменными границами по пространству и времени. После проведения численного моделирования заданных режимов нагружения были получены необходимые параметры редакции опытов (геометрические размеры и форма крешера, скорость ударника) для перехода к следующей части работы – экспериментальной.

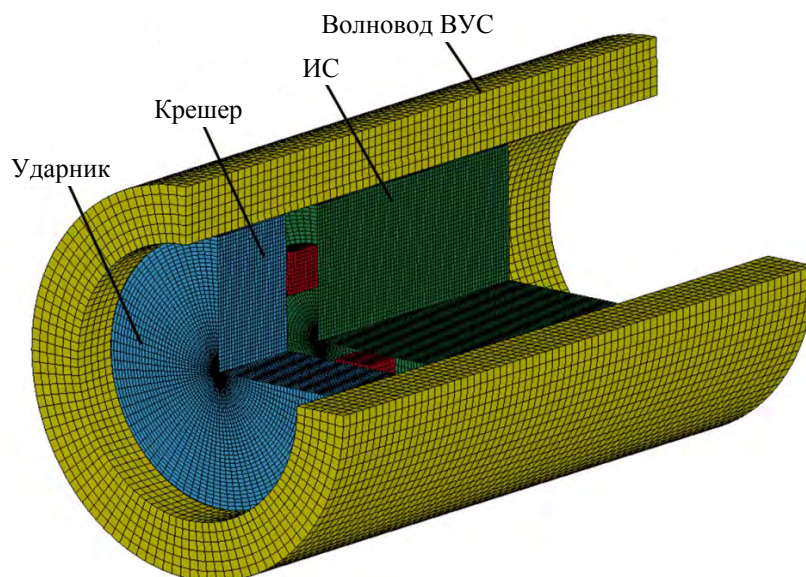


Рис. 2. Трехмерная расчетная модель экспериментальной сборки

Редакция экспериментов

Перед проведением зачетного испытания опытных образцов ИТ в составе ИС на ВУС «Ствол 142М» (рис. 3) был проведен эксперимент по отработке режима нагружения на весовом макете для подтверждения результатов расчета. В качестве весового макета был выбран монолитный алюминиевый цилиндр массой, соответствующей массе ИС в сборе (рис. 4). С тыльной части весового макета для формирования заданной нагрузки был установлен крешер – алюминиевое кольцо (АМЦ) с геометрическими размерами, полученными при численном моделировании эксперимента. В качестве ударника (как в предварительном, так и в зачетном испытании) использовался стальной цилиндрический ударник массой 6,5 кг.

На рис. 5 представлены схема и внешний вид испытательной сборки. Одновременно проводились испытания ИТ в количестве 21 штуки.

Диагностика параметров нагружения осуществлялась с использованием акселерометров АДП14 и AP12, установленных на переднем парусе весового макета и корпусе ИС. В качестве чувствительного элемента в акселерометре АДП14 используется α -кварц ХУ-среза, а в малогабаритном датчике AP12 – комбинированный вариант кварц-ТНаВ. В экспериментах также применялся радиоинтерферометр миллиметрового диапазона длин радиоволн для регистрации параметров движения и вычисления перегрузки весового макета и испытательной сборки.

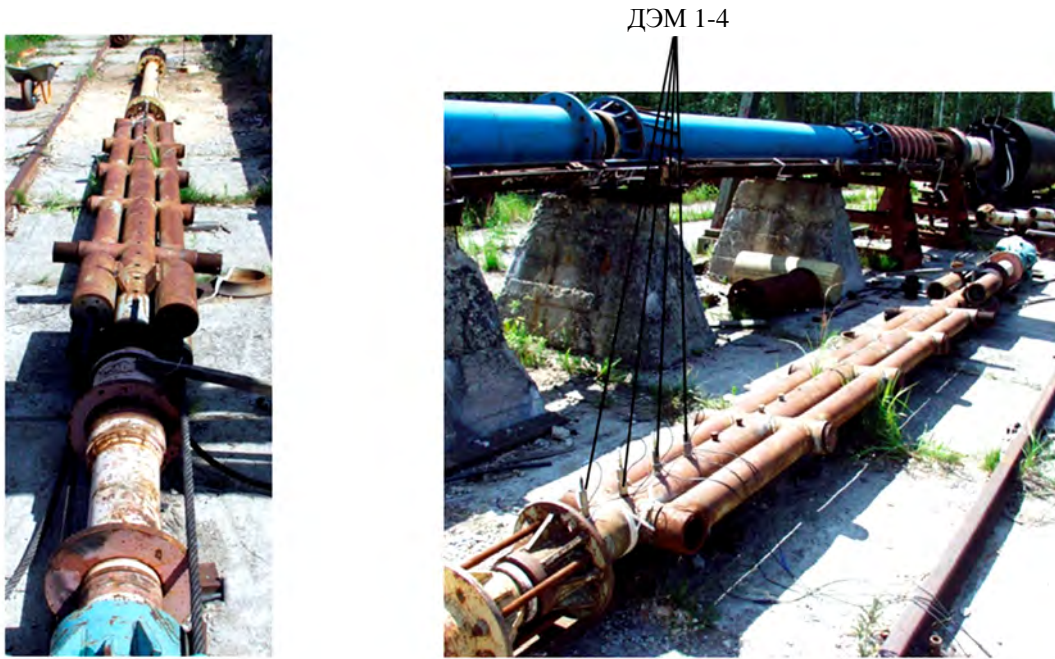


Рис. 3. Внешний вид ВУС «Ствол-142М»

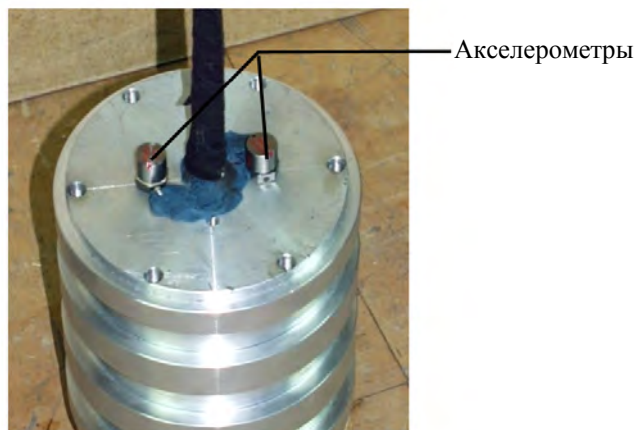


Рис. 4. Внешний вид весового макета

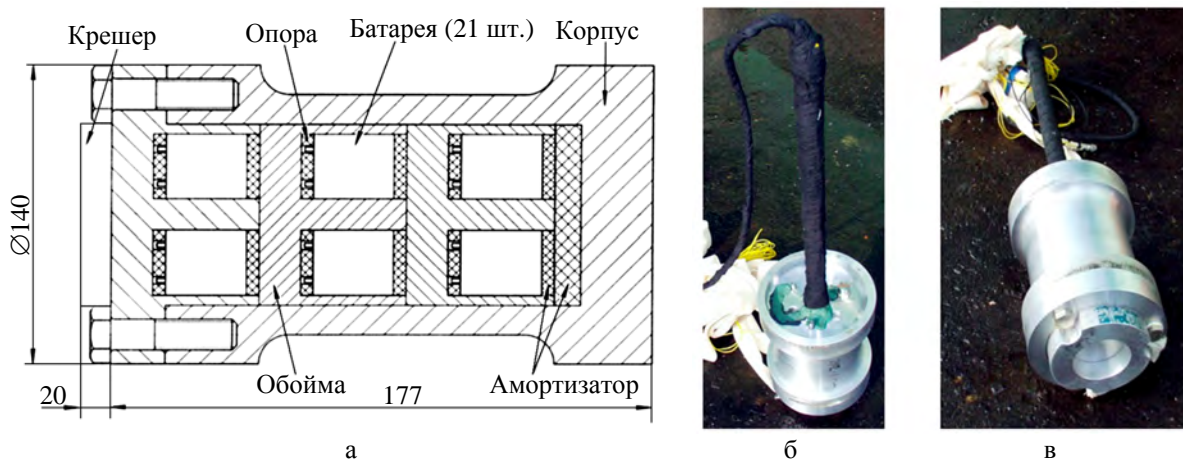


Рис. 5. Схема (а) и внешний вид (б, в) испытательной сборки

В качестве регистрирующей аппаратуры в ИВК «Ствол М» использовались цифровые осциллографы Agilent.

Для определения скорости до и после соударения ударника с весовым макетом (ИС) применялись электромагнитные датчики ДЭМ [3]. Датчики были расположены в разгонном отсеке в положениях № 1–4 на расстоянии $l = 200$ мм (см. рис. 1). Для измерения значения, длительности и формы нагрузки на весовом макете (ИС) использовался акселерометр АДП14 [4], а также акселерометр AP12 и радиоинтерферометр РИ-03 (факультативные измерения).

Результаты измерения

Результаты, зафиксированные в предварительном испытании, показали:

- скорость соударения ударника с весовым макетом соответствует скорости, полученной в расчете, в допустимой погрешности ($V = 56$ м/с). В качестве иллюстрации на рис. 6 представлена типичная диаграмма с электромагнитных датчиков. По данным, полученным с ДЭМ, определялась скорость ударника и весового макета до и после соударения;

- параметры нагружения весового макета, полученные после взаимодействия с ударником и зарегистрированные с помощью акселерометра АДП14, имеют хорошую сходимость с результатами численного моделирования (рис. 7).

На рис. 8–11 представлены амплитудно-временные диаграммы перегрузок, полученные с акселерометров АДП14 и AP12, радиоинтерферометра РИ-03 в зачетном испытании, а также сравнительная диаграмма ускорений экспериментального и расчетного сигналов.

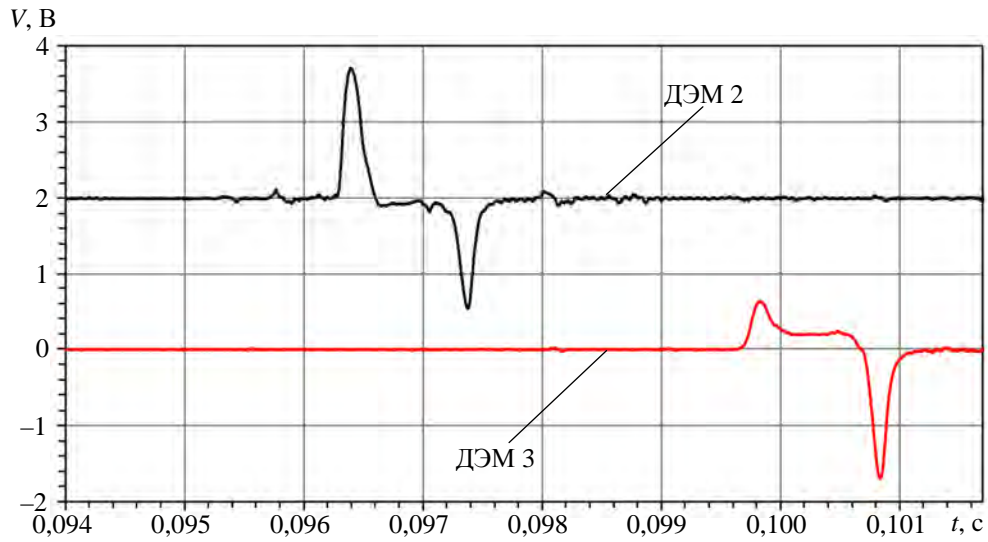


Рис. 6. Амплитудно-временная диаграмма сигналов с датчиков ДЭМ2 и ДЭМ3

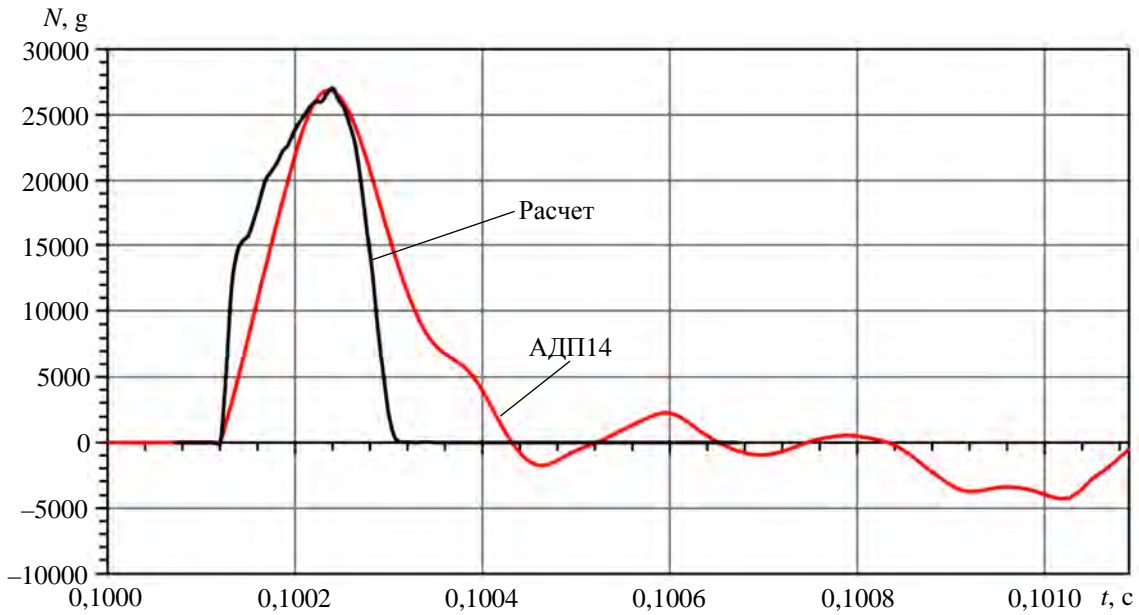


Рис. 7. Амплитудно-временная диаграмма ускорений

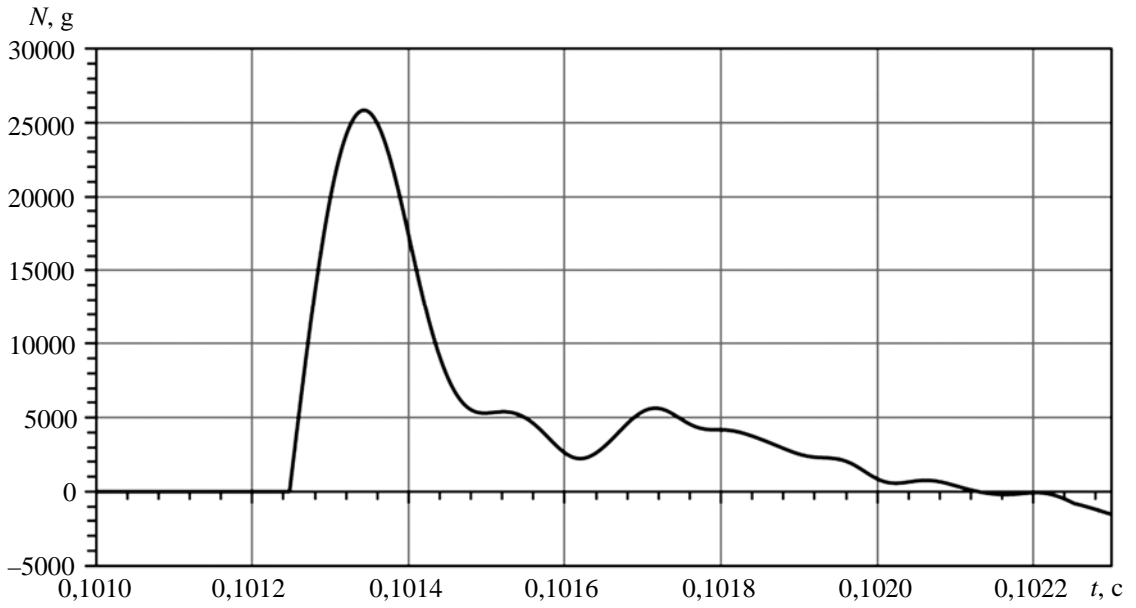


Рис. 8. Амплитудно-временная диаграмма сигнала с АДП14 после математической обработки

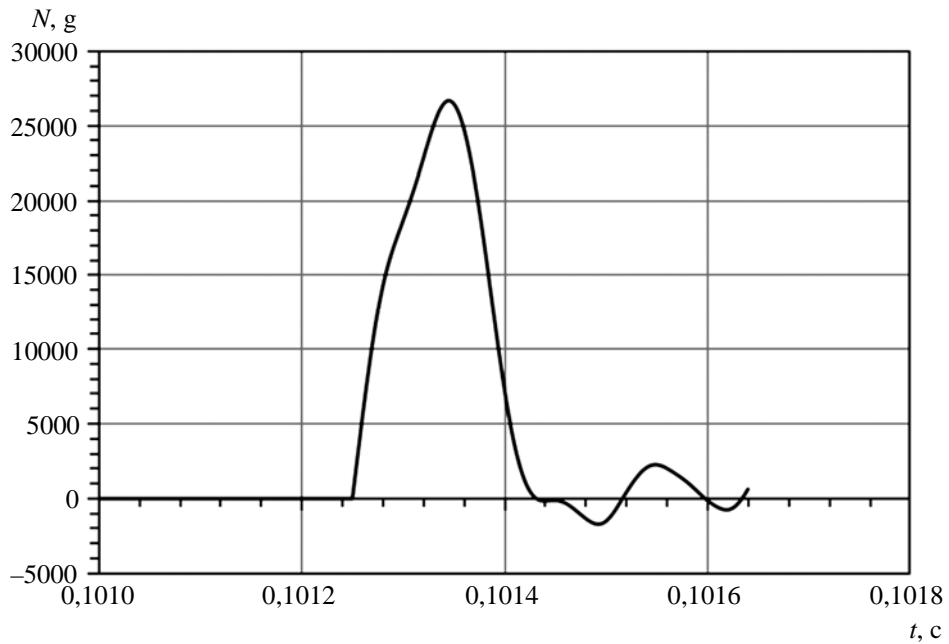


Рис. 9. Амплитудно-временная диаграмма сигнала с AP12 после математической обработки

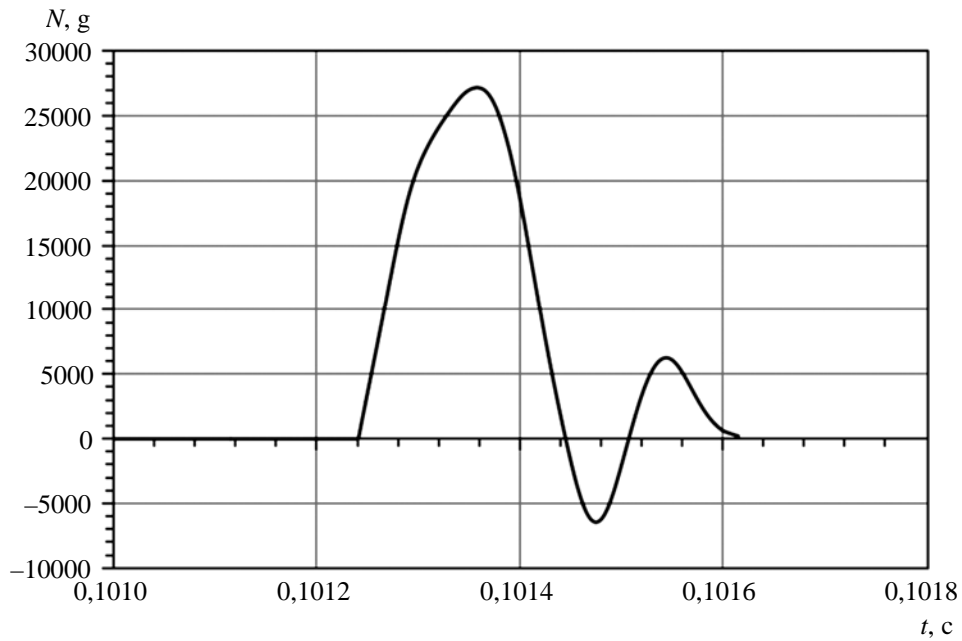


Рис. 10. Амплитудно-временная диаграмма сигнала с радиоинтерферометра РИ-03 после математической обработки

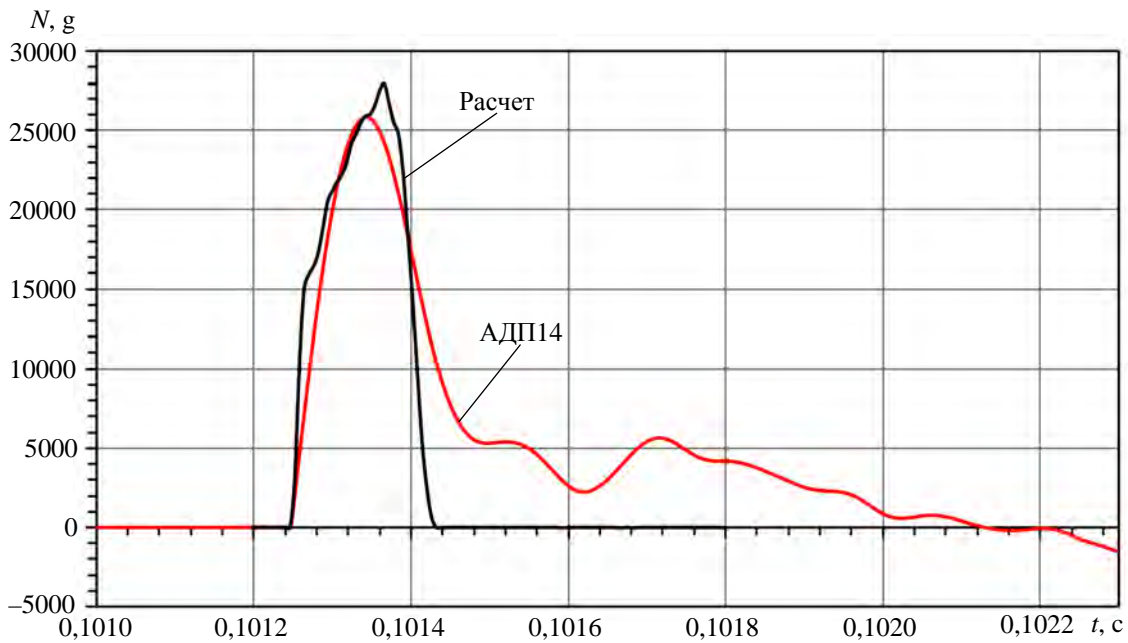


Рис. 11. Амплитудно-временная диаграмма ускорений

Выводы

1. Метод обращенного пуска с применением ВУС «Ствол 142М» и ИВК «Ствол М» обеспечивает создание интенсивного механического импульса с амплитудой более 20000g и диагностирование испытуемого объекта в динамическом режиме.

2. Успешно проведено испытание опытных образцов ИТ, установленных в испытательной сборке, на удар одиночного действия с амплитудой перегрузки не менее $N = 20000g$. Выдержан заявленный параметр нагружения (осевая перегрузка $N_{\text{макс}} = 25850g \pm 2890g$ [4]). В опытах применялась методика регистрации параметров перегрузки с помощью радиоинтерферометра миллиметрового диапазона РИ-03 и пьезоакселерометра АР12. Зафиксированные параметры перегрузки факультативных методик подтверждают правильность параметров нагружения (перегрузка, зарегистрированная с помощью РИ-03 ($N_{\text{макс}} = 27100g$) и пьезоакселерометра АР12 ($N_{\text{макс}} = 26700g$)).

3. Результаты численного моделирования режимов нагружения метода обращенного пуска в пакете программ «Логос-Прочность» хорошо согласуются с экспериментальными данными (в пределах погрешности измерений).

Список литературы

1. Иванов А. В., Ильин С. Л., Хохлов П. В. Моделирование механических воздействий на радиоэлектронную аппаратуру // Сб. докл. науч. конф. Волжского регионального центра РАН «Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения». – Саратов: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006.
2. Ботвинкин А. К., Брюханов Н. В., Моисеев Е. Б. и др. Взрывные ударные установки для экспериментальной отработки ракетно-артиллерийского вооружения на воздействие интенсивных механических нагрузок // Сб. докл. науч. конф. Волжского регионального центра РАН «Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения». – Саратов: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000.
3. АМВИ.0316.001-05. «Методика выполнения измерений скорости с помощью отметчика времени на базе датчика электромагнитного типа ДЭМ». Введена в раздел Федерального реестра аттестованных методик, рег. код рсФР.28.2005.00184.
4. АМВИ.0306.001-06. «Методика выполнения измерений импульсных ускорений с помощью пьезоакселерометров типа АП». Введена в раздел Федерального реестра аттестованных методик, рег. код рсФР.28.2006.00257.

Tests of Elements of Radioelectronic Equipment for Shock Resistance Not More Than 20000g

Ye. V. Botov, V. N. Khvorostin, K. P. Novikov, V. Yu. Lipshev, P. I. Levashov

The paper describes experimental set-ups for development of elements of radioelectronic equipment regarding the influence of overloading having the amplitude of not smaller than 20000 g. The paper contains techniques of tests and a procedure of tests, calculations of loading conditions by using a PC «LOGOS», editing of tests, measurements results.