

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

# ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ АППАРАТУРУ

*Методические указания к лабораторной работе*

САМАРА 2002

Составитель *В.А. Медников*

УДК 621.396.6.001.4 (075)

**Исследование ударных воздействий на радиоэлектронную аппаратуру:** Метод. указания к лаб. работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *В.А. Медников*. Самара, 2002. 12 с.

Рассматриваются вопросы математического моделирования ударных воздействий при испытаниях РЭС. Приведена методика исследования влияния ударных воздействий на характеристики РЭС с помощью аналоговой вычислительной машины типа МН-7М и ЭЦВМ.

Предназначены для студентов дневного и вечернего отделений специальности 2008. 00. Подготовлены на кафедре микроэлектроники и технологии радиоэлектронной аппаратуры.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент **А. В. З е л е н с к и й**

Цель работы - исследование перегрузок, возникающих при падениях или ударах РЭА с учетом влияния амортизирующих элементов; ознакомление с методами моделирования испытаний РЭА с помощью аналоговых и цифровых вычислительных машин.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Возникновение ударов связано с резким и быстрым изменением ускорения, скорости или напряжения перемещения объектов, на которых установлена аппаратура. Возможны случаи, когда прикладываемая при этом нагрузка превышает допустимый или безопасный уровень, что приводит к отказу РЭА. Действие механических ударов сопровождается возбуждением затухающих колебаний, т. е. неустановившихся вибраций на частотах собственных колебаний элементов и частей конструкции.

В отличие от гармонических колебаний удар является неустановившимся процессом. Это составляет основную сложность при анализе воздействия удара на радиоэлектронную аппаратуру и при расчете ее системы амортизации на удар. При ударе кинетическая энергия соударяющихся тел преобразуется в энергию упругой деформации. Ударные нагрузки могут прикладываться к радиоэлектронной аппаратуре как в процессе ее эксплуатации, так и при транспортировке. При ударных нагрузках не бывает практически мгновенного изменения скорости движущегося объекта, поэтому импульс ускорения при ударе всегда имеет конечную длительность. При испытаниях РЭА с целью сопоставимости результатов реализуют ударные импульсы определенной формы: полусинусоидальной, прямоугольной, треугольной и т. д. В условиях эксплуатации форма ударного импульса не имеет существенного значения. Более важными являются такие его характеристики как амплитудное значение перегрузки, длительность, знакопеременность и некоторые другие. Желательно, чтобы ударные импульсы, возникающие при испытаниях РЭА, максимально соответствовали импульсам, возникающим при эксплуатации РЭА.

Для уменьшения влияния ударных нагрузок в процессе эксплуатации РЭА устанавливают на специальные амортизаторы, а для ослабления транспортных ударных нагрузок осуществляют ее специальную упаковку. При эксплуатации интенсивность ударных воздействий зависит от места установки и средств транспортирования РЭА. Конструкция и способы амортизации определяют собственную частоту механических колебаний РЭА и ее элементов, характер изменения и распространения ударных ускорений во времени, а также перегрузок от действия удара [3,4].

Под перегрузкой  $\Delta n$ , понимают отношение ускорения, испытываемое РЭА после соударения, к ускорению силы тяжести:

$$\Delta n_y = \frac{1}{g} \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad (1)$$

где  $y$ -текущие координаты центра масс РЭА, характеризующие положение аппаратуры после соударения относительно точки с координатой центра масс в момент начала соударения;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение силы тяжести.

Большинство РЭА и ее элементов подвергают испытаниям на ударную нагрузку с целью оценки ее прочности и устойчивости. При испытаниях на ударную прочность проверяют способность РЭА выдерживать разрушающее воздействие ударов и продолжать нормально функционировать после их прекращения, а при испытаниях на ударную устойчивость проверяют способность РЭА выполнять свои функции во время воздействия ударных нагрузок [4].

Рассмотрим относительное движение амортизируемой аппаратуры при воздействии ударной нагрузки, создаваемой за счет энергии падающей с некоторой высоты аппаратуры. Причем, если пренебречь массой амортизирующих элементов, т. е. считать ее намного меньше массы самой аппаратуры, то в принципе безразлично, является ли амортизатор ее собственной принадлежностью (рис. 1,а) или принадлежностью внешнего объекта, называемого в дальнейшем основанием, с которым аппаратура сталкивается (рис. 1,б,в). Более того, безразлично, представляет амортизатор соответствующим образом оформленную конструкцию (рис. 1,а,б) или просто прокладку из упругого материала (рис. 1,в).

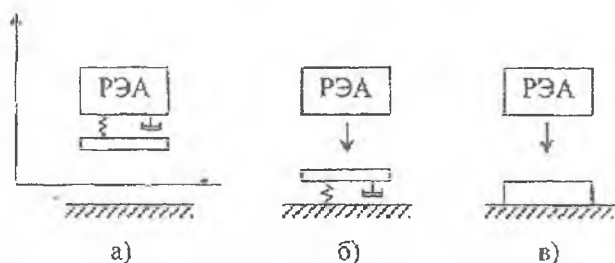


Рис. 1

Для упрощения анализа сделаем следующие допущения:

- масса основания значительно превышает массу ударяющейся о него аппаратуры, так что собственным ускорением основания можно пренебречь;

- амортизируемая аппаратура и основание являются абсолютно жесткими, т.е. при ударе не деформируются;
- деформация амортизатора при ударе не выходит за пределы линейности его характеристик;
- векторы относительной скорости соударяющихся тел совпадают по направлению с вектором силы тяжести;
- вид испытываемого аппаратурой удара можно классифицировать как скоростной удар, т.е. удар с бесконечно малой длительностью;
- основание и амортизатор после начала соударения не теряют между собой механического контакта.

Анализ движения РЭА при соударении с основанием можно выполнить исходя из баланса сил инерции  $F_{и}$ , сил вязкого трения  $F_{вт}$ , сил упругих связей  $F_{yc}$  и силы тяжести  $F_{т}$ , действующих на нее:

$$F_{и} + F_{вт} + F_{yc} + F_{т} = 0. \quad (2)$$

Уравнение относительного движения амортизируемой аппаратуры получают подстановкой в уравнение (2) составляющих сил, выраженных через относительные перемещения  $y$  [5]:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + h \frac{dy}{dt} + c \cdot y + m \cdot g = 0, \quad (3)$$

где  $m$  - масса аппаратуры;

$h$  - коэффициент вязкого трения амортизатора;

$c$  - жесткость амортизатора.

Уравнение (3), разрешенное относительно старшей производной, после введения понятия коэффициента относительного демпфирования  $\beta$  и собственной частоты колебаний  $\omega_0$  представляют в следующем виде:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -2\beta\omega_0 \frac{dy}{dt} - \omega_0^2 y - g, \quad (4)$$

где

$$\beta = \frac{h}{h_{кр}} = \frac{h}{2m\omega_0}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad h_{кр} = 2m\omega_0; \quad (5)$$

$h_{кр}$  - критическое значение коэффициента вязкого трения, при котором колебательный характер движения механической колебательной системы переходит в аperiodический.

Коэффициент относительного демпфирования  $\beta$ , характеризующий степень затухания энергии механических колебаний в амортизаторах, является одной из основных характеристик амортизатора. Численное значение коэф-

коэффициента  $\beta$  определяется при номинальной нагрузке на амортизатор. Для амортизаторов типа АП и АЧ  $\beta = 0,1$ ; для амортизаторов типа АД  $\beta = 0,5 \dots 0,6$  (наибольшее значение соответствует температуре наружного воздуха  $t = 60^\circ\text{C}$ ); для амортизаторов типа ДК  $\beta = 0,4 \dots 0,5$  [5,6].

При нахождении решения уравнения (4) необходимо учитывать начальное условие:

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = -V_0, \quad (6)$$

где  $V_0$  - относительная скорость соударяющихся тел в начальный момент времени.

Как видно из уравнений (1),(4) и (5), перегрузка  $\Delta n_y$  при ударе является функцией по крайней мере четырех аргументов:  $\beta$ ,  $\omega_0$ ,  $V_0$ ,  $t$ , что предопределяет большие сложности при анализе. Уравнение (4) можно значительно упростить, если ввести вместо истинного времени безразмерное, т.е.  $r = \omega_0 t$ , и решение находить относительно искомого параметра  $\Delta n_y$  в виде функции трех безразмерных аргументов  $V_0 \omega_0 / g$ ,  $\beta$  и  $\omega_0 t$ . Тогда после математических преобразований уравнение (4) можно записать в следующем виде:

$$\Delta n_y = \frac{1}{g} \cdot \frac{d^2 y}{dr^2} = - \left( 2\beta \frac{dy}{dr} + y + \frac{g}{\omega_0^2} \right) \quad (7)$$

при начальных условиях:

$$\left( \frac{dy}{dr} \right)_{r=0} = -\frac{V_0}{\omega_0}, \quad y|_{r=0} = 0. \quad (8)$$

Полученное уравнение может быть решено аналитически или методами численного интегрирования на ЭЦВМ [2]. Однако решение является достаточно трудоемким. В этой связи большие возможности представляет решение дифференциальных уравнений с помощью аналоговых вычислительных машин (АВМ)[1]. Уравнение (7) может быть смоделировано на АВМ с помощью соответствующей структурной схемы, каждый элемент которой представляет собой типовой операционный блок, а каждая координата - соответствующее электрическое напряжение.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В качестве лабораторной установки, позволяющей исследовать ударные воздействия на РЭА, используется АВМ типа МН-7м, предназначенная для

исследования динамики объектов, описываемых системой линейных или нелинейных дифференциальных уравнений до 6-го порядка включительно, представленных в канонической форме. В данной работе исследуется линейное дифференциальное уравнение 2-го порядка.

Основными решающими элементами АВМ являются операционные усилители (ОУ), на которых можно выполнять операции инвертирования, суммирования, интегрирования сигнала и некоторые другие линейные преобразования. Машина содержит значительное число нелинейных элементов, которые в данной работе не используются. Соединение решающих элементов между собой, а также с измерительными приборами производится с помощью шнуровой коммутации на наборном поле решающего блока.

АВМ состоит из решающего блока, выпрямителя электронного стабилизированного ВЭС-1 и электроннолучевого индикатора И-6. Основным в АВМ является решающий блок. В его верхней части под открывающейся крышкой горизонтально расположено наборное поле. В нижней части блока расположено 4 блока нелинейных функций. Если при моделировании они не используются, их целесообразно устанавливать в несколько выдвинутом положении, что приводит к разрыву их внутренних соединений с решающим блоком.

Элементы управления и контроля работы АВМ расположены на передней панели решающего блока. Центральную часть панели занимают вольтметры V1 и V2. Ниже вольтметров расположены переключатели делителя напряжений и источника эталонного напряжения. С левой стороны панели расположены лампочки сигнализации перегрузки 18-ти операционных усилителей. Ниже их расположены ручки потенциометров установки нулей усилителей. В правой части панели расположены потенциометры установки начальных условий, а также переключатели и кнопки непосредственного управления машиной. Рядом с вольтметрами расположены также переключатели изменения масштаба их шкалы и полярности сигнала.

Составим структурную схему, позволяющую решить дифференциальное уравнение 2-го порядка (7). Поскольку напряжения на выходах ОУ могут изменяться лишь в определенных пределах и измеряются в вольтах, а реальные физические величины могут иметь любую размерность, возникает задача масштабирования переменных.

Под масштабом  $\Delta m_x$ , физической переменной  $x$  понимают отношение

$$m_x = \frac{U_x}{x}, \quad (9)$$

где  $U_x$  - "машинная" переменная.

Практически масштаб подбирают округлением (в сторону уменьшения) значения, получаемого по формуле

$$m_x = \frac{|U_x|_{\max}}{|x|_{\max}}, \quad (10)$$

где  $|U_x|_{\max}$  - максимально допустимое абсолютное значение напряжения на выходе операционного блока;

$|x|_{\max}$  - максимально абсолютное значение моделируемой физической переменной.

Для АВМ МН-7М  $|U_x|_{\max} = 100\text{В}$ . Исходные данные для исследования ударных воздействий на РЭА находятся в следующих диапазонах:

$$\begin{aligned} V_0 &= 1 \dots 10 \text{ м/с,} \\ W_0 &= 2,5 \dots 100 \text{ радиан/с,} \\ \beta &= 0 \dots 1. \end{aligned} \quad (11)$$

С учетом данных (11) максимальные значения начальных условий (8) и физических величин уравнения (7) будут следующими:

$$\left| \frac{V_0 \omega_0}{g} \right|_{\max} = 100; \quad \left| \frac{dv}{dt} \right|_{\max} = 1; \quad |\Delta n_y| = 200; \quad y_{\max} = 100.$$

Отсюда масштабы переменных:  $m_{\Delta n_y} = m_y = 0,5; m_y = 1; m_y = 1$ . С учетом формулы (9) уравнение (7) в машинных переменных будет иметь вид:

$$U_y = - \left( 2\beta \frac{m_y}{m_y} U_y + \frac{m_y}{m_y} U_y \right) = - (\beta U_y + 0,5 U_y) \quad (12)$$

при начальных условиях:

$$U_{y0} = \frac{m_y}{m_y} \frac{V_0 \omega_0}{g} U_{y0} = \frac{V_0 \omega_0}{g} U_{y0} = \frac{V_0 \omega_0}{100g} 100 U_{y0}; \quad U_{y0} = 1\text{В}.$$

Полная моделируемая на АВМ система уравнений требует добавления к уравнению (12) еще двух уравнений интеграторов, имеющих в машинных переменных вид:



$$\left. \begin{aligned} U_y &= \frac{m_y}{m_y} \int_0^t U_y dt + U_{y0} = 2 \int_0^t U_y dt + U_{y0} \\ U_y &= \frac{m_y}{m_y} \int_0^t U_y dt + U_{y0} = 2 \int_0^t U_y dt + U_{y0} \end{aligned} \right\} (13)$$

По выражениям (12) и (13) построена структурная схема моделирования, приведенная на рис. 2.

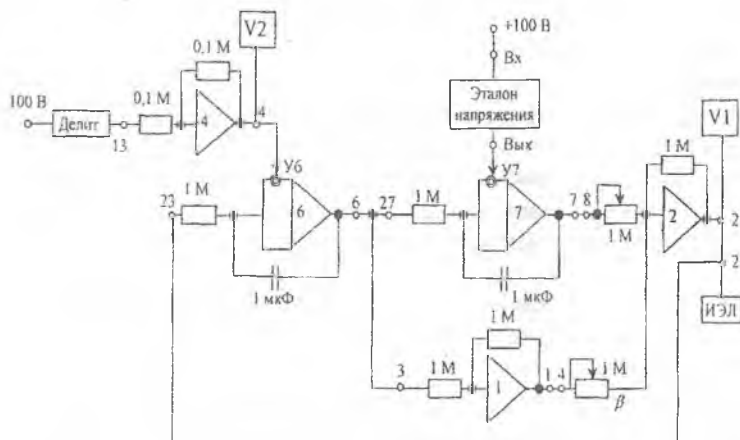


Рис.2

Схема предусматривает возможность исследования дифференциального уравнения при различных значениях коэффициентов  $V_0\omega_0/100g$  и  $\beta$ , изменяемых соответственно с помощью делителя напряжения и переменного резистора в цепи ОУ2 (вход 4). С помощью вольтметров V1, V2 и электронно-лучевого индикатора И-6 осуществляется контроль параметров  $\Delta U_y = 2U_y$  и  $V_0\omega_0/100g$ .

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ НА АНАЛОГОВОЙ ЭВМ

При выполнении работы следует иметь в виду, что аналоговая вычислительная машина типа МН-7М подготовлена к работе, решаемая задача набрана на наборном поле, поэтому перед началом работы следует лишь

проверить соединения визуальным осмотром, чтобы убедиться в правильности схемы.

Работа проводится в следующей последовательности:

1. Подключить питание 220В к блокам ВЭС-1 и И-6.
2. Включить тумблер "СЕТЬ" на передних панелях ВЭС-1 и И-6, дать прогреться лампам не менее 3 минут.
3. Включить тумблер "АНОД" на передней панели ВЭС-1. Выдержать время до погасания ламп сигнализации перегрузок операционных усилителей (ОУ).
4. Включить тумблеры "220В" и "=26В" на передней панели решающего блока. Переключатели "УСТАНОВКА НУЛЯ-РАБОТА" и "ПОДГОТОВКА-РАБОТА" установить в положение "РАБОТА" и "ПОДГОТОВКА".
5. Получить у преподавателя значения начальных условий для решения дифференциального уравнения.
6. С помощью делителя напряжения установить заданное значение коэффициента  $V_0\omega_0/100g$ , которое определяется как отношение напряжения вольтметра  $V_2$  к 100В, подаваемым на вход делителя,  $V_0\omega_0/100g = U_2/100$ .
7. С помощью переменного резистора в цепи ОУ2 (вход 4) установить заданное значение коэффициента  $\beta$ . Для этого необходимо на наборном поле вынуть штекер из гнезда "ВЫХОД 1" и соединить им гнездо "ВХОД 4" и гнездо "+100В".

**ВНИМАНИЕ!** Во избежание выхода из строя МН-7М соблюдайте порядок подачи на вход ОУ напряжения +100В и снятия его с входа ОУ, проводимого в обратной последовательности.

Значение коэффициента  $\beta$  определить как отношение напряжения вольтметра  $V_1$  к 100В, поданным на вход ОУ,  $\beta = U_1/100$ . Снять с входа ОУ2 напряжение +100В, соблюдая обратную последовательность разъединения шнуровой коммутации. Восстановить схему соединения ОУ2 и ОУ1.

8. Переключатель "ПОДГОТОВКА-РАБОТА" установить в положение "РАБОТА".

9. Нажатием на кнопку "ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ" подготовить АВМ к решению задачи.

10. Нажатием на кнопку "ПУСК" осуществить запуск задачи на решение, при этом на экране электронно-лучевой трубки блока И-6 будет индицировано решение уравнения.

11. Зарисовать переходный процесс с экрана блока И-6 АВМ.

12. Не меняя настройки блока И-6, повторить пп. 6-11 для всех заданных  $\beta$  и  $V_0\omega_0/100g$  значений коэффициентов.

13. Выключить АВМ, для чего повторить пп. 1-4 в обратной последовательности.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ НА ЭЦВМ

Работа проводится в следующей последовательности.

1. Подключить питание 220В к ПЭВМ.
2. Включить тумблер "СЕТЬ" и загрузить операционную систему ПЭВМ.
3. Загрузить интерпретатор "BASIC.EXE".
4. Загрузить рабочую программу "UDAR"("LOAD" UDAR.BAS).
5. Запустить программу на выполнение командой "RUN".
6. Получить у преподавателя значения параметры ударного воздействия и подготовить начальные условия для решения дифференциального уравнения.
7. Ввести исходные данные по запросам монитора.
8. Зафиксировать результаты моделирования.

### Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Структурная схема моделирования.
3. Осциллограммы переходных процессов

$$\Delta n_y = f(t) \text{ при } \frac{V_0 \omega_0}{100 g} = \text{var} \text{ и } \Delta n_y = f(t) \text{ при } \beta = \text{var} .$$

4. Определить наибольшие значения перегрузки для каждой осциллограммы, выявить зависимость наибольшей перегрузки от  $\beta$  и  $V_0$  параметров ударного воздействия, провести анализ экспериментальных данных.
5. Выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От каких конструктивных параметров системы зависит перегрузка РЭА при ударе?
2. При каких сочетаниях параметров системы при ударе возникает наибольшая перегрузка? Наименьшая перегрузка?
3. Чем отличаются понятия ударная прочность и ударная устойчивость?
4. Чем определяется длительность переходных процессов при ударе?
5. Какое значение коэффициента относительного демпфирования амортизированной системы может считаться предпочтительным?

6. Какой вид будут иметь переходные процессы при ударе в условиях невесомости? Как будет изменяться характер переходных процессов при ударе с увеличением ускорения силы тяжести?

7. Чем определяется форма ударного импульса?

8. Каким моментам времени соответствует максимальная перегрузка для малых и больших значений относительного коэффициента демпфирования  $\beta$ ?

### *Библиографический список*

1. Горбачевич Е.Д., Левинзон Ф.Ф. Аналоговое моделирование систем управления.-М.:Наука, 1984.-304 с.

2. Грибов М.М., Жвакин Ю.И. Конструирование амортизационных систем РЭА с помощью моделирования.-М.:Сов. радио, 1977.-128 с.

3. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре.-М.:Сов.радио, 1971.-344 с.

4. Малинский В.Д. Контроль испытания радиоаппаратуры.-М.:Энергия, 1970.-336 с.

5. Суровцев Ю.А. Амортизация радиоэлектронной аппаратуры.-М.: Сов.радио, 1974.-176 с.

6. Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры.-М.:Радио и связь, 1984.-224 с.

*Учебное издание*

**ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
НА РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ АППАРАТУРУ**

*Методические указания к лабораторной работе*

Составитель: *Медников Валерий Александрович*

Редактор Н. С. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 24.12.02. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ л. 0,69. Усл.кр.-отг. 0,74. Уч.-изд.л. 0,75.

Тираж 150 экз. Заказ *100* Арт.с-16(Д1)/2002.

Самарский государственный аэрокосмический университет  
им. академика С.П. Королева.

443086 Самара , Московское шоссе, 34

---

РИО Самарского государственного аэрокосмического университета.

443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.