

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РЭА

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе 2

В методических указаниях рассматриваются вопросы математического моделирования ударных воздействий при испытаниях РЭА. Приведена методика исследования влияния ударных воздействий на характеристики РЭА с помощью аналоговой вычислительной машины МН-7М.

Методические указания предназначены для студентов старших курсов дневного и вечернего отделений специальности 0705.

Составитель А.В. Капцов

Рецензент И.И. Волков

Ц е л ь р а б о т ы - исследование перегрузок, возникающих при падениях или ударах РЭА с учетом влияния амортизирующих элементов; ознакомление с методами моделирования испытаний РЭА с помощью аналоговых 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 безопасный уровень, что приводит к отказу РЭА. Действие механических ударов сопровождается возбуждением затухающих колебаний, т.е. неустановившейся вибрацией 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 аппаратуру и при расчете ее системы амортизации на удар. Сущность удара заключается в том, что кинетическая энергия соударяющихся тел преобразуется в энергию упругой деформации. Ударные нагрузки могут прикладываться к 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 ширину. 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 важным являются такие его характеристики, как амплитудное значение, длительность, знакопеременность и некоторые другие. В то же время желательно, чтобы ударные импульсы, возникающие при эксплуатации РЭА, и импульсы, возникающие при испытаниях РЭА, максимально соответствовали друг другу.

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

Под перегрузкой Δn_y понимают отношение ускорения, испытываемое РЭА после соударения, к ускорению силы тяжести:

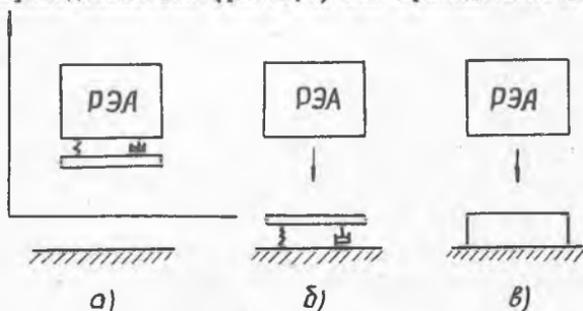
$$\Delta n_y = \frac{1}{g} \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad (I)$$

где y - координата, характеризующая положение аппаратуры после соударения;

g - ускорение силы тяжести.

Большинство РЭА и ее элементов проходит испытания на ударную нагрузку с целью оценки прочности и устойчивости аппаратуры. При испытании на ударную прочность проверяют способность РЭА выдерживать разрушающее воздействие ударов и продолжать нормально функционировать после их прекращения, а при испытании на ударную устойчивость проверяют способность РЭА выполнять свои функции при воздействии ударных нагрузок [4].

Рассмотрим относительное движение амортизируемой аппаратуры после воздействия 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. I, а) или принадлежностью внешнего объек-



Р и с. I

та, называемого в дальнейшем основанием, с которым аппаратура сталкивается (рис.1,б,в). Более того, безразлично, представляет амортизатор соответствующим образом оформленную конструкцию (рис.1,а) или просто прокладку (рис.1,в).

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; запишем уравнение относительного движения амортизируемой аппаратуры [5]

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + \beta \frac{dy}{dt} + cy = -mg, \quad (2)$$

где m - масса аппаратуры; β - коэффициент вязкого трения амортизатора; c - жесткость амортизатора.

Уравнение (2) можно записать в другом виде, вводя понятия коэффициента относительного демпфирования β и собственной частоты колебаний ω_0 ,

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -2\beta\omega_0 \frac{dy}{dt} - \omega_0^2 y - g, \quad (3)$$

где $\beta = \frac{\beta}{2m\omega_0}$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$.

Коэффициент относительного демпфирования β , показывающий степень затухания энергии в амортизаторах, является одной из основных характеристик амортизатора. Значение коэффициента определяется при номинальной нагрузке на амортизатор и принимает значения соответственно для амортизаторов типа АИ и АЧ - 0,1; АД - 0,6...0,5 (наибольшее значение соответствует температуре наружного воздуха $t = -60^\circ\text{C}$); ДК - 0,4...0,5 [5,6].

При нахождении решения уравнения (3) необходимо учитывать начальное условие

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = -v_0, \quad (4)$$

где v_0 - относительная скорость соударяющихся тел в начальный момент времени.

Как видно из уравнений (3) и (4), перегрузка Δn_y при ударе является функцией по крайней мере четырех аргументов; β , ω_0 , v_0 , t , что предопределяет большие сложности при анализе. Уравнение (3) можно значительно упростить, если ввести вместо истинного времени безразмерное, т.е. $\bar{t} = \omega_0 t$, и решение находить относительно искомого параметра Δn_y в виде функции трех безразмерных аргументов $v_0 \omega_0 / g$, β и $\omega_0 t$. Тогда, после математических преобразований уравнение (3) можно записать в следующем виде:

$$\Delta n_y = \frac{d^2 y}{dt^2} = -(2\beta \frac{dy}{dt} + y) \quad (5)$$

при начальных условиях

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = \frac{v_0 \omega_0}{g} y_0; \quad y_0 = -1. \quad (6)$$

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 (5) 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, сум-

мирования, 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-I и электронно-лучевого 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 нелинейных блока. При отсутствии надобности в последних 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 декадные 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 с переключателями полярности (в данной работе они не используются), а также переключатели и кнопки непосредственного управления машиной.

Рядом с вольтметрами расположены также переключатели изменения масштаба шкалы и полярности сигнала.

Оставим структурную схему, позволяющую решить дифференциальное уравнение 2-го порядка (5). 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 m_x физической переменной понимают отношение

$$m_x = \frac{U_x}{x} \quad (7)$$

где U_x - "машинная" переменная.

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

$$m_x = \frac{|U_x|_{max}}{|x|_{max}}, \quad (8)$$

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

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

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

$$\begin{aligned} v_0 &= 1 \dots 10 \text{ м/с,} \\ \omega_0 &= 2,5 \dots 100 \text{ 1/с,} \\ \beta &= 0 \dots 1. \end{aligned} \quad (9)$$

С учетом данных (9) максимальные значения начальных условий (6) и физических величин уравнения (5) будут следующими:

$$\left| \frac{v_0 \omega_0}{g} \right|_{max} = 100; \left| \frac{dy}{dt} \right|_{max} = 1; |\Delta n_y| = 200; y_{max} = 100.$$

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

$$U_{\ddot{y}} = -(2\beta \frac{m_{\ddot{y}}}{m_{\dot{y}}} U_{\dot{y}} + \frac{m_{\ddot{y}}}{m_y} U_y) = -(\beta U_{\dot{y}} + 0,5 U_y) \quad (10)$$

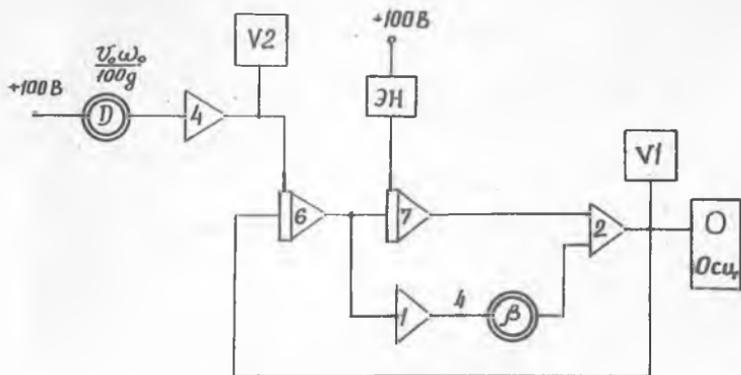
при начальных условиях

$$U_{\dot{y}0} = \frac{m_{\dot{y}}}{m_y} \frac{v_0 \omega_0}{g} U_{y0} = \frac{v_0 \omega_0}{g} U_{y0} = \frac{v_0 \omega_0}{100g} 100 U_{y0}; U_{y0} = 1B.$$

Полная моделируемая на АВМ система уравнений требует добавления к уравнению (10) еще двух уравнений интеграторов, имеющих в машинных переменных вид

$$\left. \begin{aligned} U_{\dot{y}} &= \frac{m_{\dot{y}}}{m_{\ddot{y}}} \int_0^t U_{\ddot{y}} dt + U_{\dot{y}0} = 2 \int_0^t U_{\ddot{y}} dt + U_{\dot{y}0} \\ U_y &= \frac{m_y}{m_{\dot{y}}} \int_0^t U_{\dot{y}} dt + U_{y0} = \int_0^t U_{\dot{y}} dt + U_{y0} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

По выражениям (10) и (11) построена структурная схема моделирования, приведенная на рис. 2. Схема предусматривает возможность исследования дифференциального уравнения при различных значениях коэффициентов $\frac{v_0 \omega_0}{100g}$ и β , изменяемых соответственно с помощью делителя напряжения и переменного резистора в цепи ОУ 2 (вход 4). С по-



Р и с. 2

мощью вольтметров $V1$, $V2$ и электронно-лучевого индикатора Н-6 осуществляется контроль параметров $\Delta n_{ij} = 2U_{ij}$ и $\frac{v_0 \omega_0}{100g}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При выполнении работы следует иметь в виду, что АВМ 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 220 В к блокам ВЭС-І и И-6.
2. Включить тумблер "СЕТЬ" на передних панелях ВЭС-І и И-6, дать прогреться лампам не менее 3 мин.
3. Включить тумблер "АНОД" на передней панели ВЭС-І. Выдержать время до погасания ламп сигнализации перегрузок 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 $\frac{v_0 \omega_0}{100g}$, которое определяется как отношение напряжения вольтметра $V2$ к 100 В, подаваемому на вход делителя,

$$\frac{v_0 \omega_0}{100g} = \frac{U_2}{100}$$

7. С помощью переменного резистора в цепи ОУ 2 (вход 4) установить заданное значение коэффициента β . Для этого необходимо на наборном поле вынуть штекер из гнезда "ВХОД Ч" и дополнительным шнуром соединить гнездо "ВХОД Ч" и гнездо "+100В".

В Н И М А Н И Е! Во избежание выхода из строя МН-7М соблюдайте порядок подачи на вход ОУ напряжения +100 В и снятия его со входа ОУ, проводимого в обратной последовательности.

Значение коэффициента β определить как отношение напряжения вольтметра $V1$ к 100 В, поданным на вход ОУ, $\beta = \frac{U_1}{100}$. Снять с входа ОУ 2 напряжение +100 В, соблюдая обратную последовательность разъединения шнуровой коммутации. Восстановить схему соединения ОУ 2 и ОУ 1.

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 индигировано 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 значений коэффициентов β и $\frac{v_0 \omega_0}{100g}$.

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

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема моделирования.
3. Осциллограммы переходных процессов $\Delta n_y = f(t)$ при $\frac{v_0 \omega_0}{100g} = var$ и $\Delta n_y = f(t)$ при $\beta = var$.
4. 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?

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 и 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.

Составитель Александр Васильевич Капцов

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РЭА

Редактор Е.Д.Антонова

Техн.редактор Н.М.Каленюк

Корректор Л.Я.Чегодаева

Подписано в печать 25.08.88.

Формат 60x84^I/16. Бумага оберточная белая.

Печать оперативная. Усл.п.л. 0,7. Уч.-изд.л. 0,6.

Т.300 экз. Заказ № 7267. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип.им.В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического
объединения. 443099, г. Куйбышев, ул.Венцека, 60.