

## 1.13. РАСЧЕТ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ УДАРОВ И ВИБРАЦИЙ

**Цель лекции:** проведение расчета на воздействие ударов и вибраций приборных конструкций.

### 1.13.1. РАСЧЕТ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА

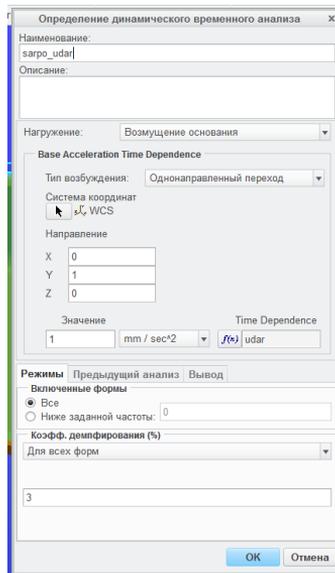
Расчет проводится с целью определения ударного ускорения, действующего на компонентную базу, и напряжений в модели. Перед постановкой переходного анализа нужно поставить и решить модальный.

В качестве исходных данных требуется амплитуда, длительность, форма ударного импульса. Иногда дополнительно задается частота следования импульсов (скважность). Если форма импульса не задана, то расчет ведется по синусоидальной форме.

Анализ проводится следующим образом:

- создается переходной анализ,
- создаются и размещаются необходимые динамические измерители, собирающие данные для графиков или вычисляющие максимальные значения;
- проводится анализ;
- анализируется результат.

Создаем анализ («Файл – Новый динамический – Переходной»), задаем параметры анализа (рис. 1.114).



**Рис. 1.114.** Задание параметров динамического временного анализа

Выбираем вид воздействия – возмущение основания, что соответствует воздействию, проходящему через закрепления.

Задаем функцию, определяющую характеристики ударного импульса (рис. 1.115). Для синусоидального импульса можно применить следующее выражение:

$$If (time < 0.015, 20 * 9800 * \sin(time / 0.015 * \pi), 0),$$

где 0,015 – время импульса в с, 20\*9800 – амплитуда (20g в мм/с<sup>2</sup>), time – переменная времени.

Определение функции

Наименование  
удар

Описание

Определение

Тип  
Символьная

Символьное выражение  
if (time<0.015, 15\*9800\*sin(time\*pi/0.015),0)

Доступные компоненты функции ...

Предупреждение  
Угловые координаты, аргументы тригонометрических функций и значения, возвращаемые обратными тригонометрическими функциями, интерпретируются как радианы.

ОК    Просмотр    Отмена

Рис. 1.115. Окно задания функции

Если нажать «Обзор», то для диапазона от 0 до 0,02 с график входного импульса будет выглядеть, как показано на рис. 1.116).

Возвращаемся к исходной форме. Расчет необходимо проводить отдельно для каждого из 3-х направлений, задавая последовательно направления 1,0,0; 0,1,0; 0,0,1. Следует учитывать, что амплитуда этого вектора «умножается» на введенную функцию, поэтому сюда можно выносить постоянный множитель. Задаем расчет относительно «основания», чтобы система вычисляла абсолютные значения ускорений, а не разницу, которую к входному воздействию добавляет модель.

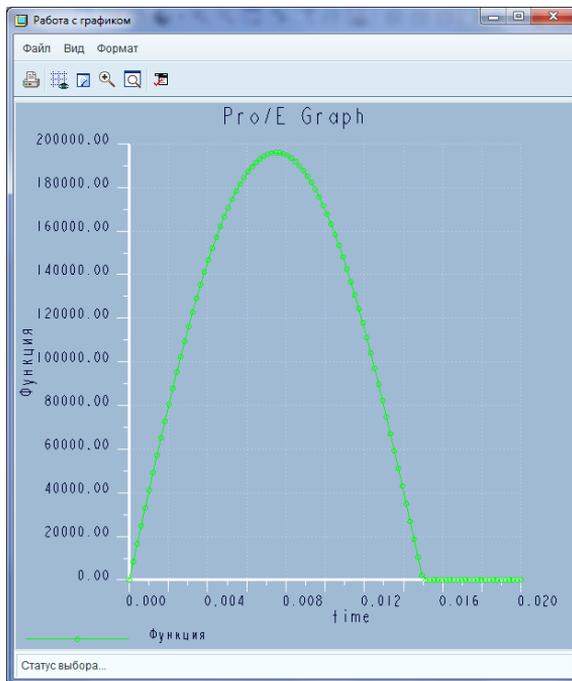


Рис. 1.116. График функции возмущения основания

Задаем число используемых форм, коэффициент демпфирования.

Коэффициент демпфирования выбирается исходя из материала компонента, «соединяющего» модель и носитель. Коэффициент задается как разница между амплитудой соседних периодов колебаний, выраженная в процентах. Коэффициент зависит от частоты колебаний, однако для частот в пределах 2 кГц и с относительно небольшой амплитудой в воздушной среде такой зависимостью можно пренебречь.

Обычно для колебаний в воздушной среде используют значения коэффициентов, приведенные в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Коэффициенты демпфирования различных материалов

Материал	Коэффициент демпфирования, %
Металлические сплавы	3
Пластики	4 – 8
Резина амортизаторы АД, АЧ	6 – 10
Амортизаторы АФД	20 – 40
Амортизаторы АПН	30 – 60

На вкладке «Предыдущий анализ» необходимо выбрать тот модальный анализ, который будет задействован в расчете. Опция «Использовать результаты проработки» позволяет не перезапускать модальный анализ, экономя

время. Однако в этом случае необходимо самим заботиться о том, чтобы результаты модального анализа соответствовали модели. Если опцию не использовать, то модальный анализ будет вовлечен в переходной и последовательно будут запущены и один, и второй анализы.

На вкладке «Вывод» необходимо указать, какие величины рассчитывать (рис. 1.117).

Определение динамического временного анализа

Наименование: sagro\_udar

Описание:

Нагружение: Возмущение основания

Base Acceleration Time Dependence

Тип возбуждения: Однонаправленный переход

Система координат: WCS

Направление

X: 0

Y: 1

Z: 0

Значение: 1 mm / sec<sup>2</sup> Time Dependence: f(t) удар

Режимы: Предыдущий анализ **Вывод**

Вычислить

Смещения, скорости, ускорения относительно: Основание

Напряжения

Повороты

Массовые коэфф. вклада

Шаги вывода

Пользовательские шаги вывода

Число главных шагов: 101

1.	0	<input type="checkbox"/> Все результаты
2.	0.0003	<input type="checkbox"/> Все результаты
3.	0.0006	<input type="checkbox"/> Все результаты
4.	0.0009	<input type="checkbox"/> Все результаты
5.	0.0012	<input type="checkbox"/> Все результаты
6.	0.0015	<input type="checkbox"/> Все результаты

Шагов вывода измерений на главный шаг: 1

Шаги пользователя

Равномерно

OK Отмена

Рис. 1.117. Вкладка «Вывод» окна параметров динамического временного анализа

Вместо автоматических интервалов вывода рекомендуется устанавливать пользовательские, перекрывая по времени анализа как минимум две длительности импульса. Опция «Все результаты» напротив каждого шага означает, что в каждый момент времени будет рассчитана моментальная картина распределения напряжений и перемещений. Время анализа в этом случае увеличивается.

Перед запуском анализа необходимо создать динамические измерители, иначе ударные ускорения и максимальные характеристики за время анализа рассчитаны не будут.

Создадим следующие измерители: ускорение на каждом шаге для поверхности платы, т.к. там находятся компоненты, напряжение на каждом шаге для всей модели (рис. 1.118, 1.119 и 1.120).

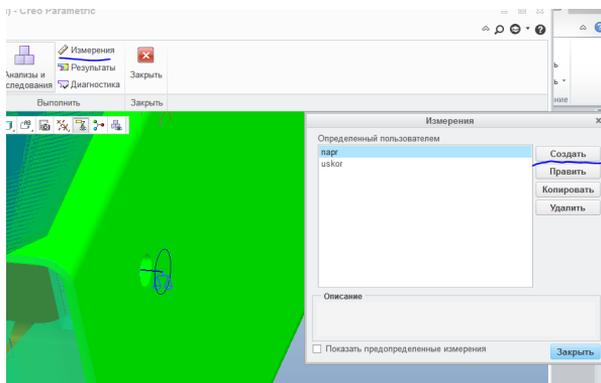


Рис. 1.118. Создание измерителя

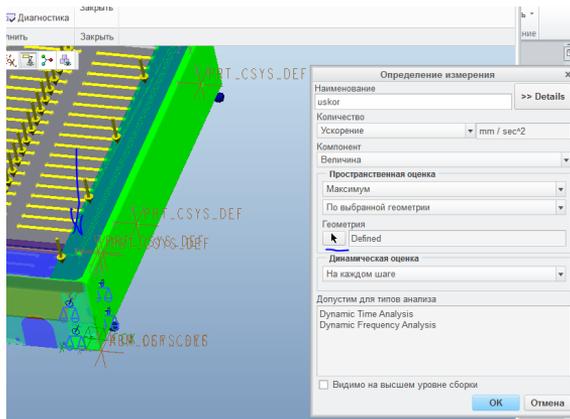


Рис. 1.119. Выбор геометрии для измерителя

В качестве геометрии нужно выбрать поверхность печатной платы (в данном случае средствами выбора «скрытых» объектов).

При задании измерителей нужно проводить оценку по времени/частоте, иначе измерители в динамических анализах работать не будут. Можно также ставить метку времени. Это такой измеритель, который содержит время возникновения расчетного значения (в данном случае – время возникновения максимального напряжения).

Следует назначать измерители оптимально, т.к. чрезмерное их количество увеличивает время анализа.

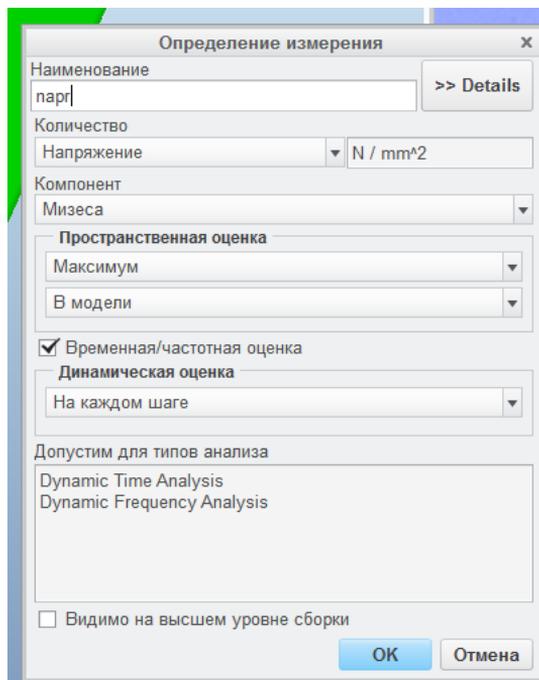


Рис. 1.120. Задание параметров измерителя

Далее проводим анализ.

В результате расчета запускаем постпроцессор, строим графики, в качестве величины нужно выбирать «измерение» и затем требуемый измеритель (рис. 1.121). Результат представлен на рис. 1.122.

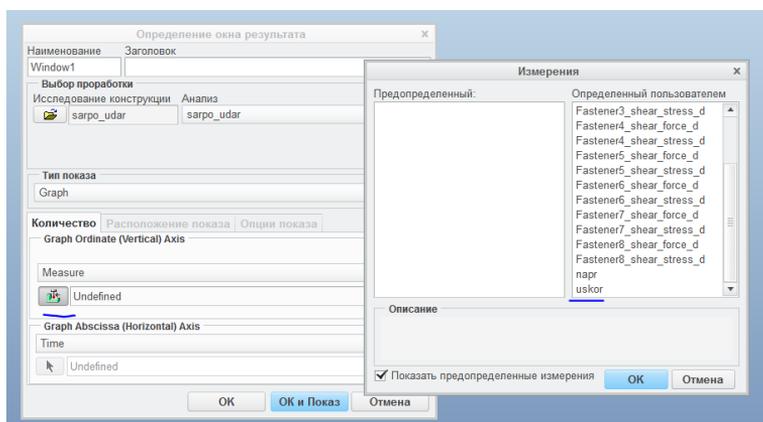
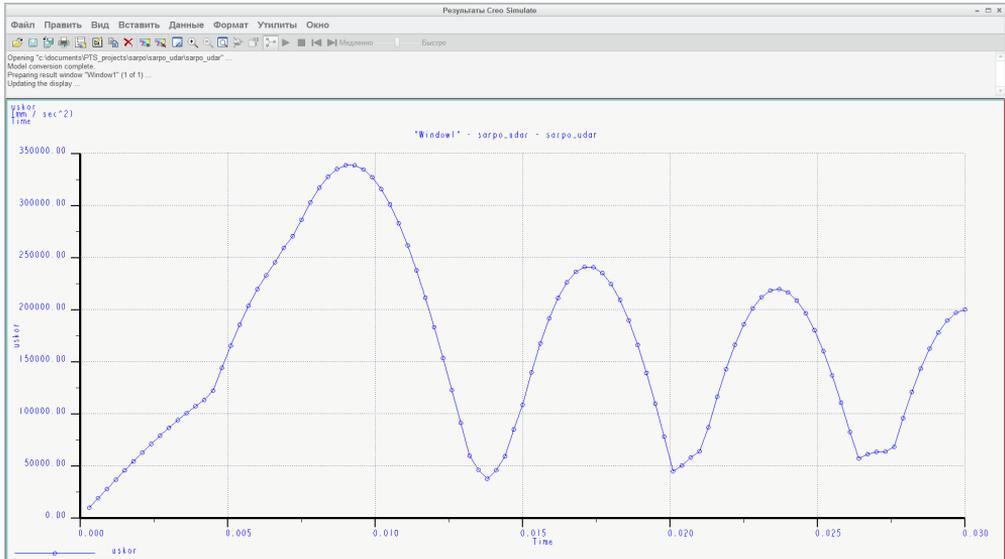


Рис. 1.121. Выбор измерителя для отображения результатов



**Рис. 1.122.** График отклика на приложенное воздействие

В результате анализа графиков принимают решение о внесении изменений в модель. Цель этих изменений – достижения большей разницы между временем импульса и периодом собственных колебаний модели. Применяется либо амортизация, либо ужесточение конструкции.

### 1.13.2. РАСЧЕТ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВИБРАЦИЙ

Расчет на гармонические воздействия проводится аналогично расчету на ударные, за исключением задания внешних воздействий, поэтому следует изучить материал раздела 1.13.1 с отличиями, указанными ниже.

Создаем «Новый динамический – Гармонический» анализ. В качестве входной функции берем на этот раз распределение виброперегрузки по диапазону частот. Обычно распределение задается как амплитуда виброускорения в диапазоне частот. Такое внешние воздействие удобнее задавать в виде таблицы.

Зададим для примера входное воздействие в диапазоне до 1000Гц с перегрузкой 20g (рис. 1.123, 1.124).

Расчет также проводится для возмущения основания в трех направлениях. При этом также нужно использовать динамические измерители, описанные в разделе 1.13.1 (рис. 1.125).

Задаем диапазон расчета от 0 до 1000 Гц, 100 шагов (рис. 1.126).

Включаем расчет, дождаемся его окончания, запускаем постпроцессор. Получаем графики измерителей (рис. 1.127).

По этим графикам можно сделать вывод о том, выдерживает или нет элементная база возникающие перегрузки. Целью коррекции конструкции здесь также является либо вывод резонансных частот за пределы внешних воздействий при помощи создания более жесткой конструкции, либо введение амортизации.

Dynamic Frequency Analysis

Наименование: harmonic

Описание: harmonicheskie vozdejstvia

Нагружение: Возмущение основания

Base Acceleration Frequency Dependence

Тип возбуждения: Однонаправленный переход

Система координат: X, Y, WCS

Направление

X: 0

Y: 1

Z: 0

Значение: 9800 mm / sec<sup>2</sup>

Амплитуда: f(x) vvozhd

Фаза (радианы): f(x) zero

Режимы: Предыдущий анализ | Вывод

Включенные формы

Все

Ниже заданной частоты: 0

Козфф. демпфирования (%)

Для всех форм

3

OK Отмена

Рис. 1.123. Окно задания параметров динамического гармонического анализа

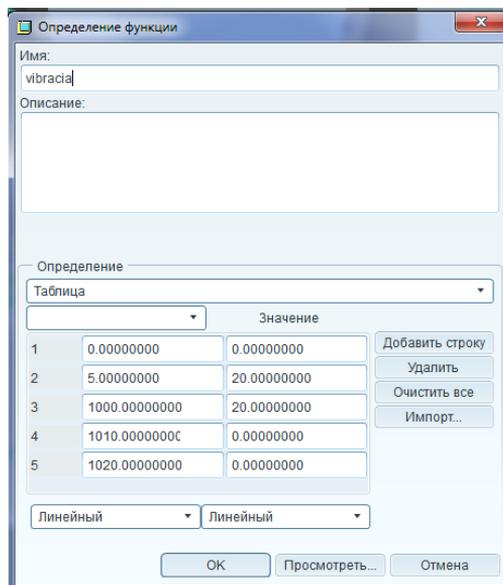


Рис. 1.124. Задание внешнего воздействия в виде таблицы

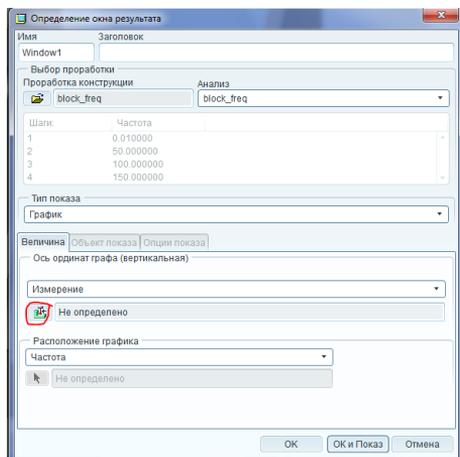


Рис. 1.125. Выбор измерителя для отображения результатов

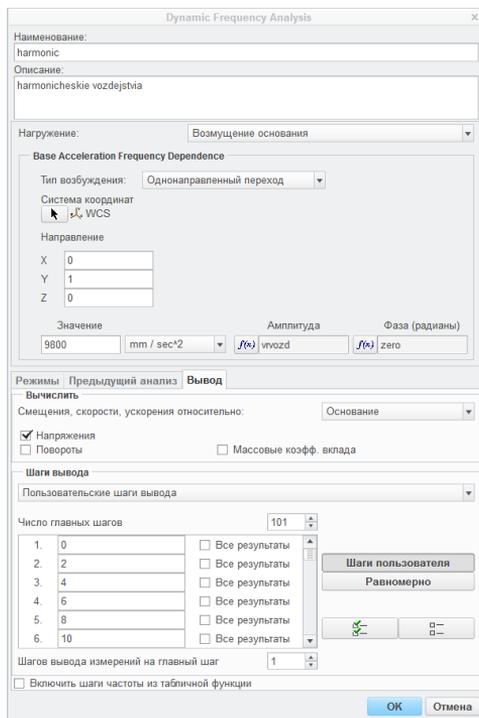


Рис. 1.126. Вкладка «Вывод» окна параметров динамического гармонического анализа

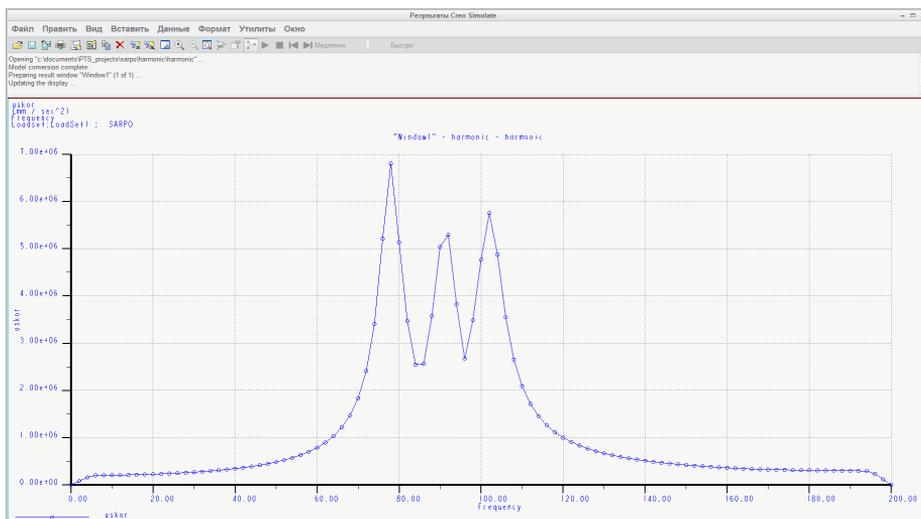


Рис. 1.127. График отклика на приложенное воздействие

### 1.13.3. РАСЧЕТ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СЛУЧАЙНЫХ ВИБРАЦИЙ

Расчет на действие случайных вибраций проводится аналогично описанному в рассмотренных выше разделах «Расчет на воздействие ударного импульса» и «Расчет на воздействие гармонических вибраций».

В качестве входной функции теперь берется плотность вероятности распределения энергии колебаний в зависимости от диапазона частот. Единицами измерения является  $\frac{g^2}{Гц}$ . Целью расчета является получение среднеквадратических величин ускорений и напряжений. Рекомендуется изучить ГОСТ 30630.1.9-2002.

Вводим входную функцию (рис. 1.128).

Согласно ГОСТ 30630.1.9-2002 задаем частотную дискретизацию и ставим галочки «Вычислять среднеквадратические значения ускорений и напряжений». Вне зависимости от того, задана или нет частотная функция вблизи 0 Гц, входная функция должна описывать значения вблизи 0 Гц. Так же следует ввести шаги около 0 в частотную дискретизацию (рис. 1.129).

Динамические измерители из рассмотренных выше разделов «Расчет на воздействие ударного импульса» и «Расчет на воздействие гармонических вибраций» в данном случае неприменимы, т.к. воздействие происходит повсеместно во всем спектре. В качестве результатов получаем вероятностные величины, распределенные по модели – среднеквадратические результаты напряжений, перемещений, ускорений.

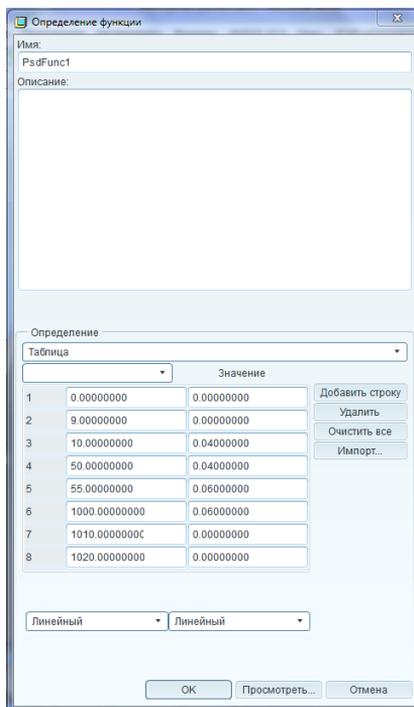


Рис. 1.128. Определение входной функции

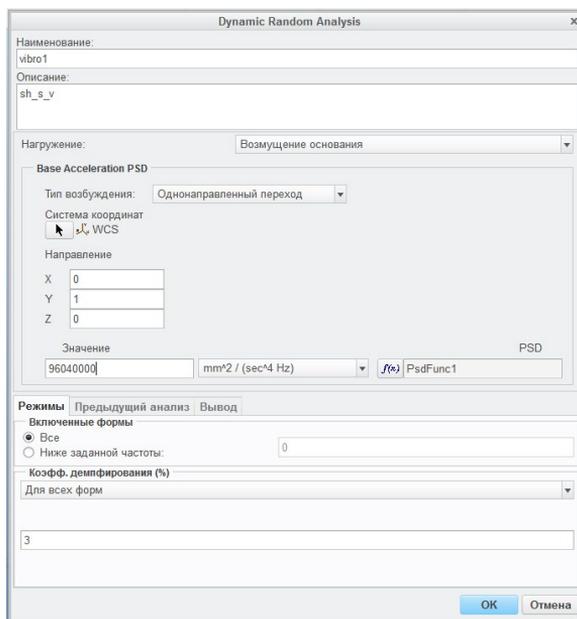


Рис. 1.129. Определение параметров расчета на воздействие случайных вибраций

### Тесты к лекции 13

1. Какие величины обязательно необходимо задать в качестве исходных данных расчета на воздействие ударного импульса?
  - а) амплитуда, длительность, форма ударного импульса;
  - б) амплитуда, длительность;
  - в) амплитуда, длительность, скважность ударных импульсов.
2. Если форма ударного импульса не задана, то расчет ведется по:
  - а) треугольной форме;
  - б) синусоидальной форме;
  - в) форме единичного импульса.
3. Сколько длительностей импульса следует перекрывать пользовательскими интервалами вывода?
  - а) не имеет значения;
  - б) одну;
  - в) как минимум две.
4. Требуется ли наличие выполненного предшествующего анализа для расчета на воздействие ударного импульса?
  - а) нет, не требуется;
  - б) да, требуется статический анализ;
  - в) да, требуется модальный анализ.
5. Какие результаты получаются в расчете на действие случайных вибраций?
  - а) энергия колебаний;
  - б) распределение виброперегрузки;
  - в) среднеквадратические величины напряжений, перемещений, ускорений.