

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИБОР ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА УДАРНОМ СТЕНДЕ

В. Б. Ерёмин

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва

В работе рассматривается вопрос о необходимости испытаний приборов в условиях наиболее приближенных к реальным условиям. Такие условия могут быть созданы при нагружении объекта испытаний (ОИ) в продольном и поперечном направлениях одновременно.

Для создания такого способа нагружения ОИ предполагается дополнить существующие ударные стеллы устройством - средством испытаний (далее – устройство), реализующим двухосное нагружение объекта.

В докладе описаны способ и устройство, реализующие, близкий к реальному, режим нагружения ОИ, основанный на изменении ориентации ОИ относительно направления ударного воздействия стеллы.

Введение

Разработка ударостойких приборов связана с необходимостью обеспечения их работоспособности в условиях высокоинтенсивного нагружения их на ударном стенде. Нагружение представляет собой двухосное ударное воздействие на прибор в продольном и поперечном направлениях одновременно. При этом, в продольном направлении воздействие имеет колебательный характер: амплитуда ускорения $\approx 10^4$ у.е., длительность действия $\approx 7...10$ у.е. и частота ≈ 1 кГц, а в поперечном направлении – одиночный удар с амплитудой ускорения $\approx 0,5 \cdot 10^4$ у.е. и длительностью действия ≈ 2 у.е.

До настоящего момента испытания проводят раздельно, что является экономически нецелесообразным. Следует отметить, что, как правило, для каждого вида испытаний (в продольном или поперечном направлении) используют отдельные образцы прибора. В результате чего, единственным способом подтверждения работоспособности прибора являются испытания его в составе изделия, что также достаточно затратно и требует согласованной работы сотрудников и служб нескольких предприятий.

Предполагается существующие ударные стеллы дополнять устройством, реализующим двухосное нагружение ОИ, что позволит максимально приблизить условия нагружения образца прибора к реальным по характеристикам ударного воздействия и сократить количество испытаний и затраты на них.

В работе:

– приведено теоретическое обоснование способа и устройства, реализующего, близкий к реальному, режим нагружения ОИ, основанного на изменении ориентации ОИ относительно направления ударного воздействия стеллы;

– показано возможное конструктивное исполнение устройства для выбранной компоновочной схемы разрабатываемого образца прибора;

– приведены результаты численного обоснования напряженно-деформированного состояния материала устройства, которые позволяют прогнозировать режим нагружения образца прибора при высокоинтенсивном ударном воздействии на ударном стенде.

Обеспечение близкого к реальному, режима нагружения ОИ, основанного на изменении ориентации ОИ относительно направления ударного воздействия стеллы

В настоящее время существует необходимость обеспечения близкого к реальному режиму нагружения ОИ, характеризующегося продольной и поперечной составляющими ударного ускорения, рис. 1.

Характер изменения ударного ускорения от времени в продольном направлении ОИ объясняется ударно-волновыми процессами, проходящими с ОИ

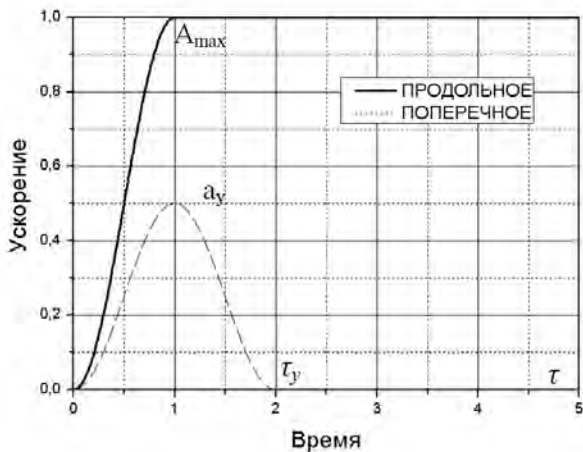


Рис. 1. Изменение ударного ускорения от времени при продольном и поперечном нагружении ОИ

при нагружении его на ударном стенде, а также жесткостными свойствами самого ОИ.

Изменение ударного ускорения от времени в поперечном направлении ОИ определяется условиями нагружения на стенде. Вследствие этого, характер продольной и поперечной составляющих различается. Вариант решения поставленной задачи, обеспечения двухосевого нагружения ОИ за счет расположения продольной оси ОИ под углом к направлению действия основной нагрузки ударного стенда, не позволяет реализовать различный характер изменения от времени продольной и поперечной составляющих ударного ускорения ОИ.

Реализация двухосевого ударного воздействия на ОИ за счет изменения ориентации осей ОИ относительно направления внешнего ударного воздействия ударного стенда позволит уменьшить количество испытаний и приблизить режим нагружения ОИ к реальному.

Предлагаемые способ и устройство-СИ на нем основанное, принципиально отличаются от применяемых в настоящее время ударных стендов, способных реализовать ударное воздействие только в одном направлении главной оси стенда. Принцип работы предлагаемого устройства основан на изменении ориентации главных осей ОИ относительно направления внешнего воздействия ударного стенда и возникающей вследствие этого боковой составляющей ударного ускорения ОИ [1].

При этом в конструкции ударного стенда не предполагается использование дополнительного независимого источника ударного воздействия на ОИ, что требует решения проблемы синхронизации и разброса времени срабатывания (например, использование порохового газогенератора для бокового воздействия на ОИ).

Выбор конструктивного исполнения устройства

Движение ОИ, закрепленного на устройстве в составе контейнера, можно рассматривать как сложение переносного (движение контейнера) и относительного (ОИ относительно контейнера). На рис. 2 показана кинематическая схема устройства.

Тогда ускорение ОИ относительно неподвижного наблюдателя определяется по формулам:

$$a_x = a_e - a_n \cos(\varphi) + a_\tau \sin(\varphi); \quad (1)$$

$$a_y = a_n \sin(\varphi) + a_\tau \cos(\varphi); \quad (2)$$

$$a_\tau = \ddot{\varphi}R; \quad (3)$$

$$a_n = \dot{\varphi}^2 R, \quad (4)$$

где a_x , a_y – продольная и поперечная составляющие ударного ускорения ОИ относительно неподвижного наблюдателя; a_e – переносная составляющая ударного ускорения ОИ (ускорение контейнера); a_n , a_τ – нормальная и касательная составляющие ударного

ускорения ОИ при его движении относительно контейнера; φ – угол поворота осей ОИ относительно контейнера; $\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ – первая и вторая производные по времени от угла поворота ОИ; R – радиус вращения центра масс ОИ относительно контейнера.

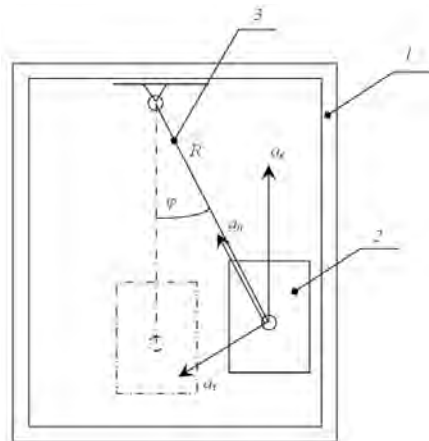


Рис. 2. Кинематическая схема устройства: 1 – контейнер; 2 – объект испытаний; 3 – упругая связь

Способ моделирования ударной нагрузки на ОИ в двух взаимно перпендикулярных направлениях заключается в том, что, выбирают жесткостные и габаритные характеристики упругой связи, соединяющей ОИ и контейнер. Затем ОИ закрепляют на упругой связи с возможностью его плоскопараллельного движения и сложения его поступательного и вращательного движения относительно контейнера. Упругая связь в виде жестких направляющих элементов располагается таким образом, чтобы, обеспечивать сложение поступательного и вращательного относительно контейнера движения ОИ. Начальная величина отклонения упругой связи от положения равновесия (угол φ) определяет значение амплитуды боковой составляющей ударного ускорения.

На рис. 3 показана схема устройства, реализующего предложенный способ обеспечения двухосевого ударного нагружения ОИ.

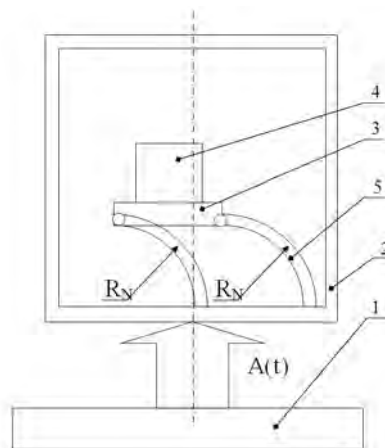


Рис. 3. Схема устройства: 1 – узел формирования внешнего ударного воздействия стенда; 2 – контейнер; 3 – оснастка для крепления ОИ; 4 – ОИ; 5 – упругая связь (жесткие направляющие); R_N – радиус кривизны упругой связи

Как видно из рис. 3, конструкция устройства должна обеспечивать плоскопараллельное движение ОИ относительно контейнера. Кривизна упругой связи (направляющие) определяет значение боковой составляющей ударного ускорения согласно формулам:

$$a_{\tau} = a_e \sin(\varphi_0); \quad (5)$$

$$a_n = a_e \cos(\varphi_0); \quad (6)$$

$$a_x = 2a_e \cos(\varphi_0)^2; \quad (7)$$

$$a_y = a_e \sin(2\varphi_0). \quad (8)$$

Для примера, рассмотрим нагружение ОИ на бросковом ударном стенде, когда необходимо обеспечить амплитуду поперечного ускорения ОИ на уровне $5 \cdot 10^4 \text{ м/с}^2$, при уровне продольного ускорения $10 \cdot 10^4 \text{ м/с}^2$. Тогда согласно формулам (5)–(8) начальный угол между продольной осью ОИ и направлением действия внешней нагрузки должен составлять $\varphi_0 \approx 26,5^\circ$. При длительности действия поперечной составляющей ударного ускорения на ОИ $\tau_y = 1 \text{ мс}$ угловая скорость ОИ должна составлять $\omega_0 = 464 \text{ рад/с}$. Радиус кривизны направляющих определяется по формуле:

$$R_N = \frac{a_e \cos(\varphi_0)}{\omega_0^2} \quad (9)$$

и составляет $R_N = 0,257 \text{ м}$. Поперечное смещение ОИ составит $\Delta y = R_N \sin(\varphi_0) = 0,115 \text{ м}$.

Принцип работы устройства заключается в следующем, см. рис. 3. Перед проведением испытаний для заданных массы M_O ОИ 4 и требуемых параметров ударного ускорения в продольном и поперечном направлениях (амплитуда A_{\max} и длительность τ действия каждого импульса) ОИ выбираются параметры узла формирования внешнего ударного воздействия и упругой связи (жесткостные характеристики и габариты).

В результате работы узла формирования внешнего ударного воздействия 1, например, в виде камеры высокого давления с источником газов высокого давления, стенда моделирования ударной нагрузки на ОИ 4, контейнер 2, как жесткое тело, получает в осевом направлении ударное ускорение с заданными параметрами. Параметры упругой связи 5, выполненной в виде направляющих элементов с радиусом кривизны R_N , выбираются такими, что ОИ совершает сложное (плоскопараллельное) движение, состоящее из поступательного движения контейнера и вращательного относительно контейнера движения. Вследствие того, что упругая связь состоит из двух или более направляющих элементов, движение ОИ является плоскопараллельным, и все его точки имеют одинаковые амплитуды и длительности ударного ускорения. В результате, объект испытаний и стол испытывают ударное ускорение a_y (поперечное), направленное ортогонально направлению действия узла формирования внешнего ударного воздействия.

Параметры поперечного ударного воздействия определяются суммарной массой объекта испытаний, стола, упругой связи, а также начальным углом отклонения от положения минимума потенциальной энергии и параметрами внешнего ударного воздействия (амплитудой и длительностью). При действии внешнего ударного ускорения ОИ и стол плоскопараллельно перемещаются к положению минимума потенциальной энергии в поле сил инерции внешне-го ударного воздействия.

Расчетные оценки параметров нагружения ОИ с использованием устройства

Для оценки работоспособности устройства и параметров режима нагружения ОИ были проведены численные расчеты по определению параметров ударного нагружения ОИ и условий функционирования устройства.

На рис. 4 показана схема взаимного расположения контейнера, устройства и ОИ.

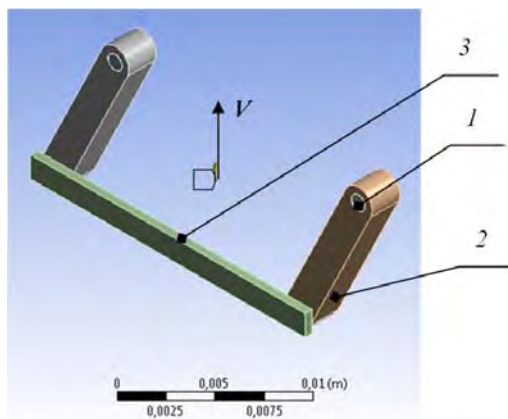


Рис. 4. Схема взаимного расположения контейнера, устройства и ОИ: 1 – оси, закрепленные в контейнере; 2 – направляющие траверсы; 3 – стол с закрепленным ОИ; V – направление действия внешней нагрузки

В состав устройства входит стол с закрепленным на нем ОИ 3, две оси вращения 1, установленные в контейнере, и две вращающиеся траверсы 2. Стол 3 соединен с траверсами 2 с возможностью вращения последних относительно стола. Расстояние от центра осей вращения составляет $0,257 \text{ м}$. При массе ОИ $1,5 \text{ кг}$ масса устройства составляет порядка 8 кг .

Граничные условия в задаче нагружения ОИ на бросковом ударном стенде задавались в виде навязанной скорости движения $V(t)$ контейнера (осей вращения), изменяющейся по закону от времени, показанному на рис. 5.

В численных расчетах материал демпфирующего устройства (алюминиевый сплав В95) задавался уравнением состояния в форме Ми–Грюнайзена.

На рис. 6 представлены зависимости ускорения от времени, реализующиеся в любой точке ОИ (например, центре масс), при нагружении ОИ на бросковом ударном стенде.

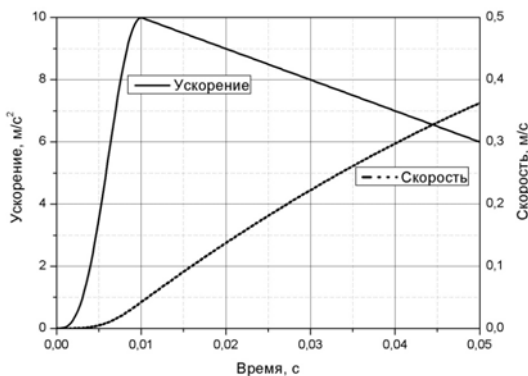


Рис. 5. Скорость движения $V(t)$ контейнера и зависимость ускорения от времени

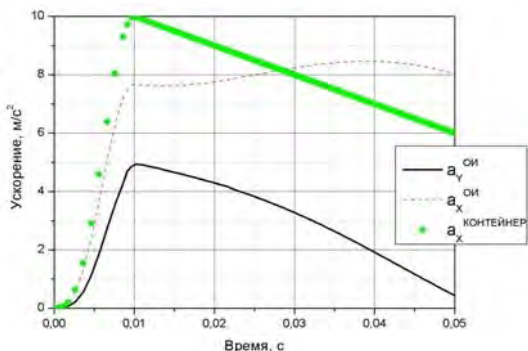


Рис. 6. Зависимости ускорения от времени при нагружении ОИ: $a_{y}^{ОИ}$ – поперечная составляющая ударного ускорения; $a_{x}^{ОИ}$ – продольная составляющая ударного ускорения; $a_{x}^{КОНТЕЙНЕР}$ – внешнее ударное ускорение

Как видно на рис. 6, режим нагружения ОИ, реализуемый в центре масс ОИ, имеет продольную и поперечную составляющие ударного ускорения с амплитудой $8,5 \text{ м/с}^2$ в продольном и 5 м/с^2 в поперечном направлениях. При этом внешнее ударное воздействие осуществлялось в направлении главной оси стэнда.

Заключение

На основе проведенных расчетно-аналитических оценок возможности создания устройства, преобразующего ударное воздействие в направлении главной оси стэнда в двухосевое ударное воздействие на ОИ, можно сделать следующие выводы:

1. Конструкция устройства технологична и проста, а габаритно-массовые характеристики, определяющие параметры ускорения ОИ, легко прогнозируемы.
2. Количественные характеристики элементов устройства варьируются в широком диапазоне в зависимости от требуемых параметров ускорения ОИ, а также не требуют доработки основных средств испытаний (элементов ударного стэнда).
3. Предлагаемые способ и устройство обеспечивают двухосевой режим нагружения ОИ с заданным уровнем параметров (амплитуда и длительность ударного ускорения) ударного импульса в двух взаимно перпендикулярных направлениях (в продольном и поперечном) и уменьшение количества испытаний.