

ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ СТЕНДОВЫХ РАЗГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ С УЧЕТОМ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Самсонов В.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Одной из важных проблем в практике виброиспытаний является оценка достоверности получаемых экспериментальных данных, основанная на определении погрешностей в цепи преобразования реального сигнала. По мере усложнения измерительных систем, при увеличении массы и габаритов испытываемых объектов существующие методы расчета погрешностей необходимо дополнять учетом влияния новых факторов, характерных для данного вида испытаний. При проведении экспериментальных исследований необходимо знать граничные условия или ограничения, накладываемые на объект исследований, частотный диапазон, количество форм колебаний, подлежащих определению и др. Измерения частотной характеристики и функции когерентности, выполненные между предполагаемыми точками приложения возбуждения и точками, находящимися за пределами исследуемой конструкции, позволяют установить, что наложенные граничные условия не всегда удовлетворяются во время проведения исследований. Следовательно, результаты измерения могут быть использованы для улучшения задания граничных условий. Например, можно изменить давление в пневмобаллонах, длину и ориентацию упругих тросов подвески, вес инерционных масс, а также описание режима работы оборудования, установленного рядом с опорной плитой. Эти исследования помогают в решении таких проблем, как недостаточная поперечная жесткость конструкции, ее предварительное нагружение и др.

На данном этапе исследований можно решить вопрос расстановки оборудования возле испытательного стенда, в том числе упругодемпфирующих разгрузочных устройств, маломощных источников динамического возбуждения, силовых компенсаторов. Возможно также формирование структуры разгрузочных устройств и их расчетных и экспериментальных моделей. Полученная информация позволит получить: приблизительное значение собственных частот и форм колебаний в заданном частотном диапазоне; перечень степеней свободы, по которым можно возбудить любую из нужных форм; усреднение, необходимое для оценки динамики конструкции; другие требования к системе обработки сигналов; методы возбуждения,

снижающие ошибки за счет демпфирования и смещения точек приложения возбуждения; методы предварительной обработки данных [1,2].

Предлагается рассмотреть основы поэтапного анализа погрешностей, возникающих в процессе виброиспытаний, с учетом некоторых граничных условий, в частности, связанных с параметрами опорных узлов.

Качество проводимых испытаний влияет на достоверность получаемых результатов, а следовательно на решение о пригодности изделия к эксплуатации. Процесс виброиспытаний условно можно представить в виде нескольких последовательных этапов: выбор и назначение вибрационного испытательного сигнала; назначение времени испытаний T ; моделирование с помощью вибростенда назначенного испытательного сигнала \tilde{f} в течение назначенного времени испытания T и проведение необходимых измерений; обработка результатов испытаний и решение о пригодности изделия.

Предполагаем, что тип стенда выбран (электродинамический) и что испытательный сигнал \tilde{f} принадлежит классу моногармонических функций. Испытательный сигнал из этого класса, соответствующий заданному реальному процессу вибрации f_{op} , будет являться моделью заданного процесса вибрации.

Конструкция узла крепления изделия к вибростенду является абсолютно жесткой. В качестве граничных условий примем использование упругой подвески изделия для статической разгрузки системы вибровозбуждения. Исследуемые процессы детерминированные.

Рассмотрим процесс накопления погрешностей от момента записи реального вибрационного сигнала до момента измерения его при испытании на стенде.

Реальный вибрационный процесс f_{op} в большинстве случаев пространственный. Необходимо выбрать испытательный сигнал \tilde{f} , соответствующий f_{op} . Процесс f_{op} известен с определенной точностью, зависящей от вибропреобразователей и измерительной аппаратуры, т.е. известно не f_{op} , а f_o . При этой замене вносится погрешность выбора модели δ_M . Заменяя f_o периодическим процессом \tilde{f} вносим погрешность приближения δ_1 . Приближая \tilde{f} моногармоническим процессом \tilde{f} , вносим еще одну погрешность δ_2 . Отсюда следует, что при замене f_{op} его моделью \tilde{f} в классе моногармонических функций, вносится погрешность

$$\tilde{\rho}_m = \delta_M \otimes \delta_1 \otimes \delta_2, \quad (1)$$

где \otimes – символ связи, например, / 3/

$$\delta_M = \rho(f_{0P}, f_0) = \left[\sum_{i=1}^3 \|f_{0Pi} - f_{0i}\| \right]^{0,5};$$

$$\tilde{\rho}_M = \left[\sum_{\delta_i} \delta_i^2 \right]^{0,5} = \sqrt{\delta_M^2 + \delta_1^2 + \delta_2^2};$$

$$f_{0P} = (f_{01}, f_{02}, f_{03}); \delta_1 = \rho(f_0, f); \delta_2 = \rho(f_0, \tilde{f}_P).$$

Реальный стенд моделирует не выбранный сигнал \tilde{f} , а \tilde{f}_P . Погрешность между \tilde{f} и \tilde{f}_P называется инструментальной $\rho_{ин}$. При проведении испытаний на таком стенде из-за погрешности установки и крепления изделия на него действует не \tilde{f}_P , а f_{uc} . Погрешность между ними назовем погрешностью испытаний и обозначим ρ_{uc} .

При измерении получаем не f_{uc} , а $f_{из}$ и погрешность между ними назовем погрешностью измерения $\rho_{из}$. Таким образом погрешность может быть записана выражением

$$\rho_M^* = \rho_{ин} \otimes \rho_{uc} \rho_{из}. \quad (2)$$

На основании (1) и (2) можно записать выражение погрешности между реальным процессом вибраций f_{0P} и измеренным при моделировании на стенде

$$\Delta = \tilde{\rho}_M \otimes \rho_M^* = \delta_M \otimes \delta_1 \otimes \delta_2 \otimes \rho_{ин} \otimes \rho_{uc} \otimes \rho_{из}. \quad (3)$$

Таким образом достоверность испытаний может быть обеспечена за счет использования условий и технических средств, позволяющих минимизировать (3). За количественную меру качества моделирования принимается значение функционала ρ , характеризующего близость различных процессов, например,

$$\rho = (f, f) = \|f - \tilde{f}\| = \left[\sum_{i=1}^3 \|f_i - \tilde{f}_i\|^2 \right]^{0,5}$$

С введением количественной оценки качества моделирования основная задача может быть записана выражением

$$\Delta^* = \rho(f_{0P}, \tilde{f}_{из}^0) = \min \rho(f_{0P}, \tilde{f}_{из}). \quad (4)$$

Аналогично основной задаче (4) могут быть записаны выражения для частных задач рассматриваемого этапа.

Для проведения испытаний выбор моделирующего устройства с оператором A_P из заданного множества $\{A_P\}$ осуществляется по правилу

$$\rho_{ин} = \rho(\tilde{f}, (A_{Pi} \cdot x)) = \rho(\tilde{f}_0, \tilde{f}_P) \leq \rho_{инД}, \quad (5)$$

где $\tilde{f}_P = A_{P_i} \cdot x$; $A_{P_i} \in \{A_{P_i}\}, i = 1..N$; x – управляющее воздействие на стенде.

Задача выбора моделирующего устройства (5) может иметь неоднозначное решение, тогда можно найти лучший стенд с оператором, для которого

$$\rho_{ин}^* = \rho(\tilde{f}_0, (A_P^* \cdot x)) = \min \rho(\tilde{f}_0, \tilde{f}_P^*) \leq \rho_{ин Д}, \quad (6)$$

где $f_P^* = A_P^* \cdot x$.

Допускаемое значение инструментальной погрешности выбираем из условия

$$\rho_{ин}^* \leq \rho_{ин Д}. \quad (7)$$

Задаваемые операторы должны учитывать возможности испытательного оборудования и вспомогательных стендовых систем. Таковую возможность представляет описание элементов стендов в виде их динамических реакций (динамических податливостей), полученных на основе исследований моделей релаксационного демпфирования. На величину инструментальной погрешности оказывает влияние учет действующих в стендовой системе граничных условий, которые могут быть сгруппированы по различным признакам, например, по функциональным и габаритным ограничениям, по отношению к отдельным системам стенда, по видам проводимых испытаний, по экономическим показателям и т.д.

Рассмотрим некоторые граничные условия, относящиеся к разгрузочным устройствам вибростендов. Их учет отражен при выполнении алгоритма расчета подвесок, включающим следующие основные этапы.

Этап 1. Постановка задачи; определение технической функции подвески; определение технического задания на разработку; описание условий эксплуатации; определение конструктивных и эксплуатационных параметров, проектировочные расчеты.

Этап 2. Выбор конструктивной схемы; анализ предельных возможностей конструктивной схемы по реализации заданных функций; определение диапазона изменения конструктивных параметров; определение статических, динамических, энергетических характеристик различных конструктивных схем.

Этап 3. Определение характеристик внешнего нагружения разгрузочного устройства; определение спектральных характеристик динамических воздействий; определение передаточных функций элементов стенда (в том числе экспериментальным путем на местах установки испытываемых изделий).

Этап 4. Расчет точностных характеристик подвески; определение точности позиционирования, чувствительности характеристик разгрузочного устройства к регулирующим воздействиям; определение переходных характеристик в системе “объект испытаний -разгрузочное устройство “; определение соотношения матриц коэффициентов передачи частей системы и коэффициентов усиления для различных типов опор.

Этап 5. Выбор варианта расположения опорных узлов стенда в зависимости от габаритов изделия; размещение активных опор, систем контроля параметров и пневмоавтоматики; определение матрицы коэффициентов передаточных функций.

Этап 6. Выбор размеров несущих конструкций подвески, определение прочностных характеристик при статическом и динамическом нагружении; оценка габаритов, масс, центров и моментов инерции конструктивных элементов.

Этап 7. Определение обратного влияния в системе “изделие - разгрузочное устройство - вибратор“ для оценки чистоты и точности задаваемого и регистрируемых динамических сигналов.

Этап 8. Анализ и выбор способов компенсации смещений в подвеске по нескольким координатам, оценка связанности колебаний.

Этап 9. Комплексные проверочные расчеты подвески и ее экспериментальная отработка, выбор параметров согласующих элементов системы управления, контроля и питания; анализ вибрационных процессов; оценка свойств подвески в аварийном режиме; оптимизация конструктивных параметров.

Проведенный по алгоритму расчет дает необходимое множество операторов моделирующих устройств, которое однозначно допускает выполнение условий (6) и (7).

Предлагаемый подход к задаче моделирования элементов испытательных систем позволяет с единых позиций подойти к оценкам качества виброиспытаний и обеспечения их повторяемости, что в свою очередь повышает достоверность получаемых экспериментальных результатов.

Литература

1. Испытательная техника: В 2-х кн. / Под общ. ред. Ключева В.В. – М.: Машиностроение, 1982, – кн.2. 560с.
2. Методы автоматизированного исследования вибрации машин: Справочник /Добрынин С.А. и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 560с.
3. Гноевой А.В. О соотношении погрешностей в системе вибрационных испытаний // Метрология, 1972, № 4, – С. 18 – 23.