

# ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДИНАМИЧЕСКИХ СТЕНДОВ И МЕТОДЫ ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Самсонов В.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Разрабатываемые и используемые принципы создания эффективных стендовых устройств для проведения динамических испытаний сложных и тяжелых объектов (ЛА, КА и др.) отражены в постановке и решении комплекса научно-технических задач, основными из которых являются следующие.

## 1. Разгрузка вибростола от веса испытываемого изделия (обезвешивание стенда).

Максимальное толкающее усилие вибратора является его динамическим пределом по мощности и дает возможность определить максимально достижимое ускорение. При этом нельзя превышать максимальную заданную статическую нагрузку на вибростол, которая зависит от жесткости используемых упругих элементов в конструкции вибратора. Например, для электродинамического стенда средней грузоподъемности статическая нагрузка составляет не более 5 кН при максимальном толкающем усилии 200 кН.

Для разгрузки вибростола при испытаниях объектов с большой массой используются специальные разгрузочные устройства (РУ) различных типов и видов, которые воспринимают вес изделия. Эти устройства представляют собой механические (тросы, сильфоны), пневматические (резинокордные пневмобаллоны, газостатические опоры), гидравлические (гидроцилиндры) системы. Для эффективной работы при различных условиях эксплуатации эти устройства должны иметь минимальную собственную частоту, высокую статическую грузоподъемность, регулируемые демпфирующие характеристики, узлы для обеспечения изменения и поддержания уровня установки объекта при испытаниях, необходимую надежность и прочность.

В качестве РУ стендов предлагается использовать проточные и замкнутые одно- и многокамерные пневматические опоры с системами регулирования параметров.

## 2. Минимизация динамических воздействий со стороны стендового оборудования на характеристики испытываемого изделия.

Вспомогательные устройства, узлы и элементы стендов, необходимые для его работы, при действии вибрации вызывают силовые взаи-

С взаимодействия в многомассовой резонансной системе вибратор-опорные узлы-изделие. Эти взаимодействия изменяют параметры предварительной настройки в отдельных узлах (например, статические прогибы), искажают регистрируемые и управляющие сигналы, изменяют первоначально учитываемые граничные условия.

Наличие большого количества резонансов технологического и вспомогательного оборудования (резонансы опорных узлов, тросовых систем вывешивания, кабелей связи и др.) в частотном диапазоне испытаний искажают информацию о динамическом состоянии испытываемой конструкции. Подобные влияния должны быть исключены путем уточнения параметров в расчетных моделях, регулирования упругодемпфирующих и амплитудночастотных характеристик узлов стендовой системы (например, опорных связей), а также за счет компенсации этих влияний управляющими усилиями в активных элементах. Необходим также предварительный динамический расчет системы подвески для определения частотной области, где влияние опор на характеристики изделия минимально. В основном это достигается регулированием динамической жесткости системы, которое осуществляется по разработанным алгоритмам.

### 3. Учет и контроль обратных динамических воздействий в стендовой системе.

Резонансы конструкции, возникающие при динамических испытаниях с большими виброускорениями, вызывают значительные дополнительные нагрузки на вибростол и другие системы стенда. В результате этого может произойти исчерпание возможностей вибрационной установки по мощности и толкающему усилию и ее отключение. Кроме этого искажается задаваемый динамический сигнал, что отражается на достоверности экспериментальных данных.

Учесть обратное воздействие необходимо при анализе динамических характеристик отдельных элементов и испытательной системы в целом путем разработки критериев, согласно которым могут быть допущены определенные отклонения в получаемых с изделия характеристиках.

### 4. Повышение достоверности экспериментальных данных, получаемых при испытаниях ЛА, КА и их систем на динамических стендах.

Точность результатов испытаний определяется несколькими факторами: погрешностями контролируемого параметра испытываемого объекта и задания режимов испытания, зависимостью свойств испытываемого объекта от условий испытаний. На практике пользуются не погрешностью испытаний, а точностными характеристиками, определяющими точность воспроизведения физической величины, качество воспроизведения испытательного режима, и являющимися составляющими погрешности задания вибрации. Погрешность воспроизведения ускорения зависит от дина-

мических свойств вибрационной установки, в частности от жесткости стола вибростенда, РУ, направляющих. Поэтому она является динамической характеристикой установки.

При проведении динамических испытаний происходит непрерывный контроль и регистрация многих параметров. За счет сложности испытательной установки, стенда и оборудования, взаимного влияния элементов эти параметры искажаются. Проведение повторных испытаний затруднительно по техническим, организационным и экономическим причинам. Повторно трудно также обеспечить соблюдение граничных условий. Поэтому получаемые экспериментальные данные должны иметь малую погрешность, которая на практике складывается из многих составляющих. Некоторые из них определяют инструментальную погрешность, которая зависит от типа, характеристик и параметров конструкции стендовых устройств.

Погрешности, вносимые в систему различными элементами, должны определяться на стадии разработки и создания оборудования и учитываться через их операторы податливости при анализе комплексной инструментальной погрешности.

#### 5. Регулирование параметров оборудования стендовых систем в зависимости от учитываемых граничных условий.

Граничные условия стендовой системы определяют силовые, габаритные и другие ограничения, различные силовые взаимодействия. В процессе испытаний и при длительной эксплуатации стенда граничные условия изменяются. Их сохранение требует постоянной оценки состояния отдельных узлов и подстройку их параметров (например, при изменении температуры, статической просадке, опорожнении баков в процессе испытаний и т.д.).

Подобное регулирование параметров возможно при повышении чувствительности опорных и исполнительных элементов к действующим и управляющим воздействиям. Это достигается совершенствованием способов реализации управляющих воздействий, точной оценкой параметров динамического состояния объекта испытаний, использованием эффективных законов управления в активных цепях.

При испытаниях массивных изделий для снижения реакций в опорных связях в конструкции разгрузочных устройств должно обеспечиваться уменьшение сил трения, например, за счет применения гидро- или газостатического эффекта.

#### 6. Обеспечение надежной работы стендовых устройств при действии на объект испытаний динамических нагрузок с изменяющейся амплитудой и частотой.

Все узла стендов подвержены воздействию нагрузок, изменяю-

щихся по амплитуде и частоте в широких диапазонах. Испытания проводятся на фиксированных частотах и со сканированием частоты возбуждения. Для ЛА при динамических испытаниях и испытаниях на транспортные нагрузки диапазон частот составляет 2-2500 Гц. В этих условиях даже при одном цикле испытаний изменяются параметры устройств, в том числе и в область неоптимальных и нежелательных их сочетаний, что изменяет динамические характеристики всей стендовой системы. В большинстве случаев реальные нагрузки имеют случайный характер.

Необходимо создание способов и устройств регулирования характеристик и параметров настройки оборудования, когда отклонение от заданных установившихся значений минимальны. Кроме того, необходима оценка работоспособности систем стенда при нестационарных и неуставившихся режимах нагружения. Для этого применяются расчетные и экспериментальные методы, разработанные на основе исследований моделей релаксационного демпфирования, которые описывают работу стендовых систем.

#### 7. Устранение или снижение внешних динамических воздействий на стендовую систему.

Стендовые устройства эксплуатируются в условиях нежелательных вибрационных воздействий со стороны технологического, вспомогательного оборудования (компрессоры, насосы, станки), что вносит дополнительные погрешности в работу всей системы и влияет на погрешность испытаний. Особенно это касается условий испытаний крупногабаритных высокоточных приборов, когда требуется снизить уровень воздействия вибрации с частотой до 2 Гц и амплитудой не более 30 мкм до нормативных или требуемых величин. Для решения такой проблемы разрабатываются новых средств виброзащиты, либо реализуются дополнительные виброзащитные функции разгрузочных устройств. Для повышения чувствительности управляющих воздействий в опорных узлах к динамическим воздействиям малой интенсивности необходимы новые способы регулирования и конструкции исполнительных устройств, например, электродинамического или электромагнитного типов.

#### 8. Создание конструкций стендовых устройств с заданными эксплуатационными качествами.

Разработка стендового испытательного оборудования: РУ, вибраторов, пневматических резонаторов, ограничителей, виброзащитных систем, направляющих горизонтальных и вертикальных перемещений на основе указанных принципов обеспечивает повышение качества выполняемых ими функций. Это сказывается на совершенствовании методов проведения динамических испытаний, способов и средств монтажа и обеспечивает создание многоцелевых экспериментальных установок.