

Е. И. Шевцов

ОТРАБОТКА ДИНАМИКИ ОТДЕЛЕНИЯ ГОЛОВНЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены оригинальные методы испытаний с имитацией осевых перегрузок $n_x \ll 1$ и $n_x \gg 1$ и стенды для испытаний, которые использовались при отработке крупногабаритного головного обтекателя РКН «Зенит-2».

Розглянуто оригінальні методи випробувань з імітацією осьових перевантажень $n_x \ll 1$ і $n_x \gg 1$ і стенди для випробувань, які використовували під час відпрацювання великогабаритного головного обтічника РКП "Зеніт-2".

The paper presents the original test methods with simulation of axial loads $n_x \ll 1$ and $n_x \gg 1$ and the test stands which were used on testing the Zenit-2 ILV large-sized nose fairing.

Основная схема испытаний (рис. 1), применяемая при отработке системы отделения головного обтекателя (СОГО), – отделение створок от неподвижного основания в условиях действия перегрузки $n_x=1$, достаточно слабого влияния аэродинамических сил и с использованием штатной конструкции ГО и основания, а также привода разворота створок с толкателями [1, 2].

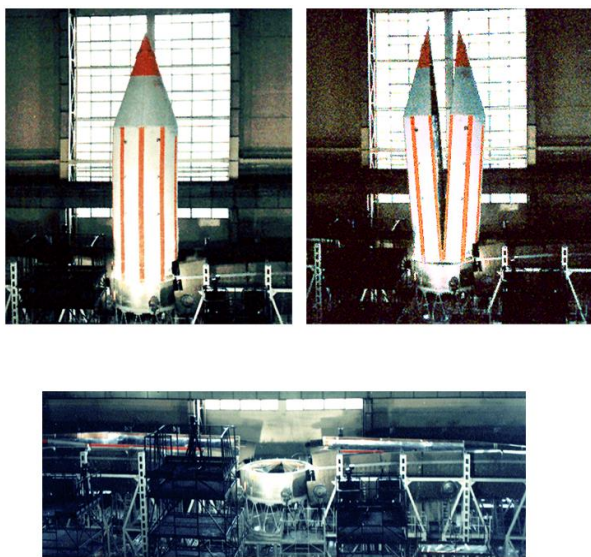


Рис. 1

Такая схема позволяет с хорошей достоверностью исследовать как работу конструкции, так и динамические параметры отделения створок.

Если отделение ГО в полете происходит при перегрузках, близких к $n_x \approx 1$ («Зенит-3SL» – $n_x=0,9$), то динамика отделения створок будет очень близка к динамике отделения, опреде-

ленной в наземных условиях.

Однако очень часто баллистиками задается перегрузка в момент отделения ГО $n_x=0...4...6$, что значительно расширяет возможности ракетного комплекса по выведению КА.

Возможно ли в наземных условиях имитировать отделение створок в условиях $n_x \ll 1$ и $n_x \gg 1$?

Метод имитации работы шарнирного узла при $n_x \ll 1$ путем уменьшения инерционных характеристик створок ГО

Проведение наземной экспериментальной отработки системы отделения разделяющегося в полете на створки обтекателя при малых перегрузках (меньших единицы либо нулевой) либо в условиях свободного падения обтекателя для создания невесомости сталкивается с большими техническими и эксплуатационными трудностями. Специальное оборудование, соответствующее малым перегрузкам, является чрезвычайно сложным при больших размерах объекта испытаний (обтекателя), а следовательно, и при непомерно больших размерах требуемой вакуумной башни (высота ~50 м, диаметр ~50 м), в которой должно происходить падение обтекателя и отделение створок.

В ГРЦ им. акад. В.П. Макеева имеется подобный стенд. Он имеет высоту 60 м и диаметр 10 м, что пригодно для испытаний

ГО высотой всего до 2,5 м, а длина ГО РН «Зенит 2» – 13,6 м.

Динамика отделения створок ГО на участках разворота и свободного падения хорошо описывается уравнениями вращения и свободного падения твердого тела, а работа конструкции и параметры системы разделения и отделения проверяются при испытаниях с использованием неподвижного стенда. Тогда какую задачу необходимо решить для условия $n_x = 0$?

Главная задача заключается в определении фактического угла разворота створки, при котором разрываются все связи с основанием (ракетой). Это связано с тем, что реальный шарнирный узел разворота створок представляет собой сложный механизм, работа которого зависит от конфигурации частей конструкции, наличия зазоров и их размеров, направляющих, значения сил трения, динамических параметров отделения створки.

Для решения этой задачи нет необходимости в проведении испытаний в невесомости, достаточно имитировать динамические условия работы шарнирного узла.

Этот принцип был положен в основу испытаний ГО РКН «Зенит-2».

Суть метода в том, что, варьируя моментом инерции створок ГО, величиной и направлением сил, действующих на шарнирный узел, имитировали натурные условия при перегрузках, меньших единицы, в части обеспечения величины и направления сил, действующих на шарнирный узел, и траектории оси шарнирного узла на начальном участке ее движения после отделения створки [3].

Приближения расчетной траектории оси шарнирного узла к траектории оси шарнирного узла при таком способе испытаний возможно только на начальном участке ее движения, что обусловлено разницей массово-центровочных характеристик штатной створки и створки, используемой для испытаний, и наличием ускорения свободного падения.

Однако на начальном участке движения створки преобладающее влияние на траекторию оси шарнирного узла (ШУ) оказы-

вают его конструктивные особенности (остающиеся без изменений), величины и направления сил, что и обеспечивает близость траектории оси шарнирного узла на начальном участке его движения после отделения створки к расчетной для натурных условий при перегрузках, меньших единицы и достаточных для проверки правильности работы конструкции.

На рис. 2, 3 показаны траектории:

I – оси ШУ при отделении створки в натурных условиях (перегрузка $n_x \approx 0$);

II – оси ШУ при отделении имитатора створки в условиях испытаний;

III – оси ШУ полноразмерной штатной створки при отделении створки в натурных условиях (перегрузка $n_x \geq 1$).

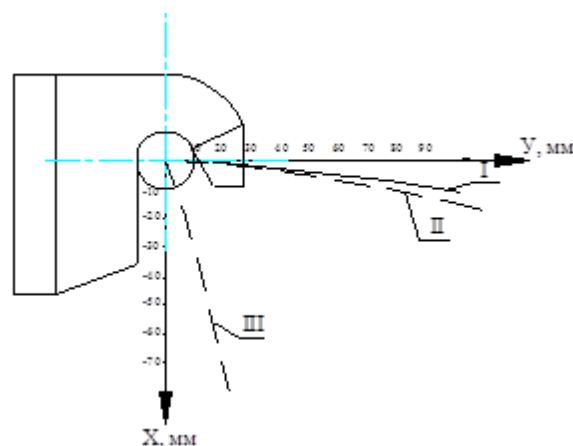


Рис. 2

Как видно на рис. 2, траектории I и II близки на начальном участке движения створок, а траектория III оси ШУ полноразмерной штатной створки значительно отличается от траектории I.

Для ГО РКН «Зенит-2» проверка работоспособности ШУ при $n_x \approx 0,3$ осуществлялась при испытаниях «суперкороткого» обтекателя, момент инерции относительно оси вращения створки которого в пять раз меньше момента инерции створки «длинного» обтекателя.

Проверка работоспособности ШУ при промежуточных, но близких к получаемым при $n_x = 0,3 \dots 0,8$ траекториям осуществлялась при испытаниях «короткого» обтекателя, момент инерции относительно оси вращения створки которого в два раза

меньше момента инерции «длинного» обтекателя.

В результате комплекса расчетных и экспериментальных исследований было установлено, что первоначальная (базовая) конструкция ШУ не обеспечивает заданный угол схода створок $65 \pm 3^\circ$ при перегрузках $n_x < 0,8$. В условиях испытаний реализовывались углы схода $> 90^\circ$. Расчетные углы схода для натуральных условий составляли до 110° , что приводило бы к соударению створок ГО с носителем, поэтому для первых пусков РКН «Зенит-2» траектории выведения КА с отделением ГО при $n_x < 0,8$ были запрещены.

Результаты этих работ позволили разработать принципиально новую конструкцию распадающегося ШУ разворота створок ГО, работоспособность которого при $n_x \ll 1$ была подтверждена при завершающих испытаниях ГО в «короткой» и «суперкороткой» комплектациях. Ограничения по траекториям выведения КА были сняты.

Следует отметить, что при аварийном пуске РКН «Зенит-2» по программе «Глобалстар» в процессе реализации программы ликвидации носителя было проведено отделение ГО с новым ШУ при перегрузке $n_x = 0$. Углы схода створок точно соответствовали заданным и расчетным – $65 \pm 3^\circ$.

Метод и стенд для исследования динамики створки ГО при имитации действия осевой перегрузки $n_x > 1$

В процессе разработки ГО РКН «Зенит-2» необходимо было проверить работоспособность элементов системы отделения створок при $n_x = 5$, в т.ч. определить:

- потери полезной работы системы отделения;
- кинематические параметры створок;
- амплитуды колебаний краев створок и допустимую зону полезного груза, – и подтвердить прочность конструкции.

Очевидно, что отработка сброса обтекателя, когда $n_x \neq 1$ при специальных натуральных испытаниях (НИ) с расширенной программой измерений не может быть признана рациональной, по следующим причинам:

- необходимо выделение 1...3 пусков для проведения специальных НИ, что потребует многомиллионных затрат;
- для обеспечения расширенной программы телеизмерений необходима разработка комплекта конструкторской документации и доработка изделий, что также потребует многомиллионных затрат;
- в случае выявления недостатков конструкции при НИ потребуются доработка всего задела серийных изделий и повторение наземной отработки.

Эти факторы определили необходимость создания стенда для отработки сброса крупногабаритного обтекателя с имитацией $n_x = 5$.

Наиболее полную имитацию можно получить на подвижном стенде, обеспечивая разгон объекта испытаний с необходимой перегрузкой. Однако для обтекателя заданных габаритов (длина $\sim 13,6$ м, диаметр $\sim 3,9$ м) для создания перегрузки $n_x = 5$ стенд должен быть вакуумируемым, с высотой разгона ~ 100 м и диаметром больше 50 м. Создание такого стенда неприемлемо как с экономической, так и с технической точек зрения.

Проведенный анализ возможных схем имитации показал, что наиболее целесообразно создать стенд, в котором действие перегрузки имитируется путем приложения распределенной нагрузки от резиновых амортизаторов. Причем с целью упрощения стенда нагрузка действует на начальном (до 20°) угле разворота створки обтекателя, что достаточно, так как толкатели срабатывают на угле $\sim 12^\circ$.

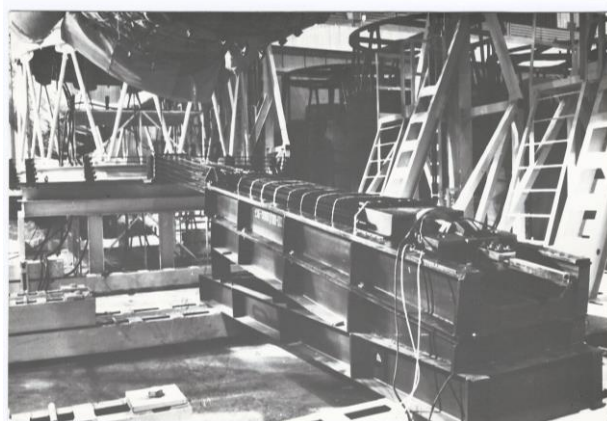


Рис. 3

Стенд (рис. 1) включает в себя опорное основание для установки на него объекта испытаний, ловители створок обтекателя и нагрузочное устройство (рис. 2) [4].

Кронштейны крепления тросов системы нагружения располагались на силовых стыковочных шпангоутах ГО в семи точках, в пяти – для «длинного» (или в четырех для «короткого») обтекателя сечениях, снаружи цилиндрической части каждой створки.

Начальная нагрузка на каждый кронштейн (усилие в каждом амортизаторе) определяется по формуле

$$P_i = \frac{(n_x - 1) \cdot G}{k} + F_{c.бл},$$

- где $F_{c.бл}$ – сила сопротивления в тросо-блочном механизме;
 n_x – имитируемая перегрузка;
 G – вес створки;
 k – число кронштейнов на створке.

На каждой створке «длинного» обтекателя устанавливали по 34 кронштейна и по 27 кронштейнов – на створке «короткого» обтекателя. Усилия в каждом амортизаторе с учетом их вытяжки в процессе испытаний составляли 150 ± 30 кгс. Приложение распределенной по поверхности оболочки дополнительной нагрузки, малые массы кронштейнов крепления тросов и самих тросов позволили обеспечить минимальное искажение массовых, центровочных и жесткостных характеристик створок. Определенная экспериментально $F_{c.бл}$ – сила сопротивления при протягивании троса в блоках – не превышала 12 кгс.

Работа стенда осуществлялась следующим образом. После установки изделия в стенд на станину устанавливалась направляющая со взведенной и зафиксированной обоймой амортизаторов. Тросики системы нагружения, предварительно смонтированные на обтекателе, запасовывались в блочные механизмы и стыковались с амортизаторами.

Нагружение обтекателя проводилось последовательно по сечениям снизу вверх.

Через ~ 1 с после начала разворота створки «длинного» обтекателя или через $\sim 0,7$ с после начала разворота створки «короткого» обтекателя срабатывали разрывные болты крепления ползуна и траверсы нагрузочного устройства. Ползун смещался по направляющей вперед до упора, сбрасывая нагрузку со створок обтекателя. После сброса нагрузки створки продолжали вращаться и после отделения от основания падали в ловители стенда. На участке до отстрела системы нагружения кинематические параметры створок, колебания оболочки близки к штатным, а после отстрела системы нагружения – существенно отличаются от штатных.

Созданный стенд уникален, аналогов его в отрасли и за рубежом нет. Использование стенда позволило решить ряд новых, принципиально важных задач.

Прежде всего была подтверждена общая прочность конструкции обтекателя и основания. Однако испытания показали, что из-за резкого сброса усилий в момент окончания работы толкателей под действием перегрузки створки падали на подшипники шарнирных узлов, и в результате удара разрушались обоймы подшипников. Подшипники были заменены на ролики.

Второй принципиально важный результат – потеря полезной работы толкателей при $n_x=5$ не превышает потерь, определенных при испытаниях по традиционной схеме ($n_x=1$).

Третий принципиально важный результат – амплитуды колебаний краев створок ГО при $n_x > 1$ не превышают амплитуд, определенных при испытаниях по традиционной схеме.

Эти результаты позволили надежно определить допустимую зону размещения КА и отработать методики расчета динамики отделения створок ГО и параметров колебаний створок в процессе разворота, дать рекомендации по необходимым доработкам конструкции.

Заключение

Разработанные методы испытаний с имитацией отделения створок крупногаба-

ритного головного обтекателя РКН в условиях малых ($n_x \ll 1$) и больших ($n_x \gg 1$) осевых перегрузок и стенд для имитации больших перегрузок $n_x \gg 1$ позволяют с минимальными затратами отработать конструкцию систем отделения и динамику створок обтекателя в широких диапазонах условий их отделения.

Полученные результаты апробированы и подтверждены в натурных условиях при пусках РН «Зенит-2».

Список использованной литературы

1. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов / Под ред. В. П. Мишина. – М.: Машиностроение, 1991. – 415 с.
2. Колесников К. С., Козлов В. В., Кокушкин В. В. Динамика разделения ступеней летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1977. – 224 с.

3. А. с. 285792. Стенд для отработки разделения обтекателя ракеты в наземных условиях / О. А. Семенов, Е. И. Шевцов, В. А. Гонтаровский, В. А. Петрушевский и др. – Заявлено 10.05.1989.

4. А. с. 323879. Способ имитации перегрузок при испытаниях систем отделения разделяемого на створки цилиндрико-конического обтекателя / Е. И. Шевцов, В. А. Гонтаровский и др. – Заявлено 07.02.1989.

Статья поступила 07.09.2017