

УДК 593.3

Канд. техн. наук Д. В. Клименко, Е. В. Курячий, А. И. Мищенко, канд. техн. наук В. П. Фролов

## ОТРАБОТКА ПРОЧНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ РКН «АНТАРЕС»

*Представлены методология и результаты экспериментальной отработки прочности модифицированного отсека и стыка корпуса РКН «Антарес». Приведены данные о схемах нагружения испытываемых сборок, последовательности их нагружения, способах реализации нагрузок и применяемом испытательном оборудовании.*

*Подано методологію та результати експериментального відпрацювання міцності модифікованого відсіку та стику корпусу РКП «Антарес». Наведено дані про схеми навантаження випробуваних складань, послідовність їх навантаження, способи реалізації навантажень та застосовуваного випробувного обладнання.*

*The methodology and the results of strength tests of Antares ILV modified bay and case joint are presented. The data are given on tested assemblies loading schemes, loading sequence, methods of loads realization, and applied test equipment.*

После проведения первых удачных пусков РКН «Антарес» компания «Орбитал» приняла решение о ее модификации с целью повышения энергетических возможностей. Модифицированная РКН «Антарес» примерно на 2,5 м длиннее и тяжелее базовой конфигурации. Более низкий процент инертной массы и увеличенные тяга и суммарный импульс второй ступени позволяют доставлять больший полезный груз на орбиту.

Модификация РКН привела к увеличению нагрузок на корпус основной конструк-

ции первой ступени (ОКПС), находящейся в зоне ответственности ГП «КБ «Южное», при этом нагрузки на бак окислителя и стык между ступенями при предстартовой подготовке превысили допустимые значения. Для обеспечения прочности ОКПС модифицированной РКН «Антарес» проведена доработка конструкции бака: увеличена толщина шести гладких обечаек в секторе  $120^\circ$  вблизи плоскости стабилизации III (рис. 1) и изменена конструкция стыка ступеней.

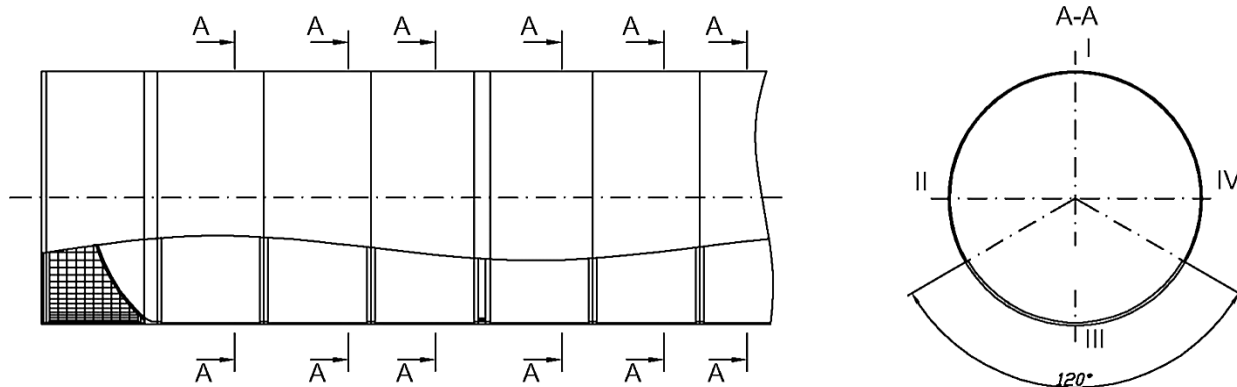


Рис. 1. Зона усиления обечаек бака окислителя первой ступени в секторе  $120^\circ$  вблизи плоскости ориентации III для модернизированной РКН «Антарес»

Для подтверждения прочности усиленных обечаек бака окислителя и стыка между ступенями в процессе нагружения при предстартовой подготовке модифицированной РКН проведены дополнительные испытания сборки СТАТ-V, состоящей из штатного корпуса бака окислителя первой ступени

(без внутривакуумных устройств и крышек желобов) и имитатора второй ступени (технологической обечайки с имитацией интерфейса второй ступени по расположению стыковочных отверстий и толщине полки шпангоута).

Результаты испытаний представлены в документе 2TRS2S1 21.17731.134 ОТ (Отчет о проведении статических испытаний модернизированного бака окислителя).

С целью сокращения материальных затрат на экспериментальную отработку прочности в составе сборки использовали бак окислителя, предназначенный для комплектации товарного изделия, а также имитатор второй ступени и технологическую оснастку для испытаний, изготовленные для отработки прочности корпуса базового варианта РКН. Сохранение работоспособности бака окислителя в процессе испытаний обеспечивалось путем выполнения следующих мероприятий:

- испытания сборки по согласованию с компанией «Орбитал» проводились при пониженных зачетных нагрузках, соответствующих коэффициенту безопасности  $f=1,3$  (вместо нормативного значения  $f=1,5$ ), что оговорено в специальном протоколе;

- для сохранения чистоты внутренней поверхности бак при испытаниях не заполнялся водой, на все отверстия, соединяющие его внутреннюю полость с атмосферой, установлены заглушки;

- при транспортировке, погрузочно-разгрузочных работах, подготовке и проведении испытаний были приняты дополнительные меры по исключению несанкционированного повреждения сборки;

- для подтверждения работоспособности бака после завершения испытаний разрабо-

тана специальная программа дефектации, включающая различные неразрушающие методы контроля;

- после дефектации бака предусмотрено проведение полного объема штатных приемочных испытаний.

Статические испытания сборки СТАТ-V проводились на испытательной базе ГП «КБ «Южное».

При испытании стыка ступеней сборка, состоящая из бака окислителя с пристыкованным к верхней юбке имитатором второй ступени, устанавливалась горизонтально плоскостью III вниз и опиралась нижним шпангоутом бака О-1 на ложемент, а имитатором второй ступени – на технологические опоры (рис. 2). К нижней юбке бака окислителя была пристыкована силовая обечайка для передачи на сборку осевой растягивающей силы. Стыковка бака окислителя с обечайкой-имитатором второй ступени проводилась штатным крепежом. Момент затяжки болтов  $M_{зат} = 12,0 \pm 1,2$  кгс·м согласно требованиям компании «Орбитал».

Со стороны обечайки-имитатора второй ступени сборка шарнирно крепилась к специальным силовым кронштейнам, установленным на силовом полу.

После предварительной опрессовки для проверки поведения конструкции и функционирования систем нагружения и измерения сборка нагружалась этапами (по 25% эксплуатационных значений нагрузок) до зачетных нагрузок.



Рис. 2. Общий вид установки для испытаний на прочность стыка ступеней

Осевая растягивающая сила реализовывалась в виде нескольких параллельных составляющих, создаваемых гидравлическими силовозбудителями, установленными между обечайкой и закрепленными на силовом полу силовыми стойками.

Для оценки раскрытия стыка бака окислителя и имитатора второй ступени было установлено 10 датчиков перемещения, расположенных равномерно по окружности в местах установки стыковочных болтов.

В процессе нагружения и после каждого этапа нагружения проводили визуальный осмотр конструкции с целью выявления видимых изменений и регистрации параметров (сил и перемещений) системой измерения. При эксплуатационных нагрузках проводилась выдержка сборки под нагрузкой в течение 10 мин и осмотр конструкции.

В процессе нагружения и после завершения испытаний видимых изменений в конструкции не отмечено. Максимальная достигнутая продольная растягивающая

нагрузка на сборку  $T^{\text{исп}}=254,2$  тс, что соответствует минимальному запасу прочности 1,02.

Определяющим по прочности случаем нагружения усиленных обечайек корпуса бака окислителя в процессе предстартовой подготовки модифицированной РКН является транспортировка полностью собранной РКН на транспортно-установочном агрегате (ТУА). В этом случае корпус бака окислителя нагружается максимальными сжимающими нагрузками в районе плоскости стабилизации Ш. При задании зачетных нагрузок во время испытаний коэффициент безопасности  $f$  принят равным 1,3.

Перед испытаниями сборка СТАТ-V устанавливалась вертикально плоскостью I к силовой стене и закреплялась на переходном технологическом кольце, состыкованном с силовой обечайкой. На верхнем торце бака с имитатором второй ступени стыковались переходное технологическое кольцо и силовая обечайка (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид установки для испытаний корпуса бака на случай транспортировки на ТУА

Сборка нагружалась осевой сжимающей силой, поперечной силой и изгибающим моментом. Испытания проводились на сухом баке.

Осевая сжимающая сила создавалась восьмью силовыми цепями с гидравлическими силовозбудителями, замкнутыми между технологическими обечайками. Для измерения сил в каждую силовую цепь устанавливался тензометрический датчик силы. При нагружении сборки в величине силы учитывалась масса технологической оснастки.

Поперечную силу прикладывали к верхнему шпангоуту бака посредством бандажа, создавали двумя гидравлическими силовозбудителями и измеряли тензометрическими датчиками силы.

Нагружение поперечной силой проводилось в направлении от плоскости III в сторону плоскости I.

Изгибающий момент создавался парой сил, реализуемой с помощью четырех вертикальных силовых цепей с гидравличе-

скими силовозбудителями (две цепи с силовозбудителями замыкались между верхней и нижней силовыми обечайками, две цепи с силовозбудителями – диаметрально противоположные – замыкались между верхней обечайкой и технологической стойкой, закрепленной на силовой стене). Для измерения сил в каждую силовую цепь устанавливался тензометрический датчик силы.

Нагружение сборки проводилось этапами по 25% эксплуатационных значений нагрузок. После каждого этапа нагружения измерялись усилия, проводился внешний осмотр узла с безопасного расстояния. При достижении эксплуатационной нагрузки была проведена выдержка конструкции под нагрузкой в течение 10 мин. При нагружении сборки сначала создавалась поперечная сила, затем – остальные нагрузки. Разгрузка сборки проводилась в обратном порядке.

В процессе нагружения и после завершения испытаний видимых изменений в конструкции не отмечено, минимальный

запас прочности по результатам испытания равен 1,03.

Испытаниями сборки СТАТ-V подтверждена достаточная прочность усиленного корпуса бака окислителя и стыка ступеней модифицированной РКН «Антарес».

После завершения статических испытаний бак окислителя был выведен из состава сборки СТАТ-V и была проведена его дефектация согласно 2TRS2S1.0073-2012УТ. По результатам дефектации на баке окислителя:

- трещины и повреждения сварных швов не обнаружены;

- механические повреждения крепежных элементов на наружной поверхности бака отсутствуют;

- во внутренней полости бака нарушения целостности сварных швов (трещины, повреждения, разрушения), заборного устройства, крепежных элементов не обнаружены;

- проведен рентгеноконтроль кольцевых сварных швов корпуса и приваренных к нему днищ, результаты рентгеноконтроля положительные;

- при визуальном осмотре выявлены дефекты в виде отклонений отдельных стыковочных отверстий от цилиндрической формы и вмятины шестигранной формы на внутренней поверхности стыковочного шпангоута глубиной до 0,6 мм, не влияющие на работоспособность конструкции.

С учетом результатов дефектации выпущено заключение о допуске бака окислителя из состава сборки СТАТ-V к дальнейшим работам по изготовлению для комплектации товарного изделия.

### **Выводы**

Квалификационные испытания первой ступени РКН «Антарес» проведены в объеме, предусмотренном программой испытаний, с выполнением нормативных требований. При отработке прочности первой ступени РКН «Антарес» была реализована программа испытаний, позволяющая на ограниченном объеме (одном комплекте) материальной части выполнить как требования норм прочности, так и технические тре-

бования американской стороны, включая требования стандартов по безопасности полигонов США.

Благодаря разработанному порядку проведения испытаний на экспериментальной базе ГП «КБ «Южное» подтверждена прочность конструкции в случаях нагружения при наземной эксплуатации, предстартовой подготовке, старте и в полете РКН и обеспечено сохранение ее прочностных характеристик и работоспособности для последующих работ по комплектации и сборке летного изделия модернизированной РКН «Антарес». Данный подход к экспериментальной отработке прочности модернизированной РКН «Антарес» позволил существенно сократить материальные и временные затраты на производство опытных конструкций.

Статья поступила 02.12.2016