

УДК 629.7.06-533.6

С.А. Бигун, канд. техн. наук М.С. Хорольский, А.И. Скоков, С.В. Каплун

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОТРАБОТКИ УЗЛОВ СТЫКОВКИ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ РКН "ЦИКЛОН-4"**

*Приведены результаты наземной экспериментальной отработки и исследований узлов стыковки системы термостатирования воздухом низкого давления РКН "Циклон-4". Проанализированы полученные данные испытаний и сделаны выводы о влиянии различных факторов на работоспособность узлов стыковки, включая силовое воздействие на РКН в процессе отсоединения. Выполнена оценка применимости испытанных узлов стыковки как базовой конструкции для использования на других аналогичных космических ракетных комплексах.*

*Наведено результати наземного експериментального відпрацювання та досліджень вузлів стикування системи термостатування повітрям низького тиску РКП "Циклон-4". Проаналізовано отримані дані випробувань і зроблено висновки щодо впливу різних факторів на працездатність вузлів стикування, включно з силовим впливом на РКП у процесі від'єднання. Виконано оцінку застосування випробуваних вузлів стикування як базової конструкції для використання на інших схожих космічних ракетних комплексах.*

*The results of ground development test and investigation of Cyclone-4 ILV low-pressure air thermostating system joints are presented. The obtained test data is analyzed, and conclusions are drawn on the effect of different factors on joint performance including force action on ILV in disconnection. An assessment of applicability of the tested joints, as baseline design, on other similar space launch systems is performed.*

Узлы стыковки (УС) относятся к числу наиболее ответственных элементов систем термостатирования (СТ) воздухом ракетносителей. С их помощью обеспечиваются взаимосвязи и взаимодействия между наземной СТ и бортом ракеты космического назначения (РКН). Поэтому весьма актуальной становится задача по отработке и исследованиям данных конструкций для подтверждения соответствия предъявляемым требованиям. Впервые в истории ГП "КБ "Южное" работа по испытаниям и исследованиям УС проводилась в составе комплекса "Циклон-4" совместно с предприятием-смежником ГП "УНИКТИ "ДИНТЭМ" (г. Днепропетровск). Для испытаний на ГП "УНИКТИ "ДИНТЭМ" с участием ГП "КБ "Южное" и ГП ПО ЮМЗ была создана специальная установка, которая с большой достоверностью имитировала условия нагружения и геометрические параметры УС реального стартового комплекса [1]. Объектами исследования являлись опытные образцы УС, состоящие из опытных образцов оригинальных гофрированных рукавов и

покупных хомутов для их крепления на патрубках трубопроводов СТ.

Цель работы – исследование работоспособности опытных образцов УС на аттестованной установке ДН08.101.000.000 в процессе проведения заводских испытаний. При этом испытания проводились на присоединение (отсоединение) к (от) горловине (горловины) термостатирования РКН с последующей отработкой, в том числе до и после ускоренных климатических испытаний (УКИ).

Исследования проводились согласно разработанным программам заводских и ускоренных климатических испытаний, позволяющим подтвердить:

- соответствие технических характеристик опытных образцов УС требованиям технического задания и конструкторской документации;
- качество изготовления опытных образцов УС и границы их работоспособности;
- достоверность необходимых гарантийных сроков эксплуатации и хранения путем

проведения УКИ опытных образцов УС на срок, имитирующий 15 лет с коэффициентом запаса 1,5 в реальных условиях при равнодействующей температуре 25°C.

Испытаниям подвергались опытные образцы рукавов УС восьми наименований с усовершенствованной конструкцией гофрированной части, изготовленные по техническим условиям Украины формовым способом из резиновой смеси марки ИРП-2025-1.

УС предназначены для ручного соединения и автоматического или ручного разъединения СТ с горловинами РКН и последующей подачи термостатирующего производственного воздуха требуемых параметров, необходимого для обеспечения заданного температурно-влажностного режима в отсеках изделия.

С целью разработки отечественных конкурентоспособных УС, которые по своим технико-экономическим показателям не уступали бы существующим зарубежным аналогам, проводился поиск, анализ и изучение научно-технической и патентной информации по вопросам создания конструкции, материалов, технологии изготовления. На основании анализа выявлены прототипы и документы-аналоги. Были разработаны и созданы:

- исходные данные и конструкторская документация на макетные и опытные образцы рукавов УС;

- тип рукавов и эластомерного материала из резиновой смеси на базе синтетических каучуков;

- узлы фиксации-расфиксации (УФР), которые представляют собой бандажное устройство специального типа, обеспечивающее надежное присоединение и разъединение УС с горловинами РКН;

- технология изготовления рукавов;
- установка для испытаний.

Проведен ряд работ по разработке организационно-технической документации, в том числе на средства технологического оснащения, метрологической экспертизе конструкторской и технологической документации с выпуском заключения и т.д.

торской и технологической документации с выпуском заключения и т.д.

Объектами испытаний являлись опытные образцы рукавов УС СТ, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Опытные образцы рукавов УС СТ, подвергавшихся испытаниям

Наименование рукава	Кол-во, шт.	Внутренний диаметр рукава, мм	Длина L, мм
Рукав ХО1	1	150	490
Рукав ПО1	1	150	470
Рукав ХО2	1	150	455
Рукав ПхО2	1	220	600
Рукав МСО	1	150	395
Рукав ГБ	1	220	600
Рукав ТСТ МСО	1	150	395
Рукав ТСТ ГБ	1	220	430

Целью испытаний было подтверждение соответствия характеристик опытных образцов рукавов УС требованиям технического задания и конструкторской документации до и после УКИ, имитирующих сроки эксплуатации и хранения. УКИ проводились в соответствии с требованиями технического задания по режиму, рассчитанному согласно методике государственного стандарта. При этом режим испытаний включал: 21 сут при температуре 80°C. УКИ выполняли в аттестованной термической камере с размерами 1000×1000×1000 мм, обеспечивающей поддержание необходимой температуры до 100°C и автоматический обмен воздуха с расходом до 10 м<sup>3</sup>/ч.

Перед испытаниями опытных образцов рукавов УС проводилась отработка на макетных образцах, которые продемонстрировали наличие некоторых несоответствий предъявляемым требованиям. Для устранения несоответствий потребовалось усовершенствование гофрированной части рукава. По существу для исключения радиальной деформации (складывания) рукавов была увеличена толщина стенки и высота гофров. С целью сохранения каркасности и гибкости для обеспечения необходимого угла поворо-

та рукавов выполнено усиление гофров по выступам и впадинам. Также доработка коснулась фланцевой части рукава для решения вопроса по удобству монтажа на горловину

термостатирования РКН при помощи монтажного приспособления. Общий вид опытного образца рукава УС представлен на рис. 1, 2.

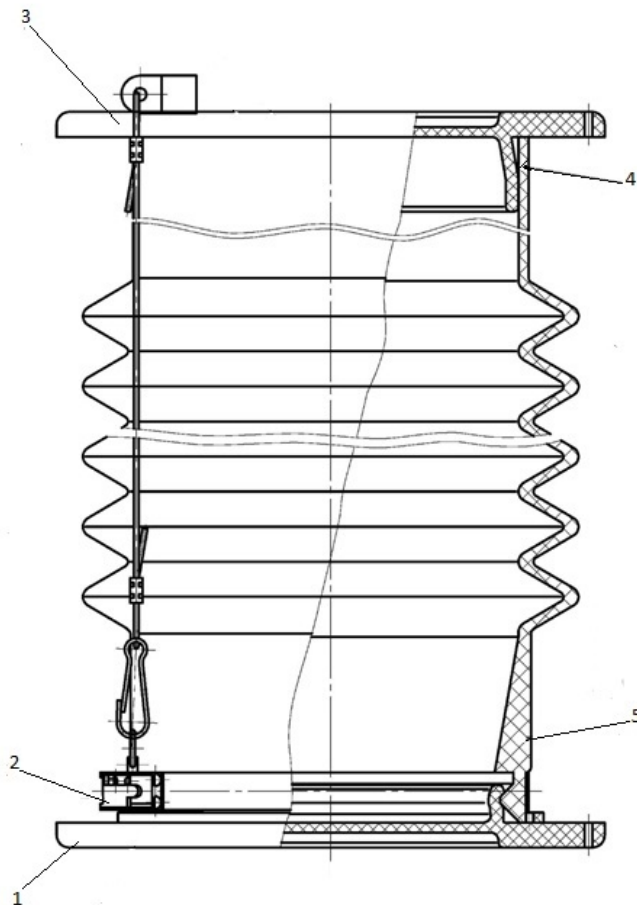


Рис. 1. Общий вид рукава УС:  
1, 3 – заглушки; 2 – УФР; 4 – корпус рукава; 5 – фланец рукава

В состав рукава входят корпус 4, фланец 5, заглушки 1, 3, установленные на торцовых частях, а также УФР 2, расположенный на фланце рукава 4. Корпус состоит из двух частей:

- рукава, в средней части которого выполнены гофры для придания гибкости;
- фланца, который составляет единое целое с рукавом. Его устанавливают на горловину термостатирования РКН с натягом до 10%. Заглушки собирают с корпусом

рукава натягом до 5%. Они обеспечивают чистоту и защиту внутренних полостей от попадания посторонних предметов.



Рис. 2. Трехмерное изображение рукава УС

На фланце рукава 4 установлен УФР, который также подвергался конструктивной доработке. Исходя из имевшихся литературных источников на начальном этапе разработки в модельном варианте УФР планировалось использовать резиновый эластичный шнур. Однако при проведении макетирования оказалось, что конструкция в данном исполнении не дает положительных результатов. Имела место нестабильность обжатия рукава вокруг горловины термостатирования РКН вследствие релаксационных процессов материала УФР, на нем появлялись трещины, а в отдельных случаях и разрывы. В конечном итоге проявлялась негерметичность по месту установки рукава УС.

Для повышения надежности крепления и обеспечения автоматического разъединения рукава УС с горловиной термостатирования РКН ГП "УНИКТИ "ДИНТЭМ" совместно с ГП "КБ "Южное" и ГП ПО ЮМЗ разработали и изготовили опытный металлический образец УФР оригинальной конструкции бандажного типа.

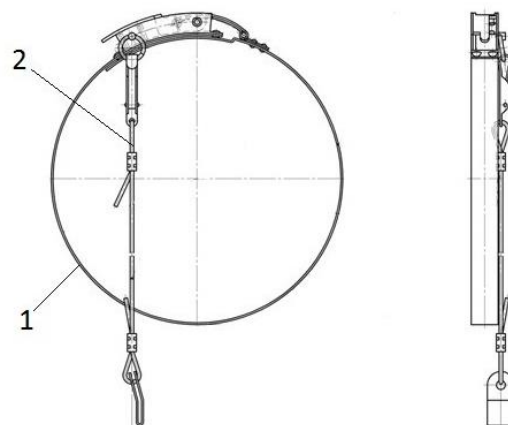


Рис. 3. Общий вид УФР:  
1 – хомут; 2 – трос

Приведенная на рис. 3 конструкция обеспечивает необходимую надежность, удобство эксплуатации и отвечает требованиям технического задания. Более того, сверх предъявляемых требований конструкция УФР позволяет реализовать все известные на настоящее время способы разъединения УС с горловинами термостатирования РКН в процессе предстартовой подготовки и пуска. В этом смысле созданный узел представляет собой универсальное и уникальное устройство.

После разработки конструкции и технологии изготовления УФР, выпуска конструкторской документации на средства технологического оснащения и производства необходимой оснастки были изготовлены опытные образцы УФР. В составе опытных образцов рукавов УС они прошли дополнительный цикл заводских испытаний, подтвердивший требуемую надежность. При этом опытные образцы УФР не подвергались УКИ, так как относятся к металлическим изделиям.

Одновременно была разработана принципиальная технологическая схема изготовления, которая детально описана в [2].

Опытные образцы рукавов УС подверглись следующим видам испытаний:

1. Определение усилия отсоединения (отрыва) рукавов от горловины термостатирования РКН при рабочем давлении воздуха ( $P_{\text{раб}} = 0,02$  МПа) и штатном режиме работы УФР. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Усилие отсоединения опытных образцов рукавов УС от горловины термостатирования РКН при штатном режиме работы УФР (усредненные значения)

Места установки рукавов	Внутренний диаметр рукава, мм	Давление в момент отрыва рукава $P_{\text{раб}}$ , МПа	Усилие отрыва рукава от горловины, кгс		
			Макетный УФР		Опытный УФР
			до УКИ	после УКИ	после УКИ
ХО1	150	0,02	35,32	35,32	35,32
ПО1	150	0,02	35,32	35,32	35,32
ХО2	150	0,02	35,32	35,32	35,32
МСО	150	0,02	35,32	35,32	35,32
Пх02	220	0,02	76,00	76,00	76,00
ГБ	220	0,02	76,00	76,00	76,00
ТСТ МСО	150	0,02	Испытания не предусматривались		
ТСТ	220	0,02			

Усилие отсоединения определяли во всех геометрических положениях рукавов УС, имитирующих места установки с высокой точностью, согласно конструкторской документации.

При проведении испытаний макетных образцов установлено следующее:

– для рукавов с внутренним диаметром 150 мм усилие отсоединения изменяется в пределах от 44,7 до 99,6 кгс;

– для рукавов с внутренним диаметром 220 мм усилие отсоединения изменяется в пределах от 69,3 до 109,45 кгс.

В ходе испытаний опытных образцов установлено следующее:

– для рукавов с внутренним диаметром 150 мм максимальное усилие отсоединения составляет 35,325 кгс (табл. 2);

– для рукавов с внутренним диаметром 220 мм максимальное усилие отсоединения 76,00 кгс (табл. 2);

– рабочее давление воздуха способствует отсоединению рукава от горловины термостатирования РКН в размере до 15% общего усилия отсоединения.

Отсоединение рукава от горловины термостатирования РКН происходит за счет усилия, создаваемого рабочим давлением сжатого рабочего тела (воздуха) и определенной массой грузов (имитация воздействия установщика), которая подбиралась опытным путем. Дискретность набора массы грузов – не более 5 кг. Одновременно вычислялась нагрузка, следовательно, и усилие отсоединения рукава УС от горловины РКН. При этом усилие отсоединения рассчитывалось по формуле [1]

$$F_{\text{отр}} = PS_{\text{гор}} + mg,$$

- где  $F_{\text{отр}}$  – усилие отрыва рукава, кгс;  
 $P$  – давление в момент отрыва рукава, кгс/см<sup>2</sup>;  
 $S_{\text{гор}}$  – площадь торцевой поверхности горловины термостатирования РКН (с учетом площади ее проходного сечения), см<sup>2</sup>;  
 $m$  – масса грузов в момент отрыва рукава от горловины термостатирования РКН, кг;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Определено, что решающее влияние на значение усилия отсоединения рукавов УС от горловины РКН оказывает взаимное расположение мест установки (горловины и патрубка трубопровода). А именно, чем больше углы между продольными осями горловины и патрубка, тем меньше усилие отсоединения. Это объясняется тем, что отрыв фланца рукава происходит первоначально на ограниченном участке прилегания фланца к горловине, который наиболее удален от торца насадки. После чего зона отрыва фланца плавно распространяется по всей поверхности обтюрации фланца и горловины. И напротив, если углы между осями посадочных мест рукава небольшие, отрыв фланца от горловины происходит практически по всей поверхности обтюрации одновременно, что требует больших усилий.

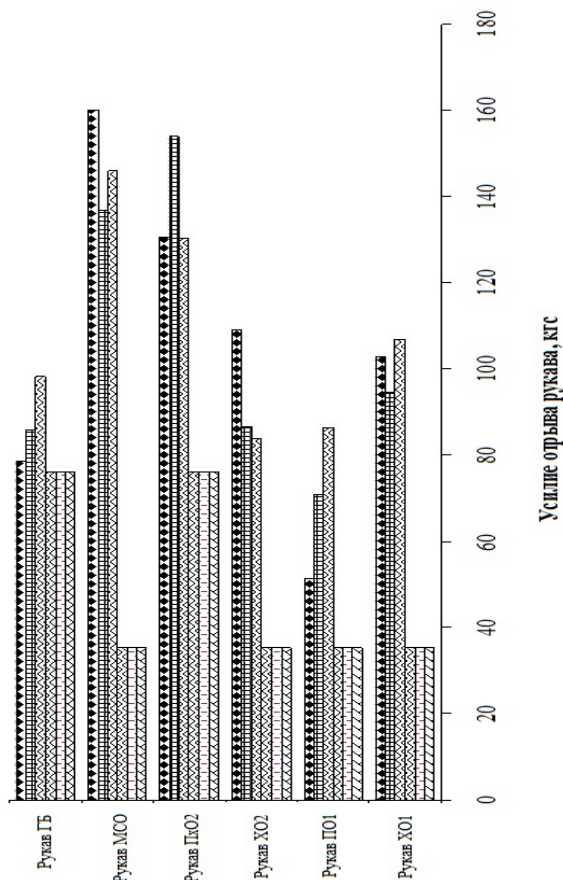


Рис. 4. Диаграмма зависимости усилия отсоединения УС от типоразмера рукавов:

- ⊕ – не штатный режим, с опытным УФР после УКИ;
- ▣ – не штатный режим, с макетным УФР после УКИ;
- ▤ – не штатный режим, с макетным УФР до УКИ;
- ▥ – штатный режим, с опытным УФР после УКИ;
- ▦ – штатный режим, с макетным УФР после УКИ;
- ▧ – штатный режим, с макетным УФР до УКИ

Как продемонстрировал анализ полученных данных (рис. 4), при штатном режиме работы рукава УС стабильно отсоединяются от горловины термостатирования РКН усилием, которое создается рабочим давлением воздуха, подаваемого внутрь рукава, и находится в пределах требований технического задания (до 110 кгс). Причем для рукавов УС с внутренним диаметром 150 мм усилие отсоединения оказалось меньше требуемого в 2,8 раза, а для рукавов УС с внутренним

диаметром 220 мм – в 1,4 раза. Это говорит об уменьшении силового воздействия на корпус РКН и может только приветствоваться. Также в процессе заводских испытаний установлено, что усилие воздействия до 5 кгс крышек горловин РКН не влияет на геометрию конструкции и их работоспособность, так как прочность гофрированной части опытных образцов рукавов достаточна [3]. Кроме того, линейный ход подвижного стола установки для испытаний до момента отсоединения УС от горловины термостатирования составил порядка 150 мм для рукавов с внутренним диаметром 150 мм. А для рукавов с внутренним диаметром 220 мм линейный ход составил 400 мм. Расчетно-теоретический перевод линейных перемещений в угловые показал, что рукава УС начинают отсоединяться от РКН при отклонении установщика на угол  $0,3^\circ$ , а завершают отсоединение от РКН при отклонении установщика на угол  $1,6^\circ$ .

2. Определение прочности рукавов при испытательном давлении  $P_{исп} = 1,5P_{раб}$ .

Результаты положительные: все испытанные рукава сохранили герметичность и целостность. В некоторых случаях наблюдалось увеличение диаметра рукавов на 5,4% (рукав ХО1 с внутренним диаметром 150 мм) и до 15,9% допустимого значения (рукав ПхО2 с внутренним диаметром 220 мм) как при испытаниях до проведения УКИ, так и после. Это указывает на высокие прочностные свойства материала и конструкции в целом. Учитывая данные факторы, указанные отклонения от нормы на работоспособности рукавов не отразились [3]. В табл. 3 приведены данные по влиянию повышенного давления  $P_{исп}=1,5P_{раб}=0,03$  МПа на опытные образцы рукавов в различных местах установки.

3. Определение усилия отсоединения рукавов от горловины термостатирования РКН при рабочем давлении воздуха  $P_{раб}$  и нештатном режиме работы УФР, который был

принудительно зафиксирован, что имитировало отказ.

Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 3

Данные по влиянию повышенного внутреннего давления  $P_{исп} = 1,5P_{раб} = 0,03$  МПа на опытные образцы рукавов в различных местах установки

Наименование показателя	Места установки рукавов по КД						
	ТСТ МСО	ТСТ ГБ	МСО	ПхО2	ХО2	ПО1	ХО1
Давление, подаваемое в рукав, МПа	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,30
Увеличение наружного диаметра, %	10,90	6,50	13,00	15,90	10,30	10,80	5,40
Целостность рукава	Не нарушена						
Потеря герметичности	Нет						

Таблица 4

Усилие отсоединения опытных образцов рукавов УС от горловины термостатирования РКН при рабочем давлении воздуха и нештатном режиме работы УФР

Места установки рукавов	Внутренний диаметр рукава, мм	Давление, подаваемое в рукав, МПа	Макетный УФР (до УКИ)		Макетный УФР (после УКИ)		Опытные УФР без прохождения УКИ	
			Средняя масса грузов, кг	Среднее значение усилия, при котором произошел сход рукава, кгс	Средняя масса грузов, кг	Среднее значение усилия, при котором произошел сход рукава, кгс	Средняя масса грузов, кг	Среднее значение усилия, при котором произошел сход рукава, кгс
ХО1	150	0,02	73,54	106,80	60,79	94,60	69,30	102,80
ПО1	150	0,02	62,95	86,30	43,79	70,80	19,79	51,40
ХО2	150	0,02	51,70	83,90	54,62	86,70	78,62	109,20
МСО	150	0,02	112,95	145,80	100,60	136,80	127,45	160,00
ПхО2	220	0,02	70,54	130,35	101,12	153,90	70,62	130,40
ГБ	220	0,02	24,62	98,20	10,79	85,75	2,96	78,68
ТСТ МСО	150	0,02	Испытания не предусматривались					
ТСТ ГБ	220	0,02						

Анализируя полученные данные из табл. 4 и диаграммы на рис. 4, можно отметить следующее:

– при испытаниях рукавов с макетными образцами УФР произошло некоторое, порядка 10 кгс, снижение усилия отсоединения после проведения УКИ. Это не относится к

рукавам ПхО2, где увеличение усилия отсоединения произошло примерно на 23 кгс;

– для рукавов ХО2 усилие отсоединения увеличилось примерно на 3 кгс;

– в ходе испытаний рукавов с опытными образцами УФР по сравнению с усилиями отсоединения, полученными при испытаниях



рукавов с макетными УФР, отмечалось как уменьшение (для рукавов ПО1, ГБ), так и увеличение (для рукавов ХО1, ХО2, МСО, ПхО2) значений данных усилий.

Одновременно установлено, что после проведения УКИ в штатном режиме работы усилие отсоединения рукавов МСО, ХО2, ПхО2, ХО1 превышает требование технического задания на 60, 9,2, 20,4 и 2,8 кгс соответственно. Указанные рукава, особенно рукав ХО1, расположены в местах установки таким образом, что углы между продольными осями посадочных мест (горловины термостатирования РКН и соответствующих насадок трубопроводов) минимальны. Это обстоятельство, как было сказано выше, способствует увеличению усилия отсоединения.

Таким образом, существуют основания утверждать, что УКИ не повлияли в значительной степени на изменение усилий отсоединения рукавов УС [3].

4. Испытания опытных образцов УФР на функционирование и определение усилия расфиксации (срабатывания) при норме 1,2-2,5 кгс.

Анализ и исследования результатов 720 циклов срабатываний показал, что минимальное усилие составляет 1,25 кгс, максимальное – 6,75 кгс [3]. Несмотря на то, что фактическое значение верхнего предельного отклонения усилия превышает теоретическое в 2,7 раза, оно представляется вполне приемлемым. Это связано с возможностью реализации указанного усилия всеми известными способами: отклонением установщика, стартом РКН, одновременным отклонением установщика и стартом РКН, вручную представителем обслуживающего персонала.

5. Ресурсные испытания по определению количества циклов монтажа-демонтажа рукавов УС на горловину термостатирования РКН.

В соответствии с требованиями технического задания устанавливали 250 циклов по присоединению-отсоединению каждого типа рукава транспортной системы термостатирования со срабатыванием УФР. Результа-

ты испытаний положительные. В процессе испытаний как с макетными, так и с опытными образцами УФР была подтверждена возможность обеспечения заданных в техническом задании требований. При этом рукава сохраняли собственную целостность, герметичность и работоспособность [3].

6. Определение несущей способности и прочности при  $P_{исп}=0,2_{0,05}$  МПа.

### Выводы

1. Разработаны и изготовлены опытные образцы рукавов УС системы термостатирования РКН "Циклон-4" двух типоразмеров восьми наименований, а также проведены заводские испытания в соответствии с программой и методикой до и после УКИ, которые в свою очередь прошли по собственной программе и методике на разработанной и аттестованной установке ДН08.101.000.000 на ГП "УНИКТИ "ДИНТЭМ".

2. Определено, что при штатном режиме работы и рабочем давлении рукав УС стабильно отсоединяется от горловины термостатирования РКН создаваемым усилием в пределах требований технического задания.

3. Установлено, что ускоренное старение материала рукава существенно не влияет на усилие отсоединения от горловины. При этом, как оказалось, усилие в решающей степени зависит от взаимного геометрического расположения горловины термостатирования РКН и соответствующего патрубка трубопровода СТ, т.е. от конфигурации мест установки рукава. Имеет место обратно пропорциональная зависимость между усилием отсоединения и углом, образованным между продольными осями посадочных мест рукава УС. Эта зависимость должна учитываться проектантами РКН и наземного комплекса. Чем больше угол между продольными осями горловины и патрубка, тем меньше усилие отсоединения, что в свою очередь предпочтительнее для корпуса РКН. И наоборот, чем меньше угол между продольными осями



горловины и патрубка, тем больше усилие отсоединения. Это приводит к неблагоприятному воздействию на РКН, причем на начальном участке полета, если разъединение связей с СТ обеспечивается за счет движения ракеты и требуется парирование дополнительных возмущений. Данная особенность также должна учитываться при расчетах управляемости и динамики движения РКН.

4. При испытаниях в нештатном режиме работы (УФР принудительно зафиксирован) для имитации условий отказа определено, что усилие отсоединения от горловин рукавов МСО, ХО<sub>2</sub>, РхО<sub>2</sub>, ХО<sub>1</sub> составляет 160,0; 109,2; 130,4; 102,8 кгс соответственно и превышает требования технического задания на 60; 9,2; 20,4 и 2,8 кгс. Однако указанный режим работы носит граничный, экстремальный, маловероятный характер и может быть следствием влияния, например, человеческого фактора в ходе выполнения сборочно-монтажных работ. Это имитация наихудшего варианта условий отсоединения рукава УС от горловины термостатирования РКН. Очевидно, что в процессе предстартовой подготовки и проведения пуска РКН все негативные последствия должны быть исключены на основе безукоризненного выполнения требований эксплуатационной документации, а также действиями контрольно-проверяющего аппарата пусковой миссии. В целом результаты испытаний в нештатном режиме подтвердили высокую степень надежности и безотказности рукавов, соответствующую требованиям технического задания.

5. При подаче испытательного давления воздуха  $P_{исп}=1,5P_{раб}$ , происходит увеличение диаметра рукавов УС по типу ХО<sub>1</sub> на 5,4% и рукавов по типу ГБ на 15,9%.

6. Установлено, что усилие воздействия до 5 кгс крышек горловин на рукава УС не влияет на геометрию конструкции рукавов и их работоспособность ввиду высокой прочности гофрированной части.

7. Рукава УС после испытаний на ресурс (250 циклов монтажа-демонтажа на горловину термостатирования РКН) находятся в удовлетворительном состоянии, сохраняют целостность и герметичность, что подтверждает прочность материала (резины) и надежность конструкции.

8. При испытательном давлении, равном 0,12 МПа, рукав УС сохраняет целостность, герметичность и срабатывает как своеобразный предохранительный клапан, не допуская дальнейшего повышения давления в системе.

9. Разработанная конструкция рукавов УС обеспечивает требуемые усилия отсоединения от горловины РКН и соответствует всем требованиям технического задания.

#### **Список использованной литературы**

1. Бигун С.А., Скоков А.И. Разработка и создание установки для испытаний узлов стыковки систем термостатирования ракет-носителей // *Космическая техника. Ракетное вооружение: Сб. науч.-техн. ст. – 2015. – Вып. 3. – Днепропетровск: ГП "КБ "Южное". – 122 с.*

2. Скоков А.И. и др. Технологические аспекты создания рукавов стыковки систем термостатирования с горловинами отсеков ракет-носителей /А.И. Скоков, С.В. Каплун, Е.А. Богуцкая, М.С. Хорольский, С.А. Бигун // *Космическая техника. Ракетное вооружение: Сб. науч.-техн. ст. – 2015. – Вып. 1. – Днепропетровск: ГП "КБ "Южное". – 80 с.*

3. Проведение заводских испытаний рукавов УРД СТ и ТСТ: Науч.-техн. отчет/ ГП "УНИКТИ "ДИНТЭМ". – ДО-550-2013. – 2013. – 303 с.

Статья поступила 08.02.2016