

С. А. Бигун, канд. техн. наук М. С. Хорольский

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ РУКАВОВ УЗЛОВ СТЫКОВКИ СИСТЕМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТ

*Проблематика экспериментальной отработки рукавов стыковки систем термостатирования для потребностей космического ракетостроения является весьма актуальной. Представленной тематике уделяется недостаточно внимания в публикациях. Цель настоящей статьи – восполнить этот пробел. Оработка рукавов, проводимая в соответствии с комплексной программой, предусматривает целый ряд последовательно проводимых испытаний и имеет свои особенности. В целом это заводские испытания, участие в системных и комплексных испытаниях и летных испытаниях космической ракеты. Особо отмечена роль ускоренных климатических испытаний, как составной части заводских испытаний, по подтверждению гарантийных обязательств на рукава. В заключении статьи сформулирована концепция экспериментальной отработки рукавов систем термостатирования космических ракет, отражающая особенности испытаний, а также сделан вывод о том, что выполнение отработки рукавов в соответствии с представленной последовательностью обеспечивает создание изделий, отвечающих предъявленным требованиям.*

**Ключевые слова:** космический ракетный комплекс, наземный комплекс, стартовый комплекс, комплексная программа экспериментальной отработки, программа и методика испытаний, ускоренные климатические испытания, комплексные испытания.

*Проблематика експериментального відпрацювання рукавів стикування систем термостатування для потреб космічного ракетобудування є дуже актуальною. Цій тематиці приділено замало уваги в публікаціях. Мета цієї статті – заповнити цю прогалину. Відпрацювання рукавів, що виконують відповідно до комплексної програми, передбачає цілий ряд випробувань, що послідовно проводяться, і має свої особливості. В цілому це заводські випробування, участь у системних і комплексних випробуваннях та участь у льотних випробуваннях космічної ракети. Особливо відмічено роль прискорених кліматичних випробувань, як складової частини заводських випробувань, після підтвердження гарантійних зобов'язань на рукави. У висновку статті сформульовано концепцію побудови експериментального відпрацювання рукавів систем термостатування космічних ракет, що відображає особливості випробувань, а також підсумовано, що здійснення відпрацювання рукавів відповідно до наведеної послідовності забезпечує створення виробів, які відповідають висунутим вимогам.*

**Ключові слова:** космічний ракетний комплекс, наземний комплекс, стартовый комплекс, комплексна програма експериментального відпрацювання, програма і методика випробувань, прискорені кліматичні випробування, комплексні випробування.

*The range of problems of development testing of thermostating systems mating hoses for the needs of space rocketry building is most topical. In publications, insufficient attention is given to the presented range of problems. The purpose of this article is to fill in this gap. Testing of the hoses performed in accordance with comprehensive program implies a number of sequential tests and has its peculiarities. Generally, these are factory tests, participation in system and integrated tests and participation in flight tests of a space rocket. Special reference was made to the role of accelerated climatic tests, as a part of factory tests, to confirm warranty obligations for the hoses. In conclusion of the article, the concept was formulated on organization of development testing of space rockets thermostating systems hoses that reflects test peculiarities and the conclusion was made that conducting the testing of hoses according to the presented sequence ensures creation of articles that meet the requirements imposed.*

**Key words:** space launch system, launch site, launch complex, comprehensive development test program, test program and procedure, accelerated climatic tests, integrated tests.

### Введение

Известно, что при экспериментальной отработке новых и модернизации существующих ракет-носителей необходимо в максимальной степени использовать опыт предыдущих разработок. При этом наземную экспериментальную отработку изделий

необходимо проводить в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным [1-3]. Именно такой подход был использован при отработке новой концепции узлов стыковки систем термостатирования с применением резинового рукава триединой конструкции.

Цель данной работы – показать особенности экспериментальной отработки указанных рукавов, изготовленных из высокоэластичного материала – резины. Оработка рукавов узлов стыковки систем термостатирования космических ракет имеет принципиальное значение в процессе создания наземного комплекса космических ракетных комплексов (КРК). Это связано с тем, что только в ходе испытаний представляется возможным подтвердить все многочисленные требования, предъявляемые к рассматриваемым узлам [4]. Кроме того, некоторые требования, например высокая надежность в процессе эксплуатации и низкая стоимость изготовления, целостность и живучесть конструкции в условиях воздействия эксплуатационных факторов и повышенные гарантийные обязательства, противоречивы. Поэтому вопросы экспериментальной отработки рукавов очень важны и актуальны [5, 6].

В официальных научных изданиях информация по рассматриваемой тематике практически полностью отсутствует. Авторы надеются восполнить этот пробел публикацией данной статьи.

### **Основная часть**

Оработка рукавов узлов стыковки проводится на основании комплексной программы экспериментальной отработки (КПЭО), которая является головным документом разработчика изделий. Программа направлена на обеспечение полноты и качества испытаний, устанавливает их объем и порядок, а также основные требования к экспериментальной отработке. Одновременно представляет основание для разработки частных программ видов испытаний.

Для отработки рукавов узлов стыковки необходимо максимально отразить и обеспечить условия эксплуатации в испытуемом изделии. Речь идет об имитации таких условий на специальном рабочем месте (установке или стенде) [5]. Помимо этого следует доказать и подтвердить работоспособность рукавов новой конструкции и в составе реального наземного комплекса КРК. В этом и заключаются основные особенности отработки рукавов узлов стыковки.

Очевидно, что представленный подход требует определенных затрат на изготовление материальной части (комплекта рукавов, установки, энергоносителей и т.д.). Здесь вполне уместно предложение со стороны критиков по уменьшению финансовых расходов путем замены физического моделирования на математическую модель. В принципе данный подход возможен. Однако он не позволяет учитывать ряд особенностей работоспособности рукавов новой конструкции из конструкционного материала (резины), который ранее для этих целей не применялся. Из-за этого погрешность математического моделирования велика и по абсолютной величине может достигать 50 %. Очевидно, что при этом ошибка дорого может обойтись в процессе реальной эксплуатации и поэтому является неприемлемой. Кроме того, для выполнения математического моделирования необходимо располагать квалифицированными кадрами и мощной компьютерной техникой. Также положительные результаты математического моделирования могут не совпадать с результатами реальной отработки. В силу приведенных причин отработка рукавов узлов стыковки на физических моделях является более достоверной и предпочтительной, хотя и несколько затратной в сравнении с математической моделью. Только подобный подход может обеспечить на выходе создание высокоэффективного, качественного и надежного рукава и в целом узла стыковки.

Целью экспериментальной отработки рукавов являются [7]:

- подтверждение правильности выбранных технических решений;
- подтверждение работоспособности рукавов новой конструкции из высокоэластичного материала и узлов стыковки в целом;
- подтверждение работоспособности рукавов при взаимодействии со смежными элементами конструкции;
- всесторонняя проверка и подтверждение эксплуатационных характеристик рукавов, заданных в техническом задании, в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации;

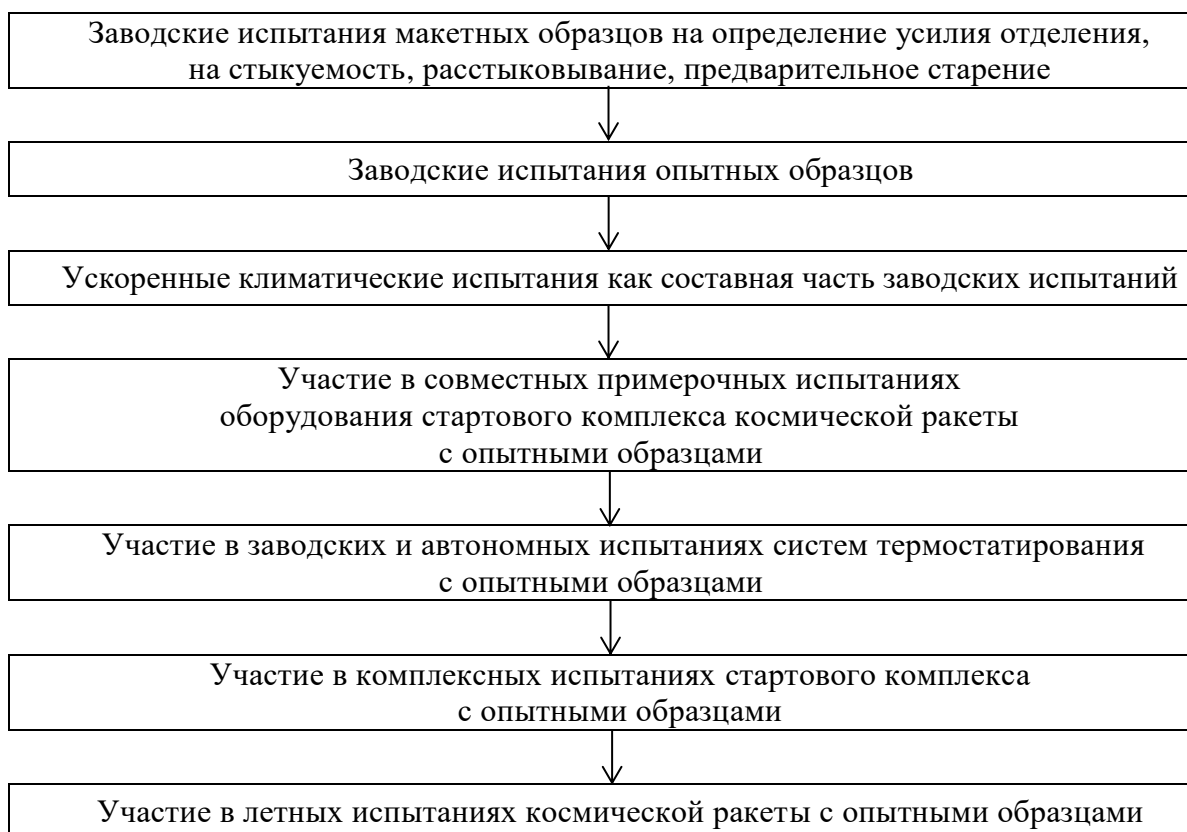
- оценка соответствия технических параметров рукавов требованиям технического задания;
- испытания и проверка функционирования рукавов во всех режимах эксплуатации, в том числе граничных;
- проверка правильности принятых схемных и конструктивных решений;
- выявление ненадежных элементов конструкции рукавов, разработка и реализация мероприятий по повышению надежности, подтверждение надежности, требуемой согласно техническому заданию;
- проверка усилия отделения рукавов от горловин космических ракет;
- проверка выполнения требований к эргономике и технической эстетике;
- проверка требований к стойкости к воздействию внешних факторов и биологических вредителей;
- проверка границ работоспособности;

- обработка конструкторской, технологической и эксплуатационной документации;
- подтверждение гарантийных обязательств;
- проверка уровня отработки технологии изготовления и контроля качества рукавов, правильности выбора испытательного оборудования и контрольно-измерительных средств.

При этом полный объем экспериментальной отработки узлов стыковки делится на два этапа [1]:

- наземная экспериментальная отработка;
- летные испытания.

В общем, отработка рукавов узлов стыковки представляет собой совокупность видов испытаний [7], которые для наглядности приведены на блок-схеме.



Блок-схема видов испытаний рукавов узлов стыковки системы термостатирования космической ракеты

При этом переход на следующий этап отработки происходит только после завершения работ по предыдущему этапу и

устранения всех выявленных недостатков. Результаты и анализ каждого вида испытаний оформляются соответствующим образом.

щими протоколами, отчетами и заключениями, согласованными со всеми заинтересованными сторонами.

После завершения каждого вида испытаний разработчик рукавов проводит при необходимости корректировку конструкторской, технологической и эксплуатационной документации. По результатам экспериментальной отработки опытных образцов рукавов документации присваивается литера «О» с выпуском соответствующего заключения и заключения о допуске к изготовлению рукавов для испытаний в составе стартового комплекса. Материальная часть для проведения последующих испытаний изготавливается по документации, откорректированной по результатам заводских испытаний.

Ниже приводятся характеристики конкретных видов испытаний.

Заводские испытания макетных образцов проводят с целью:

- проверки правильности примененных технических решений, а при необходимости поиска и определения новых технических решений;
- проверки комплектности конструкторской документации;
- проверки границ работоспособности;
- подтверждения соответствия параметров требованиям технического задания;
- проверки усилия отделения рукавов (стыковки-расстыковки);
- предварительного старения.

Данные испытания проводятся на специальной установке-имитаторе эксплуатационных условий стартового комплекса.

Заводские испытания опытных образцов повторяют цели и задачи предыдущих испытаний с добавлением проверки эксплуатационной документации и проведением эргономической экспертизы.

Очень важной частью заводских испытаний являются ускоренные климатические испытания (УКИ). Это связано с тем, что рукав узла стыковки представ-

ляет собой изделие на основе эластомерного материала, который в результате старения сравнительно быстро изменяет свои технические характеристики. Поэтому в процессе создания подобного рода изделий задача подтверждения работоспособности узлов стыковки систем термостатирования, обеспечения требуемых гарантийных обязательств (гарантийных сроков хранения и эксплуатации) является актуальной.

Производство резинотехнических изделий для ракетно-космической и иной специальной техники относят к числу критических технологий. Это связано с проходимыми в резине (материале рукава) неконтролируемыми из-за старения деструкционными процессами. В то же время предъявляются высокие требования к герметичности, долговечности, надежности, качеству и эффективности рукавов. Например, гарантийные сроки хранения и эксплуатации могут достигать десять лет и более. Реализация данных требований возможна только на основе проведения соответствующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ согласно комплексной программе экспериментальной отработки, включая проведение УКИ при повышенных температурах в специальных термических камерах. Указанные испытания проводятся в рамках наземной части экспериментальной отработки. При этом под влиянием температуры процесс старения ускоряется, и свойства эластомеров резко ухудшаются вплоть до изменения физического состояния. Анализ состояния резины после старения дает возможность прогнозировать технические характеристики эластомеров в течение заданного времени и рассчитать гарантийные сроки обеспечения работоспособности резинового рукава.

Для указанных расчетов целесообразно использовать методологию в соответствии с ГОСТ 9.713-86 «Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Метод прогнозирования изменения свойств при термическом старении». Со-

гласно стандарту «сущность метода заключается в определении показателя свойств резины, существенно изменяющегося в процессе термического старения – характерного показателя старения при нескольких повышенных температурах, расчете коэффициента, характеризующего зависимость скорости изменения показателя от температуры старения и экстраполяции полученных данных на заданную температуру». Расчеты по данной методологии хорошо себя зарекомендовали в прогнозировании работоспособности других типов резинотехнических изделий во многих узлах и агрегатах различных КРК.

Участие в совместных примерочных испытаниях оборудования стартового комплекса опытных образцов рукавов, заводских и автономных испытаниях систем термостатирования и комплексных испытаниях стартового комплекса с опытными образцами направлено на проверку комплектности рабочей конструкторской документации, работоспособности, подтверждение соответствия заданным требованиям и проверку эксплуатационной документации. Указанные испытания проводятся на предприятии-изготовителе стартового оборудования и на стартовом комплексе.

Завершающим этапом экспериментальной отработки является участие опытных образцов узлов стыковки в летных испытаниях космической ракеты на стартовом комплексе. В процессе испытаний проверяется и подтверждается выполнение всех требований, предъявляемых к рукавам в процессе реального старта.

### **Выводы**

1. Сформулирована концепция и показаны особенности экспериментальной отработки резиновых рукавов систем термостатирования космических ракет.

2. Проведение экспериментальной отработки рукавов в соответствии с представленной последовательностью обеспечивает создание надежных изделий, отвечающих предъявляемым требованиям.

### **Список использованной литературы**

1. Дегтярев А. В., Кашанов А. Э., Кривобоков Л. В. Системный подход к планированию экспериментальной отработки новых и модернизируемых ракет-носителей // Системные технологии: Регионал. межвуз. сб. науч. трудов. – 2011. – 196 с.
2. Дунаев Д. В., Кривобоков Л. В. Обоснование видов испытаний при создании комплексной программы экспериментальной отработки типовой ракеты космического назначения // Авиационно-космическая техника и технология. – №4. – 2015. – С. 26-31.
3. Дунаев Д. В., Кривобоков Л. В. Анализ математических моделей оценки надежности ракетной техники при экспериментальной отработке // Космическая техника. Ракетное вооружение: Сб. науч.-техн. ст. – 2015. – Вып. 1. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное». – С. 3-8.
4. Бігун С. О., Хорольський М. С. Шляхи створення вузлів стикування систем термостатування ракет космічного призначення // Холодильна техніка і технологія: Наук.-техн. журн. – 2018. – Т. 54. Вип. 1. – Одеса: ОНАХТ. – С. 27-30.
5. 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». – С. 107-110.
6. Бигун С. А., Хорольский М. С. и др. Экспериментальные исследования результатов отработки узлов стыковки системы термостатирования РКН «Циклон-4» // Космическая техника. Ракетное вооружение: Сб. науч.-техн. ст. – 2016. – Вып. 2. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное». – С. 43-51.
7. КРК «Циклон-4». Рукава узлов разового действия системы термостатирования 2Г40 и рукава стыковки адаптера транспортной системы термостатирования 2Г20: Комплексная программа экспериментальной отработки Д4301.25009.00.00 КПЭО/ГП УНИКТИ ДИНТЭМ, ГП «КБ «Южное». – 2011. – 20 с.

Статья поступила 05.12.2018