

УДК 621.45.018

Н.И. ТУТОВ, Г.Н. ЧЕПЕЛЬ, А.В. БЕЗДЕНЕЖНЫХ*ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепрпетровск, Украина***О НЕКОТОРЫХ МЕТОДАХ УСТАНОВЛЕНИЯ И ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ
ЭКСПЛУАТАЦИИ РДТТ ДЛЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Приведены результаты поэтапно проведенных исследований по установлению и продлению сроков эксплуатации ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ) для торможения отработавших ступеней ракет-носителей программ "Морской старт" и "Наземный старт". Разработанные методы испытаний и методология проведения работ по оценке работоспособности РДТТ позволяют эффективно и с минимумом затрат реализовать задачу по требуемым срокам эксплуатации. Отмечено, что все РДТТ, как вновь разработанные, так и с продленными сроками эксплуатации были успешно использованы при запусках ракет-носителей. На технические решения по ускоренным испытаниям получены патенты Украины №77764 2007г. и № 65830 2006г.

Ключевые слова: *ракетный двигатель на твердом топливе, ракета-носитель, ускоренные испытания, гарантийный срок, срок эксплуатации.*

Введение

В настоящее время в составе различных ракет-носителей (РН) космического назначения используются ракетные двигатели на твердом топливе (РДТТ). Ракетные двигатели предназначены для выполнения определенных функций, таких как отделение, стабилизация вращением, торможение отработавших ступеней РН и для других целей [1].

Как правило, РН и их составные части разрабатываются и отработываются с определенным гарантийным сроком эксплуатации (не менее трех лет). Требования к длительной эксплуатации РДТТ создают определенные трудности при отработке и установлении сроков эксплуатации. Это связано с тем, что РДТТ в своем составе содержит большое количество узлов и деталей (заряд твердого топлива, теплозащитное покрытие, резинотехнические детали и др.), изготовленных из полимерных материалов. Полимерные материалы при длительной эксплуатации могут изменять свои свойства, что может повлечь за собой и изменение характеристик РДТТ при их работе. В случае ожидания изменения характеристик двигателя и его работоспособности под воздействием факторов внешней среды необходимо проводить специальные испытания.

Основным процессом, который может привести к изменению свойств и качества полимерного материала при эксплуатации, является процесс теплового старения материала при температурных воздействиях условий внешней среды.

Методы ускоренных испытаний материалов

изделий основаны на принципе температурно-временной эквивалентности продолжительности воздействия факторов внешней среды на изделие в естественных условиях и в режиме ускоренного старения при повышенных температурах [2, 3]. Такой подход позволяет сократить продолжительность испытаний при сохранении высокой достоверности отработки и установления требуемых гарантийных сроков эксплуатации изделий.

Многолетний опыт отработки РДТТ и использование по прямому назначению свидетельствует о том, что по истечении установленного гарантийного срока двигателя, хранившиеся в условиях требований технической документации, могут быть использованы в дальнейшем для комплектации ракет-носителей.

В настоящей статье рассматриваются методы установления, отработки и продления сроков эксплуатации РДТТ торможения отработавших ступеней РН семейства «Зенит». Приводятся результаты использования двигателей торможения в составе ракет-носителей «Зенит-3SL» и «Зенит-3SLБ». На первой и второй ступенях РН устанавливаются по четыре РДТТ двух типов, отличающихся между собой по габаритно-весовым и энергетическим характеристикам.

Справочная информация. Запуск РН «Зенит-3SL» по программе «Морской старт» проводится с плавучей платформы «Одиссей» на экваторе в Тихом океане в районе острова Рождества (Республика Кирибати). В конце XX столетия 28 марта 1999 года был осуществлен первый успешный запуск ракеты-

носителя «Зенит-3SL» по программе «Морской старт», а спустя 10 лет 20 апреля 2009 года проведен 30 успешный запуск РН «Зенит-3SL».

Запуск РН «Зенит-3SLБ» по программе «Наземный старт» проводится с космодрома «Байконур» (Казахстан). Успешные первые два запуска РН «Зенит-3SLБ» были проведены 26 апреля 2008 г. и 26 февраля 2009 г.

1. Отработка и установление гарантийных сроков эксплуатации

В период с 1999 по 2003 г.г. при комплектации РН «Зенит-3SL» были использованы все ранее изготовленные двигатели торможения ступеней с требуемыми гарантийными сроками эксплуатации (СЭ). Однако к указанному времени на хранении оставались в большом количестве изготовленные двигатели и их комплектующие элементы (корпуса двигателей), у которых гарантийный срок был близок к завершению установленного СЭ или уже завершился.

В связи с этим было принято решение о разработке новых двигателей торможения и проведении исследований по оценке возможности продления срока эксплуатации ранее изготовленных узлов двигателей.

Разработка новых двигателей торможения проводилась с учетом опыта отработки и использования аналогичных двигателей. Это позволило провести экспериментальную отработку новых двигателей с минимальным объемом. Схема двигателей торможения ступеней РН представлена на рис. 1.

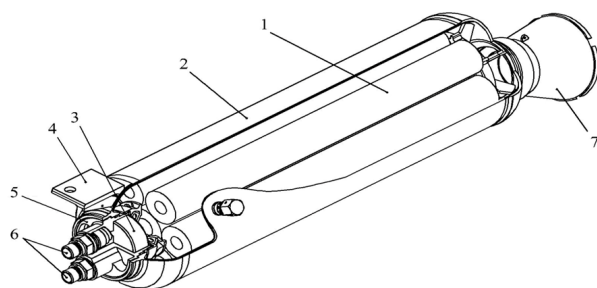


Рис. 1. Двигатель торможения ступеней РН и его составные части:

- 1 – заряд твердого топлива; 2 – корпус с теплозащитным покрытием; 3 –воспламенитель;
- 4 – кронштейн крепления к РН; 5 – крышка;
- 6 – пиропатрон; 7 – сопло

Для установления на двигатели требуемых гарантийных сроков (не менее 5 лет) были разработаны методики оценки сохранения основных характеристик РДГТ, которые с высокой степенью достоверности позволяют прогнозировать возможность установления и, при необходимости, продления

(увеличения) сроков эксплуатации.

В процессе отработки двигателей были проведены эксплуатационные испытания, которые включали тепловое старение корпусов, вибрационные и стендовые испытания двигателей.

Тепловое старение корпусов двигателей торможения II ступени РН проводилось при температуре 70 °С в течение 40 суток по режиму старения внутреннего теплозащитного покрытия, материалы которого наиболее склонны к воздействию температур.

Тепловое старение корпусов двигателей торможения I ступени РН проводилось по режиму старения уплотнительных резиновых деталей (колец и прокладок). Испытания этих корпусов проводилось ступенчато с выдержкой при температурах: 55 °С в течение 5 суток, 65 °С в течение 4 суток, 70 °С в течение 22,5 суток и обратно при температуре 65 °С в течение 4 суток и 55 °С в течение 5 суток. Режимы испытаний позволили исключить воздействие температурных перепадов на изделия (от 20 до 70 °С) и проимитировать срок эксплуатации уплотнительных деталей в составе двигателей [4]. При таком режиме испытаний исключалось также и появление не свойственных в процессе эксплуатации двигателей дефектов.

Следует отметить, что такие элементы двигателей, как заряды твердого топлива, воспламенители и пиропатроны имели достаточный гарантийный срок для комплектации двигателей, поэтому испытаниям тепловым старением они не подвергались.

По завершении теплового старения были проведены вибрационные испытания двигателей на воздействие полетных нагрузок. Испытания проводились на частоте 50 Гц с перегрузкой 4 g и на частоте 200 Гц с перегрузкой 6 g. Продолжительность воздействия перегрузки на каждой частоте составляла 450 с – для двигателя торможения II ступени. Для двигателя торможения I ступени продолжительность воздействия перегрузок составляла: на частоте 50 Гц в течение 180 с и на частоте 200 Гц в течение 300 с. Режимы испытаний имитировали воздействие вибрационных нагрузок от работы маршевых двигателей I и II ступеней при полете РН. К столу вибрационного стенда двигатели крепились в вертикальном положении (соплом вверх) с помощью специального переходника, имитирующего крепление двигателей на ракете-носителе.

Стендовые испытания двигателей проводились при среднеобъемной температуре зарядов твердого топлива плюс 50 °С и минус 50 °С (по два двигателя при каждой температуре).

Критериями оценки работоспособности двигателей являлось соответствие материальной части комплектующих элементов и энергетических харак-

теристик (время работы, значения реактивной силы) требованиям сборочных чертежей и технических условий на двигатели.

Разработанные новые двигатели в период с 2006 по 2009 г.г. были использованы:

- 10 комплектов двигателей торможения II ступени в составе РН «Зенит-3SL», один комплект в составе РН «Зенит-2» и два комплекта в составе РН «Зенит-3SLБ» – всего 13 комплектов двигателей;
- два комплекта двигателей торможения I ступени в составе РН «Зенит-3SLБ».

2. Продление сроков эксплуатации

По истечении гарантийного срока эксплуатации состояние материальной части РДТТ может быть вполне удовлетворительным. Однако, дальнейшая эксплуатация такого двигателя без проведения определенных работ не допустима ввиду отсутствия полной уверенности в его работоспособности. Под этими работами подразумеваются специальные исследования и всесторонний анализ материальной части, в результате которых продлевается (увеличивается) срок эксплуатации РДТТ.

Обоснование возможности и продление СЭ ракетных двигателей имеет важное значение, поскольку позволяет избежать материальных и экономических затрат, связанных с преждевременной заменой данного изделия на вновь изготовленное.

В ГП «КБ «Южное» были разработаны методики испытаний и проведен большой объем исследовательских и экспериментальных работ, позволяющих по истечению установленного гарантийного срока эксплуатации РДТТ прогнозировать протекание процесса старения комплектующих полимерных материалов с установлением дополнительных сроков хранения и эксплуатации.

Одна из разработанных методик позволяет на этапе истечения гарантийного срока изделия провести расчетную оценку возможности продления СЭ этого изделия до требуемых значений [5]. При этом, если температурные нагрузки на изделие в истекшем и продлеваемом периодах эксплуатации не превышают реализованные температурные воздействия при экспериментальной отработке изделия, решение о продлении СЭ изделия может быть принято без проведения дополнительных специальных испытаний.

Особенности и результаты проведения поэтапных исследований по продлению сроков эксплуатации РДТТ для РН программ «Морской старт» и «Наземный старт» были представлены на 2-й Международной конференции «Передовые космические технологии на благо человечества» [6]. Эти работы проводились с ранее изготовленной материальной

частью РДТТ торможения ступеней РН.

В 1990 г. были изготовлены 26 двигателей торможения II ступени, а в 1991 г. – 10 двигателей торможения I ступени. Кроме того, имелись корпус-аналоги двигателя торможения I ступени, которые были изготовлены в 1986-1989 г.г. (78 шт.).

С целью использования задела двигателей торможения и корпусов-аналогов было принято решение о проведении специальных работ по оценке возможности продления их гарантийных сроков.

Для оценки возможности использования двигателей с продленными СЭ в составе РН разработана программно-методическая документация, определены режимы ускоренных испытаний и проведены экспериментально-исследовательские работы по продлению СЭ двигателей до требуемых значений.

В процессе выполнения работ проведен анализ данных технологической документации по изготовлению двигателей и их комплектующих элементов, результатов отработки и подтверждения установленных сроков эксплуатации двигателей и их аналогов. Был проведен также и анализ температурно-влажностных условий автономного хранения и ожидаемых условий эксплуатации двигателей в составе РН в течение устанавливаемых сроков эксплуатации.

При проведении экспериментальных работ ускоренным испытаниям в 2000 г. подвергались четыре двигателя торможения II ступени РН в комплектации зарядами твердого топлива и корпусами, изготовленными в 1986-1990 г.г.

Испытания проведены в два этапа:

- предварительное тепловое старение корпуса ненаполненного по режиму старения теплозащитного покрытия (ТЗП) внутренней поверхности корпуса при температуре 70 °С в течение 38,5 суток (с учетом дальнейшего достаривания этого корпуса по режиму старения заряда твердого топлива);
- тепловое старение собранного двигателя по режиму старения заряда твердого топлива при температуре 55 °С в течение 4,8 суток.

Продолжительность теплового старения определена из условия имитации требуемого дополнительного СЭ двигателя.

Расчет режимов и порядок испытаний двигателей исключал перестаривание наиболее теплонапряженного элемента двигателя при его работе – заряда твердого топлива.

По завершении теплового старения проведены вибрационные испытания на воздействие полетных нагрузок и стендовые испытания двигателей.

Для оценки возможности продления срока эксплуатации корпусов-аналогов двигателя торможения I ступени РН и использования их при изготовлении двигателей проведены ускоренные испытания

четырёх корпусов.

В 2000 г. испытания двух корпусов (изготовлены в 1988 г.) проведены при температуре 70 °С в течение 39 суток. В 2003 г. проведены испытания двух других корпусов (изготовлены в 1986 г.) при температурах от 65 до 70 °С в течение 18 суток.

Тепловое старение корпусов проводилось по режиму старения ТЗП [7] для имитации дополнительного срока эксплуатации в течение не менее 10 лет.

По завершении теплового старения корпуса-аналоги двигателей торможения I ступени РН были укомплектованы зарядами твердого топлива и воспламенителями (изготовлены в 1989 г. и в 1985 г.) и специальными крышками (изготовлены в 2002 г.) для проведения вибрационных и стендовых испытаний.

Условия, режимы вибрационных и стендовых

испытаний, а также критерии оценки работоспособности двигателей торможения I и II ступеней РН были такими же, как и для вновь разработанных РДТТ торможения ступеней РН (см. раздел 1).

В период с 2004 по 2008 г.г. двигатели торможения (с продленными сроками эксплуатации) были использованы:

– 5 комплектов двигателей торможения II ступени в составе РН «Зенит-3SL» и один комплект в составе РН «Зенит-2»;

– 14 комплектов двигателей торможения I ступени в составе РН «Зенит-3SL», два комплекта в составе РН «Зенит-2» и один комплект в составе РН «Зенит-3SLБ» – всего 17 комплектов двигателей.

Сведения по срокам использования РДТТ с продленными сроками эксплуатации в составе ракет-носителей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения по срокам использования РДТТ

| Объект использования | Количество комплектов двигателей по годам использования РН | | | | |
|---------------------------------|--|------|------|------|------|
| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Двигатель торможения I ступени | 1 | 4 | 5 | 1 | 6 |
| Двигатель торможения II ступени | 1 | 4 | 1+4* | 1* | 6* |

* – использовались вновь разработанные двигатели

На момент использования общий срок эксплуатации двигателей превысил установленный гарантийный срок: для двигателей торможения II ступени в 1,1 – 1,3 раза, а для двигателей торможения I ступени в 1,5 – 1,9 раза.

С 2009 г. используются вновь разработанные двигатели торможения I и II ступеней ракет-носителей.

Все двигатели при запуске ракет-носителей сохранили работоспособность и выполнили свои функциональные задачи – обеспечили торможение отработавших I и II ступеней в момент их отделения от ракет-носителей.

Заключение

Представленная методология проведения работ и результаты экспериментальных исследований позволяют эффективно и с минимумом затрат (временных и материальных) реализовать поставленную задачу – оценить возможность и установить требуемые и дополнительные сроки эксплуатации двигателей торможения ступеней ракет-носителей космического назначения программ «Морской старт», «Наземный старт» и других.

Приведенные методические материалы по отработке, установлению, продлению сроков эксплуатации и использование твердотопливных двигателей

с продленными сроками эксплуатации представляют практический интерес для разработчиков РДТТ и могут быть использованы при их отработке для ракет-носителей различного назначения.

Литература

1. Конструкция и отработка РДТТ / Под ред. А.М. Виницкого. – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.
2. ГОСТ 9.707-81. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение. – М.: Изд-во стандартов, 1982, переизданное с изменениями, 1990. – 79 с.
3. А.С. 1133507 СССР, МКИ4 G 01 N 17/00. Способ ускоренных испытаний полимерных материалов на старение / Х.Н. Фидлер, Д.В. Замбахидзе и О.А. Хачатурова (СССР). – № 3402112/25-28; заявл. 16.02.82; опубл. 07.01.85, Бюл. № 1. – 2 с.
4. Пат. 77764 України, МПК (2007) G 01 N 17/00. Спосіб прискорення випробувань виробів на старіння / М.І. Тутов, Г.М. Чепель, А.С. Кириченко, І.П. Баліцький, А.В. Безденежних, Л.А. Клименко, Є.С. Роголіна (Україна); Заявник та власник Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля. – №20040907703; заяв. 22.09.2004; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1. – 3 с.

5. О некоторых методических особенностях оценки возможности продления сроков эксплуатации изделий / Н.И. Тутов, Г.Н. Чепель, Н.П. Ушкин, А.С. Кириченко // *Космическая техника. Ракетное вооружение: науч.-техн. сб.* – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2008. – Вып. 1. – С. 128-145.

6. Тутов Н. К вопросу использования РДТТ с продленными сроками эксплуатации для ракет-носителей космического назначения / Н. Тутов, Г. Чепель, А. Безденежных // «Передовые космические технологии на благо человечества». 2-я междуна. конф. «Космос и общество. Космос: Человеческое измерение». 3-я междуна. конф.: тезисы докл.;

15-17 апр. 2009 г. – Днепропетровск, 2009. – С. 44.

7. Пат. 65830 України, МПК (2006) G 01N 17/00, G 01 N 33/44. Спосіб прискорених випробувань виробів на старіння. / М.І. Тутов, А.С. Кириченко. І.П. Балицький, А.В. Безденежных, О.А. Романов, О.С. Груздов, В.С. Жилкін (Україна); Заявн. та власник Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля, Павлоградський механічний завод Державного підприємства «Виробничі об'єднання Південний машинобудівний завод» ім. О.М. Макарова. – №2003065159; заяв. 04.06.2003; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12. – 3 с.

Поступила в редакцію 29.05.2009

Рецензент: канд. техн. наук, Главный конструктор КБ В.Н. Шнякин, Государственное предприятие "Конструкторское бюро "Южное" им. М.К. Янгеля", Днепропетровск, Украина.

ПРО ДЕЯКІ МЕТОДИ ВСТАНОВЛЕННЯ І ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РДТП ДЛЯ РАКЕТ-НОСІЇВ КОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

М.І. Тутов, Г.М. Чепель, А.В. Безденежных

Приведені результати поетапно проведених досліджень по встановленню і продовженню термінів експлуатації ракетних двигунів на твердому паливі (РДТП) для гальмування відпрацьованих ступенів ракет-носіїв програм "Морський старт" і "Наземний старт". Розроблені методи випробувань і методологія проведення робіт за оцінкою працездатності РДТП дозволяють ефективно і з мінімумом витрат реалізувати завдання по необхідних термінах експлуатації. Відмічено, що усі РДТП, як знов розроблені, так і з продовженими термінами експлуатації були успішно використані при запусках ракет-носіїв. На технічні рішення по прискорених випробуваннях отримані патенти України №77764 2007 р. і № 65830 2006 р.

Ключові слова: ракетний двигун на твердому паливі, ракета-носій, прискорені випробування, гарантійний термін, термін експлуатації.

ABOUT SOME METHODS OF ESTABLISHMENT AND EXTENSION OF TERMS OF EXPLOITATION OF REHF FOR ROCKETS-TRANSMITTERS OF SPACE SETTING

N.I. Tutov, G.N. Chepel, A.V. Bezdyenezhnykh

The results of the stage-by-stage conducted researches are resulted on establishment and extension of terms of exploitation of rocket engines on a hard fuel (REHF) for braking of the workings stages of rockets-transmitters of the programs "Sea Launch" and the "Land Launch". The developed methods of tests and methodology of lead through of works as evaluated by the capacity of REHF allow effectively and with a minimum of expenses to realize a task on the required terms of exploitation. It is marked that all of REHF, both again developed and with the prolonged terms of exploitation were successfully used for the starts of rockets-transmitters. On technical decisions on speed-up tests the patents of Ukraine are got №77764 2007 and № 65830 2006.

Key words: rocket engine on a hard fuel, carrier rocket, speed-up tests, guarantee term, term of exploitation.

Тутов Николай Иванович – начальник сектора Государственного предприятия "Конструкторское бюро "Южное" им. М.К. Янгеля", Днепропетровск, Украина.

Чепель Галина Николаевна – инженер-конструктор I категории Государственного предприятия "Конструкторское бюро "Южное" им. М.К. Янгеля", Днепропетровск, Украина, e-mail: AS2007@i.ua.

Безденежных Альберт Васильевич – начальник отдела Государственного предприятия "Конструкторское бюро "Южное" им. М.К. Янгеля", Днепропетровск, Украина.