

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ „ПРОТОЛЕТНОГО“ ПОДХОДА ПРИ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ НАНОСПУТНИКОВ

В. Д. КУРЕЕВ, С. В. ПАВЛОВ, Ю. А. СОКОЛОВ

*Научно-исследовательский институт космических систем им. А. А. Максимова
филиал ФГУП „Государственный научно-производственный центр им. М. В. Хруничева“,
141091, Королев, Россия,
E-mail: pavlov@niiks.com*

Представлена перспективная схема реализации „протолетного“ подхода при наземной отработке наноспутников, предполагающая проведение квалификационных испытаний на единственном изготовленном летном образце. Рассматриваются преимущества и недостатки предлагаемого подхода. Для снижения влияния выявленных недостатков предлагается использовать имеющийся в ряде организаций ракетно-космической отрасли научно-технический задел по расчетным моделям надежности. Целесообразно увеличивать этот задел в рамках перспективной программы „Создание научно-образовательной космической системы Союзного государства“, в том числе в направлении создания специализированных наземных функциональных модулей для прогнозирования остаточного ресурса и надежности бортовых систем наноспутников по результатам комплексных испытаний.

Ключевые слова: протолетный подход, источники риска, модели риска, задачи управления риском, наземные отработочные испытания

Одним из основных этапов подготовки наноспутников к целевому использованию является наземная экспериментальная отработка. Вследствие того, что изготавливается единственный образец наноспутников, при наземной экспериментальной отработке таких изделий должны использоваться подходы, отличающиеся от традиционных для отработки серийных образцов космических аппаратов (КА).

Традиционный, или „классический“, подход к программам наземной экспериментальной отработки КА состоит в проведении зачетных (в части прочности — предварительных) испытаний на опытных образцах изделий или их макетах, которые после окончания испытаний не подлежат дальнейшему использованию по целевому назначению. После окончания таких испытаний, устранения всех замечаний и корректировки конструкторской документации (КД) изготавливаются новые образцы изделий, которые подвергаются приемочным испытаниям (в отечественной терминологии — технологическим (в части прочности), приемосдаточным) и после их завершения запускаются в космос.

Традиционный подход имеет многолетнюю практику использования во всех странах и по сей день является международным стандартом в создании КА. Однако такой подход имеет один существенный минус — он очень затратен, так как требует создания определенного количества образцов изделий только для проведения квалификационных испытаний. И если для КА, разрабатываемых по программам, предусматривающим серийное изготовление, такой подход оправдан, то для малобюджетных программ создания единичных экспериментальных образцов КА (научно-исследовательские, образовательные программы) он нецелесообразен. Поэтому в 1970-х гг. стали разрабатываться новые концепции и подходы, реализующие программы, в рамках которых проводились квалификационные и приемочные испытания на образцах изделий, запускаемых в космос. Одним из таких подходов и стал „протолетный“.

Термин „протолетный подход“ (в зарубежной терминологии — *protoflightapproach*) впервые появился в нормативных документах NASA, согласно действующим стандартам (NASA-STD-5001, NASA-STD-7001, NASA-STD-7002 [1—3]) он признан типовым.

Аналогичные исследования, проведенные в России [4—8], позволяют предположить, что эффективным по расходу усталостного ресурса как конструкции прибора, так и КА в целом, является подход, при котором бортовые приборы проходят приемочные испытания и устанавливаются в летный образец КА, подвергаются испытаниям в его составе с последующим запуском в космос.

Пример типовой программы испытаний наноспутников для разных уровней сборки КА, реализующей „протолетный“ подход, приведен в таблице. При этом часть натуральных испытаний заменяется моделированием, режимы некоторых видов испытаний „смягчаются“ по уровню и длительности действия нагрузок.

Вариант программы испытаний наноспутников при реализации „протолетного“ подхода

Параметры испытаний	Уровень сборки КА		
	прибор	подсистема	КА
Механические испытания			
Статическая прочность	+	+	+
Синусоидальная вибрация со сканированием частоты (5—50 Гц)	+	+	+
Случайная вибрация	+	+	—
Акустика	—	—	+
Удар (механический и пироудар)			
— внутренний источник	+	+	+
— внешний источник	—	—	+
Модальные испытания	—	+	+
Падение давления	—	—	—
Раскрытие механических систем	—	+	+
Тепловые испытания			
Термовакуумные испытания	+	+	+
Термоциклирование при нормальном давлении	+	+	—
Тепловой баланс	—	+	+
Обезгаживание прогревом (в критичных к загрязнению случаях)	+	+	+
Испытание на герметичность прибора	+	—	—
Электромагнитная совместимость			
Радиоизлучение	+	+	+
Восприимчивость к радиоизлучению	+	+	+
Функциональные испытания			
Электрический интерфейс	+	+	+
Комплексные проверки	+	+	+
Бессбойная работоспособность	+	+	+
Механический интерфейс	+	+	+
Калибровки	+	+	+
Сквозные системные проверки и имитация полетных режимов	—	—	+
Программа ресурсных испытаний (для критичных приборов)	+	—	—
Юстировка	+	+	+
Проверка массы	+	+	+

Отметим, что в современных условиях возможность и целесообразность использования „протолетного“ подхода определяется:

— накоплением опыта в области космического материаловедения и расчетов конструкций КА;

— появлением апробированных программных комплексов моделирования конструкции и расчета прочности;

— интенсивным ростом производительности используемых вычислительных средств (персональные компьютеры, кластеры);

— отработанностью технологических процессов производства и высоким качеством применяемых в конструкции КА материалов.

Анализ этапов совершенствования отраслевой системы обеспечения надежности в сфере ракетно-космической промышленности [4—9] подтверждает актуальность использования „протолетного“ подхода для снижения риска отказов, вызванных производственными дефектами.

В качестве основных преимуществ реализации „протолетного“ подхода при наземной экспериментальной отработке наноспутников следует считать:

— минимизацию риска производственных отказов за счет проведения всех наземных испытаний на летном образце;

— существенное снижение материальных затрат на проведение испытаний по сравнению с традиционным подходом, требующим изготовления нескольких (как правило, семи и более) испытываемых образцов и макетов, в последующем не используемых.

В качестве недостатков „протолетного“ подхода следует отметить:

— определенное „утяжеление“ конструкции наноспутников;

— повышенные требования к точности и достоверности моделей и методов прогнозирования остаточного ресурса наноспутников;

— повышенные требования к точности измерения факторов, воздействию которых подвергается наноспутник в период наземной экспериментальной отработки.

Для компенсации рассмотренных недостатков предполагается использование имеющегося научно-технического задела организаций ракетно-космической отрасли в части расчетных моделей надежности, а также развитие кооперации разработчиков в рамках перспективной программы „Создание научно-образовательной космической системы Союзного государства“. Такой подход рационален при разработке технологий создания наземных функциональных модулей для экспериментальной отработки, контроля качества, прогнозирования ресурса и надежности бортовых систем наноспутников, комплексирования испытаний в условиях микроминиатюризации служебной и специальной аппаратуры. Все это позволяет

— сократить время и ресурсы, предназначенные для наземной экспериментальной отработки наноспутников;

— снизить риск производственных и конструкторских отказов наноспутников;

— повысить достоверность и точность прогнозирования времени отказа и запаса ресурса каждого наноспутника;

— далее развивать модели и методики оценки и прогнозирования остаточного ресурса, накапливать опыт их применения при наземной экспериментальной отработке наноспутников;

— передавать студентам вузов накопленный в ракетно-космической промышленности опыт по обеспечению надежности и управлению рисками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NASA-STD-5001A. Structural Design and Test Factors of Safety for Spaceflight Hardware. Approved: 05.08.08.
2. NASA-STD-7001A. Payload Vibroacoustic Test Criteria. Approved: 20.01.11.
3. NASA-STD-7002A. Payload Test Requirements. Approved: 10.09.04.

4. Введенский М. Ю., Пустобаев М. В. Анализ отработки космической техники на механические воздействия в США, ЕС и РФ // Вопросы электромеханики. 2012. Т. 130. С. 19—26.
5. Макаров Ю. Н., Соколов Ю. А. Инновационная деятельность ракетно-космической отрасли в части решения технологических проблем обеспечения качества, надежности и безопасности перспективных изделий ракетно-космической техники. М.: ЗАО НИИ „ЭНЦИТЕХ“, 2015. 411 с.
6. Грибанов В. Ф., Рембеза А. И., Соколов Ю. А. и др. Методы отработки научных и народно-хозяйственных ракетно-космических комплексов. М.: Машиностроение, 1995. 352 с.
7. Надежность и эффективность в технике. Справочник / Под ред. В. С. Авдеевского и др. М.: Машиностроение, 1986. Т. 1. 224 с.
8. Соколов Ю. А. К понятию независимости случайных событий. СПб: АНО ЛА „Профессионал“, 2014. 112 с.

Сведения об авторах

Виктор Дмитриевич Куреев

— д-р техн. наук, профессор; Научно-исследовательский институт космических систем им. А. А. Максимова, филиал ФГУП Государственный научно-производственный центр им. М. В. Хруничева, комплекс Системных исследований и научно-методического обеспечения испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники; заместитель начальника комплекса

Сергей Владимирович Павлов

— канд. военных наук; Научно-исследовательский институт космических систем им. А. А. Максимова, филиал ФГУП Государственный научно-производственный центр им. М. В. Хруничева, комплекс Системных исследований и научно-методического обеспечения испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники; заместитель директора;
E-mail: pavlov@niiks.com

Юрий Александрович Соколов

— канд. техн. наук; Научно-исследовательский институт космических систем им. А. А. Максимова, филиал ФГУП Государственный научно-производственный центр им. М. В. Хруничева, комплекс Системных исследований и научно-методического обеспечения испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники; главный научный сотрудник

Рекомендована межвузовской
кафедрой космических исследований

Поступила в редакцию
14.11.2015 г.

Ссылка для цитирования: Куреев В. Д., Павлов С. В., Соколов Ю. А. Перспективы реализации „протолетного“ подхода при наземной отработке наноспутников // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 6. С. 477—481.

**PROSPECTS OF REALIZATION OF PROTO-FLIGHT APPROACH IN NANOSATELLITE
GROUND TESTING**

V. D. Kureev, S. V. Pavlov, Yu. A. Sokolov

*Khrunichev State Research and Production Space Center,
Space Systems Research and Development Institute, 141091, Korolev, Russia,
E-mail: pavlov@niiks.com*

Perspective schematic of realization of proto-flight approach in ground testing of nanosatellites is presented. The approach presupposes performing qualification flight tests with the single manufactured sample. Advantages and disadvantages of the proposed approach are discussed. To reduce the impact of identified disadvantages, it is proposed to use computational models of reliability available in a range of organizations of the rocket and space industry. Extension of the software base is supposed to be advisable in the frames of the of the future program "Creation of scientific-educational space system of the Union state", including the establishment of specialized ground-based functional modules to predict residual life and reliability of onboard systems of nanosatellites on the base of comprehensive tests results.

Keywords: proto-flight approach, risk source, risk model, risk control problems, ground tests

Data on authors

- Viktor D. Kureev** — Dr. Sci., Professor; Khrunichev State Research and Production Space Center, Space Systems Research and Development Institute, Complex of System Research and Scientific and Methodological support of Testing and Exploitation of Rocket and Spacecraft Technique; Deputy Chief of the Complex
- Sergey V. Pavlov** — PhD; Khrunichev State Research and Production Space Center, Space Systems Research and Development Institute, Complex of System Research and Scientific and Methodological support of Testing and Exploitation of Rocket and Spacecraft Technique; Deputy Director; E-mail: pavlov@niiks.com
- Yuriy A. Sokolov** — PhD; Khrunichev State Research and Production Space Center, Space Systems Research and Development Institute, Complex of System Research and Scientific and Methodological support of Testing and Exploitation of Rocket and Spacecraft Technique; Chief Scientist

For citation: Kureev V. D., Pavlov S. V., Sokolov Yu. A. Prospects of realization of proto-flight approach in nanosatellite ground testing // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 6. P. 477—481 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-6-477-481