

УДК 629.7.017.1

© Киселёв А.И., Бизяев Р.В., Медушевский Л.С., Фастовец И.И.  
Kiselev A., Bizyayev R., Medushevsky L., Fastovets I.

## НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

### HIGH-END TECHNOLOGIES. SPACE TECHNOLOGY PRODUCTS TESTING INTEGRATION

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы планирования системы испытаний космических аппаратов и их комплектующих систем на этапах наземной отработки и летных испытаний, направленные на обеспечение выполнения требований в части работоспособности, надежности и ресурса изделий РКТ и обоснованное снижение затрат средств и времени на их отработку и контроль опытных изделий.

**Annotation.** The article considers the problems of planning a testing system of space vehicles and their associated systems at the ground proving out and fly tests phases, aimed at enforcement of the fulfillment of requirements in part of operability, reliability and service life of space technology products and reasonable reduction of funds spending and time for their prove-out and pilot products control.

**Ключевые слова.** Комплексирование испытаний, надежность, система отработки.

**Key words.** Testing integration, reliability, prove-out system.

#### Введение

Разработка методик планирования и комплексирования испытаний при экспериментальной отработке изделий РКТ, разрабатываемых ГКНПЦ им. Хруничева М.В., относится к числу актуальных, важных вопросов совершенствования методов экспериментальной отработки КА.

При этом актуальны работы как по обеспечению повышенных характеристик назначения, безотказности и долговечности создаваемых изделий, так и по обоснованному снижению затрат средств и времени на их отработку.

Необходимо заметить, что за рубежом также развивается подобный подход к совершенствованию методов экспериментальной отработки. Об этом свидетельствует концепция «Быстрее, лучше, дешевле», еще недав-

но определявшая научно-техническую политику NASA.

Более 50 лет развития ракетно-космической отрасли (1957-2012 гг.) являются историей создания опытных и серийных образцов РН, РБ, КА, элементов инфраструктуры, РКК, КК, КС и одновременно историей формирования и развития системы экспериментальной отработки изделий РКТ (ракет-носителей, космических аппаратов и т.д.).

В отрасли сформирован и используется единый порядок наземной отработки и натурных испытаний, установленный для всех разработчиков КС и их элементов, используется единый подход к заданию требований, обеспечению, оценке и контролю качества и надежности для всех основных элементов РКТ.

---

Киселёв Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, советник генерального директора, ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»;

Бизяев Ростислав Владимирович – доктор технических наук, профессор, начальник отделения, КБ «Салют»;

Медушевский Люциан Станиславович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, «НИИ космических систем им. А.А.Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»;

Фастовец Игорь Иннокентьевич – ведущий научный сотрудник, «НИИ космических систем им. А.А.Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева».

Kiselev A. – doctor of science (tech.), professor, advisor for International Projects to the Director General, FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center;

Bizyayev R. – doctor of science (tech.), professor, head of department, “Salut” construction bureau;

Medushevsky Lucian – doctor of science (tech.), professor, principal research scientist, AA. Maksimov Space systems research institute-Branch of FSUE Khrunichev state research and production space center;

Fastovets Igor – head research scientist, AA. Maksimov Space systems research institute-Branch of FSUE Khrunichev State research and production space center.

Однако до настоящего времени общей методики планирования и комплексирования испытаний при экспериментальной отработке основных элементов РКТ (космических аппаратов в том числе) не существует.

Нормы экспериментальной отработки в итоге определяют уровень качества, надежности создаваемых образцов и основные затраты времени и средств на этапе их испытаний. Затраты на лабораторно-стендовую отработку космических аппаратов весьма значительны.

Для КА они составляют 80 % от стоимости ОКР головного разработчика по созданию модуля целевой аппаратуры и адаптации унифицированной космической платформы.

Поэтому важны и постоянно актуальны вопросы совершенствования и развития экспериментальной отработки основных элементов РКТ, разработки методики планирования и комплексирования испытаний космических аппаратов.

Разработка общей методики планирования и комплексирования испытаний при экспериментальной отработке изделий РКТ представляет собой сложную научно-техническую задачу в силу следующих причин:

- сложности многопараметрической задачи планирования испытаний изделий РКТ и их комплектующих систем;
- повышения требований к программам и условиям функционирования современных изделий РКТ и их комплектующих систем;
- высокого уровня требований к показателям назначения, надежности и ресурсу современных изделий РКТ и их комплектующих систем;
- широкой кооперации организаций-разработчиков и организаций-производителей изделий РКТ и их комплектующих систем;
- разнообразия различных видов и программ испытаний изделий РКТ и их комплектующих систем;
- повышения стоимости разработки, производства и испытаний изделий РКТ и их комплектующих систем;
- недостаточный уровень разработки теории испытаний сложных систем.

### **1. Комплексирование испытаний космических аппаратов. Основные положения, понятия, термины и определения. Классификация видов испытаний и типов комплексирования**

Рассмотрим основные положения, понятия, термины и определения в области комплексирования испытаний космических аппаратов и классификацию видов испытаний, типов комплексирования при экспери-

ментальной отработке космических аппаратов и их комплектующих систем.

*Комплексирование испытаний космических аппаратов* – планирование системы испытаний космических аппаратов и их комплектующих систем на этапах наземной отработки и летных испытаний, направленное на обеспечение выполнения требований в части работоспособности, надежности и ресурса КА и обоснованное снижение затрат средств и времени на их отработку и контроль опытных изделий.

При экспериментальной отработке космических аппаратов и их комплектующих систем рассматриваются следующие *типы комплексирования испытаний* (см. таблицу):

- комплексирование испытаний (КОИ-1) — на основе использования результатов испытаний и моделирования;
- комплексирование испытаний (КОИ-2) — на основе использования результатов эксплуатации изделий и систем аналогов;
- комплексирование испытаний (КОИ-3) — на основе использования унификации технологических процессов испытаний и универсализации стендового испытательного оборудования;
- комплексирование испытаний (КОИ-4) — на основе совмещения отработочных и контрольных испытаний;
- комплексирование испытаний (КОИ-5) — на основе совмещения различных видов испытаний на одной материальной части;
- комплексирование испытаний (КОИ-6) — на основе сочетания сплошного и выборочного контроля на этапе производства;
- комплексирование испытаний (КОИ-7) — на основе использования методов оптимального планирования эксперимента;
- комплексирование испытаний (КОИ-8) — на основе сочетания эффективных наземных испытаний и сокращенных демонстрационных летных испытаний.

Рассмотрим более подробно два важных типа комплексирования испытаний — КОИ-1 и КОИ-2.

*Комплексирование испытаний (КОИ-1)* — планирование испытаний КА и комплектующих систем, при проведении которых обоснованное снижение затрат средств и времени на их отработку и контроль обеспечивается на основе использования результатов наземных, летных испытаний и моделирования.

Наиболее важный тип комплексирования испытаний, позволяющий существенно сократить затраты

Характеристики основных типов комплексирования испытаний космических аппаратов

Тип комплексирования	Основной фактор комплексирования	Виды испытаний, при проведении которых используется тип комплексирования	Влияние комплексирования на объём испытаний	Область применения
КОИ-1	Использование моделей	Функциональные испытания агрегатов, систем, КА Испытания на надёжность Ресурсные испытания и т.д.	Сокращение числа образцов Сокращение времени испытаний	Обеспечивающие системы КА: СУ, СЭС, ДУ и т.д.
КОИ-2	Информация об аналогах	Испытания на стойкость к ВВФ Испытания на надёжность Ресурсные испытания и т.д.	Сокращение числа образцов Сокращение времени испытаний	Обеспечивающие системы КА: СУ, СЭС, ДУ и т.д.
КОИ-3	Универсализация стендового оборудования	Функциональные испытания Испытания на стойкость к ВВФ Испытания на надёжность Ресурсные испытания и т.д.	Сокращение числа испытательных стендов Сокращение времени испытаний	Обеспечивающие системы КА: СУ, СЭС, ДУ и т.д. Целевая аппаратура
КОИ-4	Совмещение отработочных и контрольных испытаний	Функциональные испытания Испытания на стойкость к ВВФ Испытания на надёжность	Сокращение видов испытаний Сокращение числа образцов Сокращение времени испытаний	Обеспечивающие системы КА: СУ, СЭС, ДУ и т.д. Целевая аппаратура
КОИ-5	Совмещение испытаний на одной материальной части	Функциональные испытания Испытания на стойкость к ВВФ Испытания на надёжность	Сокращение числа образцов Сокращение времени испытаний	Обеспечивающие системы КА: СУ, СЭС, ДУ и т.д. Целевая аппаратура
КОИ-6	Сочетание сплошного и выборочного контроля на этапе производства	Функциональные испытания Испытания на стойкость к ВВФ Испытания на надёжность	Сокращение видов испытаний Сокращение времени испытаний	Обеспечивающие системы КА: СУ, СЭС, ДУ и т.д. Целевая аппаратура
КОИ-7	Оптимальное планирование эксперимента	Функциональные испытания Испытания на стойкость к ВВФ Испытания на надёжность Ресурсные испытания и т.д.	Сокращение числа образцов Сокращение времени испытаний	Обеспечивающие системы КА: СУ, СЭС, ДУ и т.д. Целевая аппаратура
КОИ-8	Эффективность наземной отработки	Функциональные испытания Испытания на стойкость к ВВФ Испытания на надёжность Ресурсные испытания и т.д.	Сокращение числа образцов Сокращение времени испытаний	Испытания КА, систем

средств и времени при экспериментальной отработке космических аппаратов и их комплектующих систем.

Для реализации КОИ-1 необходимо проводить испытания с использованием моделей (математических, физических).

Виды испытаний, в которых используется комплексирование испытаний на основе совмещения результатов испытаний и моделирования:

- функциональные испытания агрегатов, узлов и приборов, входящих в состав комплектующих систем космических аппаратов КА;
- функциональные испытания комплектующих систем КА;
- функциональные испытания космических аппаратов;
- механические, испытания на прочность, испытания на устойчивость, климатические, термические, радиационные, электрические, электромагнитные испытания космических аппаратов и их комплектующих систем;
- испытания на надежность космических аппаратов и их комплектующих систем;
- испытания на безопасность космических аппаратов и их систем;
- ресурсные испытания агрегатов, узлов, приборов и комплектующих систем космических аппаратов;
- испытания на транспортабельность КА и их комплектующих систем.

*Комплексирование испытаний (КОИ-2)* — планирование испытаний КА и комплектующих систем, при проведении которых обоснованное снижение затрат средств и времени для оценки и прогноза их работоспособности и ресурса обеспечивается на основе использования результатов эксплуатации изделий и систем аналогов.

Важный тип комплексирования испытаний, позволяющий существенно сократить затраты средств и времени, расходуемых на испытания на надежность, функциональные, ресурсные испытания агрегатов, узлов, приборов и комплектующих систем космических аппаратов.

Для реализации данного типа комплексирования испытаний необходимо использовать результаты испытаний и эксплуатации изделий и систем аналогов.

Виды испытаний, в которых проводится комплексирование испытаний на основе использования результатов эксплуатации изделий и систем аналогов:

- испытания на надежность агрегатов, узлов, приборов и комплектующих систем космических аппаратов;
- ресурсные испытания агрегатов, узлов, приборов и комплектующих систем космических аппаратов;
- испытания на стойкость к ВВФ комплектующих систем КА;

- функциональные испытания агрегатов, узлов, приборов, комплектующих систем космических аппаратов.

## 2. Комплексирование испытаний изделий РКТ на основе сочетания сплошного и выборочного контроля

Рассмотрим виды испытаний, при проведении которых используется тип комплексирования испытаний КОИ-6.

Комплексирование испытаний изделий РКТ и их комплектующих систем на этапе производства проводится на основе сочетания сплошного и выборочного контроля для следующих видов испытаний:

- входной контроль материалов, полуфабрикатов, ЭРИ и комплектующих изделий (приборов, агрегатов и систем);
- контроль стабильности и устойчивости технологических процессов;
- контроль качества выполнения технологических операций;
- периодические испытания и т.д.

Метод многомерного выборочно-сплошного контроля (МВСК) разработан на основе обобщения идеи и алгоритмов одномерного выборочно-сплошного контроля.

Метод предназначен для определения параметров выборочно-сплошного контроля элементов КК на стадиях производства и испытаний на техническом и стартовом комплексах.

*Постановка задачи.*

Рассмотрим последовательную цепочку или набор из  $N$  контрольных операций, каждая из которых характеризуется следующими параметрами:

$q_i$  — уровень дефектности элементов, участвующих в  $i$ -й контрольной операции;

$t_i$  — длительность проведения контрольной операции.

Необходимо определить параметры плана выборочного контроля  $N$  операций:

$\{P_1, P_2, \dots, P_N\}$ ;  $P_i$  — вероятность проведения  $i$ -й контрольной операции после этапа сплошного контроля;

$\{n_1, n_2, \dots, n_N\}$ ;  $n_i$  — число проверок для этапа сплошного контроля  $i$ -й операции;

$L$  — средний уровень выходного качества.

Алгоритмы реализации МВСК представлены в методиках по вопросам контроля качества.

## 3. Техничко-экономический эффект комплексирования испытаний изделий РКТ

Наиболее значимый технико-экономический эффект можно получить при использовании следующих типов комплексирования на основе:

- использования результатов испытаний и моделирования;
- использования результатов эксплуатации изделий и систем аналогов;
- совмещения отработочных и контрольных испытаний;
- сочетания сплошного и выборочного контроля на этапе производства;
- сочетания эффективных наземных испытаний и сокращенных демонстрационных летных испытаний.

### Заключение

На основе изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены основные положения, понятия, термины и определения в области комплексирования испытаний космических аппаратов.

2. Представлена классификация видов испытаний, типов комплексирования при экспериментальной отработке космических аппаратов и их комплектующих систем.

3. Основные положения концепции по вопросам комплексирования испытаний и совершенствования методологии экспериментальной отработки основных элементов РКТ представлены с учетом передового отечественного и зарубежного опыта их разработки и производства.

### Литература

1. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Изд. Госстандарта СССР. 1981.
2. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. М., «Наука», 1974.
3. СПИ 371 33-98. Лабораторно-стендовая отработка изделий. Общие требования, организация и порядок проведения.
4. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. М., «Советское радио», 1973.

Материал поступил в редакцию 20. 03. 2012 г.