

УДК 629.7.017.1

© Киселёв А.И., Альбрехт А.В., Медушевский Л.С., Кузьмич А. А.  
Kiselev A., Albrecht A., Medushevsky L., Kuzmich A.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ИЗДЕЛИЙ РКТ

### ADVANCED TECHNOLOGIES FOR THE ASSURANCE AND CONTROL OF SPACE TECHNOLOGY PRODUCTS RELIABILITY AND SAFETY

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные методы обеспечения и контроля надежности и безопасности изделий РКТ на основе ИПИ-технологий.

**Annotation.** The article considers advanced methods of CALS-technologies based assurance and control of space technology products reliability and safety.

**Ключевые слова.** CALS (ИПИ) – технологии, безопасность, надежность, система отработки.

**Key words.** CALS-technologies, safety, reliability, prove-out system.

Несмотря на ожесточенную конкуренцию на мировом рынке космических технологий Россия является одним из его ключевых участников в силу следующих причин:

1. За полвека существования ракетно-космической отрасли в СССР, России накоплен огромный опыт создания ракет-носителей (РН), орбитальных пилотируемых станций, разработки ключевых элементов РН и КА (конструкции, двигателей, систем управления), КА дистанционного зондирования Земли, навигации, связи и метео-обеспечения и т.д.

2. Достигнут высокий уровень надежности и безопасности (НБ) ракет-носителей («Протон-К», «Союз», «Космос-3М», «Молния», боевых ракет – основы конверсионных ракет-носителей).

3. В течение сорока лет получен уникальный опыт создания и эксплуатации орбитальных пилотируемых

станций, обеспечения работы их бортовой аппаратуры с использованием оптимальной стратегии эксплуатации – восполнения, ремонта, замены.

4. Создана многоуровневая, взаимоувязанная *система отработки* образцов РКТ, по уровню и достижениям не уступающая аналогичной системе отработки образцов РКТ США.

5. Обеспечен приемлемый уровень стоимости образцов РКТ, разрабатываемых и изготавливаемых в России.

Из вышесказанного можно сделать вывод: *отечественная ракетно-космическая техника конкурентоспособна.*

В ракетно-космической отрасли используются методы обеспечения НБ, соответствующие принципам менеджмента качества, положенных в основу международных стандартов ИСО. Это соответствие органично, так как большинство этих принципов (системный под-

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

*Альбрехт Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального конструктора ГКНПЦ им. М.В. Хруничева;*

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

*Кузьмич Антон Антонович – начальник отдела, НИИ космических систем имени А.А. Максимова» – филиала ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.*

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

*Albrecht Aleksandr – doctor of science (tech.), professor, deputy designer general, FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center*

*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;*

*Kuzmich Anton – subdivision manager, AA. Maksimov Space Systems Research Institute-Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center.*

ход, роль руководства, принятие решений, основанных на фактах и т.д.) были рождены и отработаны в недрах ракетно-космической и авиационной отраслей.

CALS (ИПИ) – технологии также были разработаны и освоены в ракетно-космической и авиационной отраслях СССР и США. Созданная в 70-е годы отраслевая система информации о техническом состоянии и надежности комплексов и их изделий была первым в мире опытом использования ИПИ – технологий – информационной поддержки процессов жизненного цикла – *опытом создания информационного пространства по качеству и надежности изделий отечественной РКТ.*

В США о разработке CALS – технологий было заявлено лишь в 1985 г.

Сохранение лидерства невозможно без освоения повышенных уровней НБ образцов РКТ, использования новых методов, в том числе информационных технологий (ИТ) поддержки жизненного цикла изделий на всех его этапах [1–3]. Рассмотрим вопросы использования CAL-технологий для управления НБ изделий РКТ на основных этапах их жизненного цикла.

**Базовые технологии обеспечения и контроля надежности изделий ракетно-космической техники**

Надежность изделий ракетно-космической техники (РКТ) является интегральным показателем их качества, определяющим эффективность использования космических систем и комплексов (см. рисунок).

CALS(ИПИ)-технологии являются базовыми тех-

нологиями обеспечения и контроля надежности изделий РКТ. *В настоящее время без использования CALS (ИПИ) – технологий успешно решать задачи достижения высоких уровней надежности изделий РКТ невозможно.*

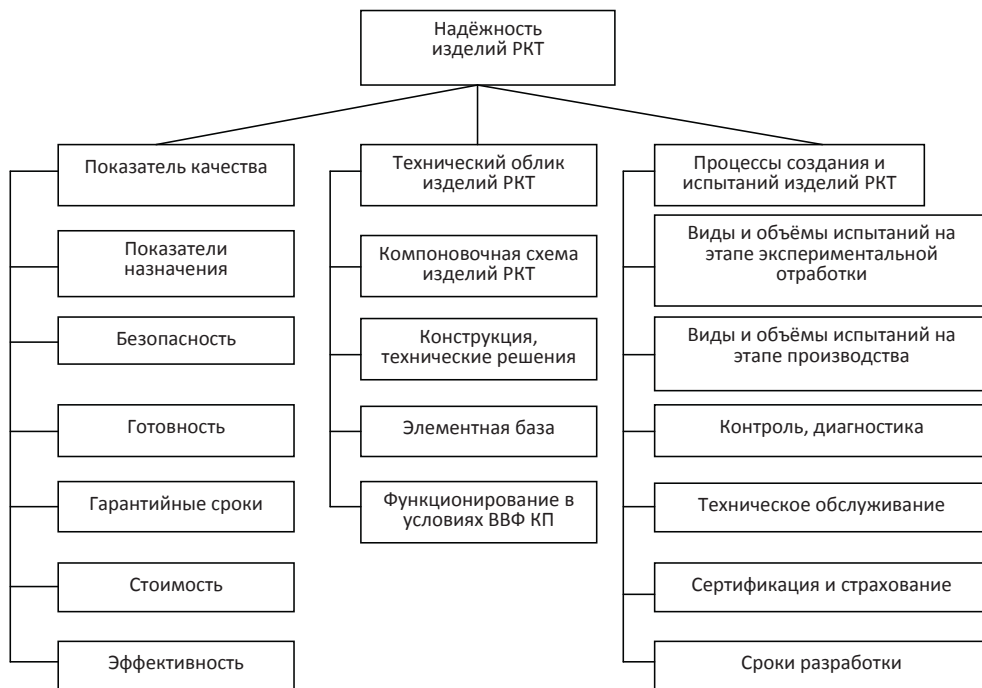
В соответствии с требованиями основных нормативных документов отрасли все организации, участвующие в создании, серийном (единичном) производстве и эксплуатации комплексов и их изделий, должны проводить работы по сбору, обработке, анализу, обобщению, представлению (обмену) информации о результатах проектирования, отработки, техническом состоянии и надежности комплексов и их изделий на всех этапах их жизненного цикла.

Обязательному учету и анализу подлежат все отказы и неисправности опытных и серийных изделий (включая дефекты, отступления от конструкторской и технологической документации, замечания) независимо от того, повлияли они на результаты испытаний (применения изделий по назначению) или не повлияли (*формируется база данных по качеству и надежности – интегрированное информационное пространство*).

Разработчики и изготовители изделий РКТ в процессе создания, серийного (единичного) производства комплекса и его изделий обязаны проводить работы по выявлению, исследованию и устранению причин отказов, отступлений, неисправностей, дефектов.

При этом разработчики и изготовители изделий РКТ должны:

- проводить всесторонние исследования причин отказов и неисправностей с участием заинтересован-



Взаимосвязь надёжности с показателями качества, техническим обликом и процессами создания РКТ

ных организаций, своевременно разрабатывать и реализовывать в полном объеме проверенные расчетно-теоретическим и (или) экспериментальным путем мероприятия по устранению и предупреждению этих причин и составлять соответствующие заключения о реализации и эффективности этих мероприятий (*информационное обеспечение проблемных вопросов*);

- обобщать в отчетах информацию об отказах, неисправностях и дефектах, об эффективности принятых и реализованных мер по исключению их причин, об изменениях конструкции, ежегодно оценивать в соответствии с действующими нормативными документами фактический уровень надежности комплексов и их основных изделий, принятых в эксплуатацию, и направлять указанные отчеты в адреса, определенные действующими документами по системе информации (*осуществлять эффективное информационное взаимодействие заказчика и изготовителя, обеспечивающее целевое, точечное управление качеством и надежностью изделий РКТ*).

Предприятия-разработчики (поставщики) ЭРИ и комплектующих элементов (в том числе комплектующих изделий межотраслевого применения) должны:

- определять и гарантировать количественные характеристики надежности, которые вносятся в ТУ, в соответствии с нормативными документами;
- регулярно обобщать данные о надежности ЭРИ и комплектующих элементов, получаемые в процессе их применения, и направлять ежегодно обобщенные данные головным организациям (*формируется база данных по качеству и надежности ЭРИ и комплектующих элементов*).

Организации-разработчики комплексов, составных частей должны:

- оценивать и подтверждать при завершении создания изделий РКТ требования к надежности (и безопасности экипажа для пилотируемых КК), заданные в ТЗ на комплекс и изделия комплекса;
- определять и обеспечивать выполнение требований по надежности, которые вносятся в ТУ.

### **Технологии, используемые для обеспечения и контроля надежности и безопасности изделий РКТ на этапе проектирования**

Целью использования CALS (ИПИ)-технологий для обеспечения и контроля НБ изделий РКТ на этапе проектирования является информационное обеспечение разработки и выполнения программ обеспечения надежности безопасности на этапе проектирования.

Роль информационных технологий на этапе про-

ектирования первостепенна, состав и объем информационного обеспечения автоматизированного проектирования наиболее значительны.

Это определяется целью работ на этапе эскизного проектирования, а именно комплексным (теоретическим и экспериментальным) обоснованием основных характеристик, технических и технологических решений по созданию комплекса в целом, его отдельных составных частей, систем, агрегатов (приборов), средств измерения и контроля, учебно-тренировочных средств и других изделий комплекса в обеспечение выполнения ТЗ, а также обоснованием технико-экономических показателей комплекса и его изделий.

С организациями-соисполнителями проводится согласование исходных данных с целью проектирования и выпуска рабочей конструкторской и технологической документации на комплекс в целом и его изделия, подготовки производства, строительства объектов и сооружений наземной космической инфраструктуры.

В таблице представлены примеры информационных технологий для изделий РКТ, которые используются на этапе проектирования.

В составе эскизного проекта на комплекс (составные части комплекса) разрабатываются основные и частные программы обеспечения надежности и безопасности.

Программа обеспечения надежности содержит перечень работ и мероприятий, провидимых на всех этапах создания комплекса и его изделий с целью обеспечения и подтверждения требований к надежности, заданных в ТЗ, по мере накопления информации на этапах наземной экспериментальной отработки и летных испытаний.

В программу обеспечения надежности включают работы по вычислительному эксперименту, моделированию, макетированию и экспериментальной отработке, планированию видов и объемов испытаний с указанием требуемого на этапах наземной отработки и летных испытаний количества изделий комплекса для подтверждения требований к их надежности, заданных в ТЗ для этих этапов, а также перечень методик контроля надежности комплекса и его составных частей (*создается информационное расчетное поле по надежности изделий комплекса*).

Важное значение имеют вопросы оценки выполнения требований к надежности комплекса (его изделий) на основе результатов расчетно-теоретических и (или) экспериментальных работ, нормирование надежности его составных частей, систем, основных агрегатов (приборов), программных изделий, а также обоснование состава средств обнаружения аварийных ситуаций.

В составе эскизного проекта также представляют:

- сравнительную оценку вариантов (в том числе с учетом их технологичности) и обоснование состава и параметров составных частей для данного комплекса, систем, агрегатов (приборов) и их увязку в комплексной схеме (полнота и достоверность информационного обеспечения обеспечивает выбор оптимального варианта);
- выбор варианта комплекса и его изделий, обоснование принятых технических решений по созданию комплекса в соответствии с ТТЗ и его изделий в соответствии с ТЗ, обоснование материалов конструкции, покрытий и компонентов топлива и т.п.

### **Технологии, используемые на этапе экспериментальной отработки изделий РКТ**

Целью использования CALS (ИПИ) – технологий для обеспечения и контроля надежности изделий РКТ на этапе экспериментальной отработки является *информационное обеспечение разработки и выполнения программ комплексной экспериментальной отработки (КПЭО)*.

В соответствии с требованиями ПОН и нормативных документов отрасли комплексная программа экспериментальной отработки комплекса (составной части комплекса, изделия) должна содержать:

- цели и задачи испытаний, порядок и последовательность их выполнения при проведении автономных, комплексных и межведомственных испытаний;
- порядок и объем отработки комплектов конструкторской и технологической документации на конструкторско-технологическом и других макетах и на опытных образцах;
- виды автономных и комплексных испытаний (тепловые, тепловакуумные, огневые (для ДУ), электрические, прочностные, вибропрочностные, акустические, динамические, пневмогидравлические, ресурсные, механические, климатические испытания и т.п.), определенные в соответствии с действующими нормативными документами, количество изделий, распределенное по видам испытаний и этапам с учетом выполнения требований к надежности, и число испытаний. В КПЭО определяются:
  - порядок и объем отработки взаимного функционирования сопряженных (смежных) агрегатов (приборов) и систем при одновременной имитации различных воздействующих факторов на многофункциональных комплексных стендах (*формируется информационное поле параметров, факторов, условий взаимного функционирования изделий РКТ*);
  - порядок подтверждения требований к надежно-

сти, а также к безопасности экипажа (для ПКК) и безопасности эксплуатации;

- порядок отработки средств, применяемых для обеспечения экологической безопасности, ликвидации аварийных ситуаций;
- порядок и объем *отработки математического и информационного обеспечения* (моделей, алгоритмов, программ), необходимых для функционирования изделий, в том числе бортовых вычислительных машин, в полете, а также автоматизированных систем управления полетом, испытаниями и контролем подготовки ракет, ракет-носителей, космических аппаратов в организациях-разработчиках, организациях-изготовителях и в эксплуатирующих организациях;
- порядок отработки средств и методов обеспечения безопасности экипажа, действий группы управления полетом (в том числе в нештатных ситуациях полета космических аппаратов, предусмотренных документацией), а также взаимодействия в аварийных ситуациях экипажа и личного состава, участвующего в подготовке и осуществлении полета (для ПКК важное значение имеют требования КПЭО в части:
  - программы, методики проведения и оценки результатов испытаний и другой технической документации на испытания, методические указания по выполнению особо важных испытаний и измерений, а также испытаний, связанных с повышенной степенью опасности;
  - требования по обеспечению максимальной имитации реальных условий функционирования изделий при наземной отработке и проведению испытания изделий на предельно допустимых режимах функционирования;
  - программы на специспытания (в том числе ресурсные испытания для изделий РКТ, испытания длительным хранением и т.п.).

После завершения испытаний формируется единая база данных о достигнутых экспериментальных характеристиках изделий РКТ. В таблице приведены примеры ИТ для этапа наземной отработки.

### **Выводы**

1. Сохранение лидерства невозможно без освоения повышенных уровней надежности и безопасности образцов РКТ, использования ИТ поддержки их жизненного цикла.
2. В РКТ используются методы обеспечения НБ изделий, соответствующие современным принципам менеджмента качества (системный подход, постоянное улучшение и т.д.).
3. CALS (ИПИ) – технологии являются базовыми

**Информационные технологии, используемые на этапах разработки, испытаний, производства и эксплуатации изделий РКТ**

Функции системы качества	Информационные технологии (ИТ)
1. Система менеджмента качества	ИТ «Принципы менеджмента TQM» ИТ «Идеология «6σ»» ИТ «Объекты, параметры управления»
2. Проектирование, разработка рабочей документации	ИТ «Задание требований к надежности» ИТ «Задание требований к безопасности» ИТ «Нормирование требований к надежности» ИТ «Проектно-надежностные параметры» ИТ «Модели надежности РН» ИТ «Модели безопасности РН» ИТ «Модели долговечности КА» ИТ «Анализ возможных отказов» ИТ «Обеспечение отказоустойчивости бортовой аппаратуры» ИТ «Оптимизация структуры и параметров изделий по критериям стоимости и надежности» ИТ «Проектная оценка надежности» ИТ «Проектная оценка безопасности»
3. Наземные и натурные испытания	ИТ «Установление требований к достоверности контроля надежности» ИТ «Поэтапный контроль надежности. Контрольные уровни» ИТ «Оценка надежности по результатам наземных прочностных статических и динамических испытаний» ИТ «Оценка надежности по результатам тепловакуумных испытаний» ИТ «Оценка надежности. Иерархический байесовский подход» ИТ «Оценка надежности. Деревья отказов» ИТ «Оценка надежности. Определяющие параметры» ИТ «Оценка надежности. Интервальное оценивание» ИТ «Оценка качества и надежности. Прогнозирующие интервалы» ИТ «Оценка надежности. Имитационные модели» ИТ «Планирование объема испытаний элементов РН и КА» ИТ «Комплексирование испытаний» ИТ «Оценка надежности на этапе натурных испытаний» ИТ «Оценка безопасности на этапе натурных испытаний»
4. Производство изделий РКТ	ИТ «Контроль качества. Структурные схемы контроля качества» ИТ «Контроль качества. Структурные схемы контроля безопасности» ИТ «Выборочно-сплошной контроль» ИТ «Контроль качества элементной базы»
5. Эксплуатация изделий РКТ	ИТ «Серии безотказных пусков» ИТ «Прогноз надежности РН» ИТ «Прогноз безопасности РН» ИТ «Метод планирования профилактических мероприятий» ИТ «Прогноз долговечности КА» ИТ «Развертывание и восполнение космических систем» ИТ «Оптимальное использование ресурса КА» ИТ «Оптимальное планирование ЗИП» ИТ «Оценка надежности на этапе эксплуатации» ИТ «Оценка безопасности на этапе эксплуатации»

технологиями при создании изделий РКТ. Без их использования решать задачи достижения высоких уровней НБ изделий РКТ невозможно.

4. На этапах ОКР создается информационное обеспечение для разработки программ по надежности и безопасности, автоматизации сборочных процессов, контроля и диагностики.

*Литература*

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
3. Россия осваивает CALS – технологии. Стандарты и качество, 2002.

5. Для решения задач управления на этапе эксплуатации используется информационное пространство по НБ серийных изделий РКТ.

6. Внедрение современной идеологии обеспечения качества «шесть сигм» без использования CALS (ИПИ) – технологий невозможно.

Материал поступил в редакцию 20. 03. 2012 г.