

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 629.7

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ СОЗДАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.Я. Геча, М.В. Пустобаев, А.С. Степакин, А.В. Хромов

*Рассмотрены некоторые из основных вопросов и проблем, возникающих на предприятиях – разработчиках КА в процессе создания экспериментальных КА (ЭКА). Проведено разделение областей деятельности предприятия на внутренние и внешние, приведены конкретные примеры возникающих проблем в каждой из этих областей и представлены возможные варианты их решения. Показано, что модернизация, унификация и взаимная увязка нормативных документов (как отраслевых, так и общегосударственных) является основой повышения эффективности предприятий при создании ЭКА. Также в качестве основных проблем выделены те, которые значительно влияют на сроки создания ЭКА, например закупка электрорадиоизделий (ЭРИ) и комплектующих элементов. Применение современных подходов к созданию и отработке элементов космической техники, таких как альтернативные стратегии отработки, а также закупка коммерчески доступных компонентов являются одним из путей нового эффективного создания ЭКА.*

**Ключевые слова:** экспериментальный космический аппарат, ДЗЗ, эффективность, НИР, бережливое производство, электрорадиоизделия, закупки.

Сроки создания современных космических аппаратов (КА), входящих в состав космических комплексов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), связи или навигации, как правило, составляют от 3 – 5 до 10 и более лет, т. е. срок разработки нового КА в среднем составляет 3 – 7 лет [1].

Существующий подход к проектированию ракетно-космической техники (РКТ) в РФ, закреплённый как ведущими нормативными документами (НД) отрасли (Положения РК-98КТ, РК-11КТ), так и НД более низкого уровня, подразумевает, что изделие (КА) при его создании последовательно проходит все этапы разработки, изготовления и испытаний – от аванпроекта (опционально) или эскизного проекта до создания лётного образца, проведения его наземной отработки, после которой начинаются лётные испытания.

Считается, что при таком подходе обеспечиваются требуемые показатели качества и надёжности изделий. Однако при создании РКТ срывы сроков и выходы за рамки бюджета являются широко распространённым явлением (необходимо отметить, что данное утверждение справедливо не только для отечественных, но и для зарубежных компаний [2]).

Помимо КА, создаваемых в рамках ОКР, также разрабатываются и экспериментальные КА (ЭКА). Целью создания ЭКА является отработка новых технических решений, как в части бортовой аппаратуры, так и в части применения новой компоновки или конструкции.

В случае создания ЭКА риски срыва сроков и превышения финансирования ещё выше, поскольку:

– срок выполнения работы (как правило НИР) значительно короче и составляет от 1 до 2 – 3 лет, при этом объём работы остается достаточно большим и должен быть эффективно распределён и выполнен в сжатые сроки;

– практическая реализация нового технического решения зачастую требует итеративного пересмотра конструкции изделия;

– применение новых материалов и технологий сопряжено с повышенным объёмом теоретических исследований и экспериментальной отработки.

В связи с этим, при создании ЭКА критически важным является эффективная организация работ на протяжении всех этапов его создания.

Целью настоящей статьи является попытка систематизировать проблемы организационного характера, возникающие в процессе создания ЭКА, которые снижают эффективность процесса создания КА и приводят к указанным негативным последствиям, и предложить варианты решения некоторых из них.

Выделим две области деятельности предприятия-разработчика ЭКА, повышение эффективности работы в которых необходимо для успешного выполнения задачи:

1. Внутренняя деятельность предприятия, не затрагивающая деятельность сторонних организаций.
2. Внешняя деятельность предприятия, обусловленная необходимостью работы со сторонними организациями и Заказчиком работ.

Обе области деятельности имеют свои особенности и регламентируются действующими НД: ГОСТами, актами, приказами и т. д. Именно модернизация нормативной базы должна являться основой для повышения эффективности предприятий отрасли в части создания КА, в том числе ЭКА.

### **Внутренняя деятельность предприятия**

*Общие проблемы ЭКА.* Традиционно проблемами предприятий ракетно-космической отрасли являются: отсутствие современных систем документооборота, ошибки в целеполагании, планировании, распределении и координации работ и ресурсов, контроле за исполнением, – что решается развитием проектного менеджмента и управления ресурсами. Существуют два пути улучшения:

– глобальное внедрение комплексных систем класса ERP (Enterprise Resource Planning). ERP-системы помогают интегрировать все отделы и функции компании в единую систему, при этом все департаменты работают с единой базой данных и им проще обмениваться между собой разного рода информацией [3]. Данные системы являются достаточно дорогостоящими, требуют обучения персонала и адаптации под деятельность компаний РКТ;

– применение принципов «бережливого производства» (Lean management) и/или «Six-sigma», которые в последние 20 – 30 лет начали использовать авиакосмические компании за рубежом [4, 5], в основе которых лежит борьба за улучшение качества продукции и снижение издержек.

Первый путь предполагает внесение существенных изменений в организацию работы предприятия (2 – 3 года). ERP-системы редко применяются в деятельности предприятий – производителей продукции с большой длиной жизненного цикла создаваемых изделий. «Бережливое производство» является более простым и экономичным инструментом повышения эффективности, оказывает существенное влияние на процесс управления предприятием, систему взаимоотношений между различными уровнями и подразделениями предприятия [6]. Поэтому «Lean management» и «Six Sigma», возникшие на производственных предприятиях («Toyota» и «Moto-gola» соответственно), нашли широкое применение в деятельности предприятий ВПК за рубежом [7]. Внедрение подобных систем в России пока находится в начальном состоянии («Lean management» с 2014 г. внедряется в ГКНПЦ им. М.В. Хруничева).

Современные стандарты РФ, регламентирующие деятельность в этой сфере, относятся к группе системы менеджмента качества (СМК). НД СМК

постепенно гармонизируются с международными стандартами ISO серии 9000, ISO 13053 – 1:2011 «Количественные методы в процессах улучшения. Шесть сигм. Часть 1: методология DMAIC» и ISO 13053-2:2011 «Количественные методы в процессах улучшения. Шесть сигм. Часть 2: инструменты и техники». Предполагается, что внедрение и использование НД СМК приведёт к тому, что высокое качество продукции и сокращение издержек станут главными целями предприятия и будут существенно влиять на рабочие процессы.

Кроме СМК, следует отметить Положение РК-16КТ (проходит процедуру согласования), проект которого содержит многие элементы проектного управления. Однако помимо РК-16КТ следует также создать НД более низкого уровня, которые и будут служить основой для модернизации деятельности предприятий в области проектного менеджмента и управления ресурсами.

Следует отметить, что выпуск НД не является достаточным для внедрения какой-либо практики. Во-первых, отечественные НД часто противоречат изданным ранее, которые продолжают действовать наряду с появлением более современных (в то время как за рубежом выпускаемые стандарты, как правило, имеют предшественников, и их однозначно заменяют).

Во-вторых, стандарты РКТ не связаны в единую систему НД, что не позволяет рассматривать их как единый комплекс. Следует провести работы по гармонизации и унификации стандартов и установлению единого нормативного поля.

Дополнительно, для повышения удобства работы с нормативной базой, считаем целесообразным проведение следующих мероприятий.

Создание единого общедоступного электронного каталога действующих НД в части создания РКТ. В дополнение к каталогу следует выпустить российский аналог настольной книги по созданию изделий РКТ (в качестве образца может выступать Handbook of Space Technology [8] Европейского Космического Агентства), в которой будет отражена привязка НД к процессу разработки и испытаний изделий РКТ.

*Частные проблемы при создании ЭКА.* Из-за временных и финансовых ограничений объём испытаний ЭКА меньше по сравнению с традиционным подходом. При этом в действующей НД не предусмотрены альтернативные стратегии обработки изделий РКТ, которые предполагают использование одной и той же материальной части – КА или его отдельных компонентов – как для наземной обработки, так и для лётной эксплуата-

ции. В зарубежных НД описаны альтернативные стратегии, такие как «протофлайт», резервирование, без зачётных испытаний [9].

Ввиду сжатых сроков создания экспериментальных космических аппаратов целесообразно продолжать поиск путей ускорения ресурсных испытаний таких ответственных элементов служебных систем ЭКА, как литий-ионные аккумуляторные батареи и электроракетные двигатели.

При создании ЭКА существенный вклад вносят увеличенные сроки изготовления деталей, связанные с устаревшей и изношенной техникой и устоявшимися путями изготовления. Применение технологий 3D-прототипирования и изготовления позволит существенно сократить время изготовления и стоимость деталей.

### **Внешняя деятельность предприятия**

*Развитие связей между предприятиями отрасли и заказчиком.* Основным заказчиком КА является государство в лице различных министерств и ведомств. При этом многие документы разработчики КА вынуждены покупать друг у друга, хотя эти документы принадлежат заказчику. Одним из путей решения противоречия может стать создание единой базы данных РКТ по изделиям и технологиям, в которую следует включить техническую документацию (хотя бы основные характеристики) на изделия предприятий, которые предполагаются возможными к продаже, на основании которой разработчик КА может принять решение о возможности применения изделия в составе своего КА.

Доступ к такой базе может осуществляться на уровне руководства предприятий и главных конструкторов КА. Наличие базы будет способствовать улучшению кооперационных связей предприятий отрасли.

*Стандартизация и унификация на внутриотраслевом уровне.* Нередко при взаимодействии организаций отрасли возникают вопросы, связанные с отсутствием единых общеотраслевых НД. Например:

– перечень материалов, разрешённых к применению в условиях космического пространства, есть у каждого предприятия отрасли, общий НД отсутствует. Работы по обобщению ведутся уже на протяжении нескольких лет;

– наличие различных программных сред на предприятиях отрасли приводит к тому, что при конвертировании и передаче данных между предприятиями возникают ошибки и несостыковки, что требует создания НД.

*Задержки при закупках ЭРИ и комплектующих элементов.* Важной проблемой является закупка электрорадиоизделий (далее ЭРИ) и материалов, а также испытательного и измерительного оборудования.

В соответствии с действующими законами, заключение договоров с проведением всех необходимых процедур занимает значительное время, зачастую сопоставимое со сроками выполнения этапов НИР.

Проведение закупок при создании КА требует совершенствования законодательства.

В последнее время проводится большое количество ОКР по созданию новых ЭРИ, однако их номенклатура и характеристики часто оказываются недостаточными и не соответствуют мировому уровню. Также, ожидание поставки уже заказанной ЭРИ может достигать нескольких месяцев.

Одним из путей решения ситуации с ЭРИ является применение коммерчески доступных компонентов, для чего требуется создать методику отбора, дополнительных и приемочных испытаний.

*Межотраслевое взаимодействие.* При выполнении ОКР в смежных отраслях зачастую создаётся продукция, которая могла бы быть использована в космической отрасли, однако не применяется ввиду недостаточной отработки на условия космического пространства (характерный пример – литий-ионные аккумуляторные батареи, создаваемые в рамках ОКР «Материя-ЛПЦ»).

### **Заключение**

1. Повышение эффективности деятельности по созданию ЭКА следует начать с модернизации и унификации НД различного уровня:

– унификации стандартов группы СМК с ISO9000, Lean Six Sigma, развития НД в части проектного менеджмента, их увязки с РК-16КТ;

– установления единого информационного поля, гармонизации стандартов с учётом вновь разработанных;

– выпуском российской настольной книги по созданию изделий РКТ (возможный вариант развития идей);

– развитием электронных баз данных НД.

2. Для решения частных проблем при создании ЭКА следует:

– развивать альтернативные стратегии отработки РКТ;

– развивать методики форсированных ресурсных испытаний служебных систем;

– применять инновационные технологии.

3. Для решения проблем предприятия, обусловленных его взаимодействием со сторонними организациями и заказчиком, следует:

- доработать законодательную базу в части закупки материалов и комплектующих изделий;
- разработать методику отбора и испытаний коммерческих ЭРИ для их применения в ЭКА;
- организовать межотраслевую координацию работ по созданию ЭРИ, новых материалов и технологий с учётом интересов предприятий отрасли.

### Литература

1. Заичко В. А. Доклад на конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 19 мая 2016 г.).
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.space.com/24563-james-webb-space-telescope-budget.html>.

3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.norbit.ru/products/groups/187.html>.

4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.boeing.com/news/frotiers/archive/2007/august/i\\_ca03.pdf](http://www.boeing.com/news/frotiers/archive/2007/august/i_ca03.pdf).

5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lean-analytics.org/ourblog/?p=582>.

6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.qm-s.com/consulting/lean\\_production.php](http://www.qm-s.com/consulting/lean_production.php).

7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.six-sigma.ru/index.php?id=293>.

8. Wittmann Klaus, Hallmann Willi. Handbook of Space Technology / Edited by Wilfried Ley, 2009. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-69739-9.

9. Введенский Н. Ю., Пустобаев М. В. Анализ отработки космической техники на механические воздействия в США, ЕС и РФ // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2012. – Т. 130.

Поступила в редакцию 06.12.2016

*Владимир Яковлевич Геча, д-р техн. наук, профессор, зам. генерального директора.*

*Михаил Викторович Пустобаев, канд. техн. наук, зам. начальника отдела.*

*Антон Сергеевич Степакин, инженер.*

*Александр Викторович Хромов, канд. техн. наук, начальник отдела.*

*Т. (495) 366-79-52, e-mail: Mikhail.pustobaev@gmail.com.*

*(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

## MAIN ISSUES OF EXPERIMENTAL SPACECRAFT DESIGNING

**V.Ia. Gecha, M.V. Pustobaev, A.S. Stepakin, A.V. Khromov**

*The current article revises several of the main issues occurring at the SC developing enterprises in the process of experimental spacecraft designing. Separation of external and internal activities of the enterprise has been performed, particular examples of troubles occurring in each of those areas are given and possible solutions are suggested. It is demonstrated that revision, unification and harmonization of all regulatory documents (both industrial and federal) is the basis leading to the improvement of efficiency at the enterprises designing experimental spacecraft. Difficulties having a major impact on the experimental spacecraft designing dates, such as the purchase of electronic and other components, are indicated in the article as the main issues. Application of modern approaches in the process of designing and testing of all space engineering components such as the alternative testing strategies as well as the purchase of commercially available components is one of the possible ways of experimental spacecraft effective designing process.*

**Key words:** *experimental spacecraft, Remote Earth Sensing Space System, effectiveness, R&D, lean production, electric components, purchase.*

### References

1. Zaichko V. A. Report at a conference ‘Current issues of Remote Earth Sensing Space System designing’ (‘VNIIEEM Corporation’ JC, May 19, 2016).
2. [Digital resource]. – Access mode: <http://www.space.com/24563-james-webb-space-telescope-budget.html>.
3. [Digital resource]. – Access mode: <http://www.norbit.ru/products/groups/187.html>.
4. [Digital resource]. – Access mode: [http://www.boeing.com/news/frotiers/archive/2007/august/i\\_ca03.pdf](http://www.boeing.com/news/frotiers/archive/2007/august/i_ca03.pdf).
5. [Digital resource]. – Access mode: <http://lean-analytics.org/ourblog/?p=582>.
6. [Digital resource]. – Access mode: [http://www.qm-s.com/consulting/lean\\_production.php](http://www.qm-s.com/consulting/lean_production.php).
7. [Digital resource]. – Access mode: <http://www.six-sigma.ru/index.php?id=293>.
8. Wittmann Klaus, Hallmann Willi. Handbook of Space Technology / Edited by Wilfried Ley, 2009. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-69739-9.
9. Vvedenskii N. Yu., Pustobaev M. V. Analysis of space engineering testing on mechanical impact in the USA, EU and RF // Electromechanical Matters. VNIIEEM Studies. – 2012. – Т. 130.

**Vladimir Iakovlevich Gecha**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), professor, Deputy Director General.

**Mikhail Victorovich Pustobaev**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Head of Department.

**Anton Sergeevich Stepakin**, engineer.

**Aleksandr Victorovich Khromov**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Head of Department.

Tel. (495) 366-79-52, e-mail: [Mikhail.pustobaev@gmail.com](mailto:Mikhail.pustobaev@gmail.com).

(JC 'VNIIEМ Corporation').