

УДК 621.382

DOI:10.36815/2073-8250-2020-258-3-65-71

## СОЗДАНИЕ СПЕЦПАРТИЙ КАК ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

**В.И. Куклин, В.И. Орлов, В.В. Федосов**

*АО «Испытательный технический центр – НПО ПМ» (АО «ИТЦ – НПО ПМ»)  
Красноярский край, 662970, г. Железнодорожск, улица Молодежная, дом 20*

*Приведена краткая историческая справка этапов проводимых АО «ИТЦ – НПО ПМ» работ по обеспечению длительной работоспособности электронной компонентной базы (ЭКБ) космического применения. Показано, что создание специализированных испытательных центров (ИТЦ) – оптимальный подход к формированию партий ЭКБ уровня качества «Space». Определён дальнейший путь повышения надёжности ЭКБ космического применения через совместную работу ИТЦ и заводов-производителей по формированию спецпартий.*

**Ключевые слова:** электронная компонентная база, испытательный технический центр, дополнительные отбраковочные испытания, разрушающий физический анализ, спецпартия

**Сведения об авторах:** Куклин Владимир Иванович; Орлов Виктор Иванович, к.т.н.; Федосов Виктор Владимирович, д.т.н., профессор

## CREATION OF SPECIAL BATCHES OF DEVICES TO IMPROVE RELIABILITY OF ELECTRONIC COMPONENTS FOR SPACE APPLICATIONS

**V.I. Kuklin, V.I. Orlov, V.V. Fedosov**

*Joint Stock Company «Testing Technical Center – NPO PM» (JSC «TTC – NPO PM»)  
Krasnoyarsk Territory, 662979, Zheleznogorsk, Molodezhnaya Street, 20*

*In this paper we give a brief historical background of the stages of work carried out by “ITC – NPO PM” JSC aimed at ensuring the long-term operation of electronic components for space applications. It is shown that the creation of specialized testing facilities is the optimal approach to make batches of electronic components of the Space quality level. We propose a further scenario to improve reliability of electronic components for space applications, involving the joint work of specialized testing facilities and manufacturing plants to make special batches of devices.*

**Keywords:** electronic components, testing engineering facility, additional screening tests, destructive physical analysis, special batches of electronic devices

**Data on Authors:** Kuklin Vladimir Ivanovich, Orlov Viktor Ivanovich, Ph.D., Fedosov Viktor Vladimirovich, Sc.D., Professor

## **Введение**

В процессе развития отечественной космической индустрии сроки активного функционирования космических аппаратов (КА) неуклонно увеличиваются. Если в 1970-х годах САФ КА составлял 3-5 лет, то современные КА должны обеспечивать бесперебойное выполнение своих задач в течение 10-15 лет.

С учётом того, что бортовая аппаратура КА в космическом пространстве не подлежит ремонту, а каждый КА содержит порядка 100-200 тысяч электронных компонентов, очевидно, что к ЭКБ космического применения предъявляются исключительно высокие требования по надёжности [1-2]. В связи с этим совершенствование методологий повышения надёжности ЭКБ имеет первостепенное значение для дальнейшего развития космической отрасли [3].

## **Краткая история вопроса**

История привлечения внимания к надёжности ЭКБ космического применения началась в СССР в 70-х годах прошлого века при решении проблем увеличения срока активного существования (САС) КА.

В 1975 году вышло Решение ВПК по увеличению САС КА «Молния-3» и «Радуга» разработки КБПМ (в дальнейшем НПО ПМ, затем АО «ИСС») с 1 года до 3-х лет.

Поскольку ресурс ЭКБ по техническим условиям (ТУ) составлял 5000-10000 часов, Решением предписывалось проведение работ по увеличению минимальной наработки (ресурса) ЭКБ до 33000 часов. Аналогичная работа по увеличению ресурса ЭКБ проводилась в рамках реализации «Олимпийского заказа» – создания КА «Горизонт» с 3-летним САС для трансляции соревнований с Московской Олимпиады.

Эти задачи были успешно решены. В дальнейшем аналогичным образом про-

водились работы по увеличению ресурса ЭКБ, комплектующих аппаратуру всех типов КА разработки НПО ПМ. Проведённые в 1970-1980-х годах работы по обеспечению ресурса ЭКБ способствовали обеспечению требуемых сроков активного существования (САС) космических аппаратов (КА) 3-5 лет, однако наработанный алгоритм проведения работ по увеличению ресурса ЭКБ исчерпал себя, как это стало ясно в начале 1990-х годов, и не позволял обеспечить САС 7-10 лет для перспективных КА, особенно в негерметичном исполнении.

В 1981 году генеральным директором и главным конструктором НПО ПМ М.Ф. Решетневым было принято решение о повышенном внимании к развитию входного контроля ЭКБ. В связи с этим была проведена огромная работа по созданию методологии проведения входного контроля, диагностического неразрушающего контроля (ДНК), выбору необходимого оборудования, его приобретению и внедрению. Также была разработана и внедрена автоматизированная система входного диагностического прогнозирующего контроля ЭКБ, заложена база по созданию направления разрушающего физического анализа (РФА) ЭКБ.

В период 1996-1998 годов в рамках международного проекта TACIS TELRUS 9503 проводилась работа по созданию в России двух Центров по сертификации ЭКБ для космического применения. В ходе реализации этого проекта были проведены тщательный анализ и сравнение российского и западноевропейского подходов к квалификации ЭКБ, а также требований к их испытаниям. Российские специалисты из НПО ПМ и РНИИ КП прошли обучение в западноевропейских центрах: SPUR (Великобритания), TECNOLOGICA (Испания)

и Daimler-Benz Aerospace (Германия). Это позволило разработать гармонизированную схему соответствия российских и западноевропейских требований к ЭКБ для космических применений.

Наличие у НПО ПМ хорошего задела по контролю ЭКБ во многом способствовало принятию положительного решения по заключению контракта с организацией EUTELSAT Европейского космического агентства (ЕКА) на создание КА SESAT с САС 10 лет, поскольку предварительно была проведена проверка НПО ПМ в части выполнения требований EUTELSAT по комплектации аппаратуры спутника ЭКБ в соответствии с требованиями ЕКА.

Проектирование и отработка КА SESAT в НПО ПМ стали определяющим этапом становления методологии комплектования аппаратуры КА ЭКБ, прошедших в ИТЦ дополнительные испытания, включая проведение РФА. При этом был использован и творчески переработан весь имеющийся отечественный и мировой опыт в этой области. Впоследствии успешная безаварийная работа КА SESAT в течение 17 лет подтвердила правильность принятых решений [4].

В дальнейшем отработанная при создании КА SESAT методология комплектования аппаратуры КА с САС 7-10 и более лет ЭКБ, прошедшими дополнительные испытания в ИТЦ, была принята за основу в космической отрасли РФ.

### ***Испытательные технические центры***

В России формирование ЭКБ космического применения имеет определённую специфику.

В США, Японии, Китае и странах Европейского Союза организовано специализированное производство электронных компонентов для космической отрасли (ка-

тегория «Space»), превосходящих по качеству компоненты для других отраслей.

В Советском Союзе при его централизованной экономике, к сожалению, не успели создать такое производство. В современной России, тем более, создание специализированных производств ЭКБ для космической отрасли проблематично в большей мере по экономическим причинам.

Объём потребления ЭКБ, используемой в космической индустрии России, составляет не более 2 % от общего объёма производства этих изделий. Для создания отдельного производства электронных компонентов категории «Space» требуются значительные инвестиции и большой объём организационно-технических мероприятий, что в условиях рыночной экономики отечественные предприятия электронной промышленности не могут себе позволить.

Поэтому на сегодняшний день обеспечение комплектования ЭКБ аппаратуры КА с длительными САС – задача, которую в России вынуждена решать сама космическая отрасль. В результате это и привело к созданию ИТЦ, специализирующихся на формировании ЭКБ для космического применения [5-6].

По своей сути функция ИТЦ состоит в том, чтобы из партий ЭКБ общего военного (неспециализированного) применения категорий качества «ВП» и «ОС» («ОСМ») отобрать нужное количество элементов ЭКБ, удовлетворяющих жёстким требованиям космической отрасли. Естественно, количество элементов испытываемой ЭКБ заведомо больше, чем необходимо для установки в аппаратуру КА.

При всей простоте звучания выполнение этой задачи является довольно сложным мероприятием, требующим решений комплекса научных, технических и организационных проблем. Достаточно ска-

зять, что в технологических процессах АО «ИТЦ – НПО ПМ» задействовано более 670 единиц всевозможной техники.

В настоящее время с учётом накопленного опыта методология испытаний ЭКБ для космического применения в АО «ИТЦ – НПО ПМ» в общих чертах выглядит следующим образом [7-8]:

- все элементы (без исключения) испытываемой партии ЭКБ проходят дополнительные отбраковочные испытания (ДОИ);

- из каждой партии ЭКБ определённых классов (микросхемы, полупроводниковые приборы, реле...) формируются тестовые выборки для проведения РФА с распространением полученных результатов РФА на всю партию ЭКБ.

ДОИ содержат следующие основные операции:

- контроль тестовых параметров ЭКБ по ужесточённым нормам;

- контроль наличия посторонних частиц в подкорпусном пространстве ЭКБ;

- электротренировка с контролем электропараметров ЭКБ и расчётом их дрейфа;

- диагностические испытания (контроль ВАХ, побитовых токов,  $m$ -характеристик, токов потребления по шинам питания в момент переключения и пр.).

РФА содержит следующие основные операции [9]:

- контроль содержания паров воды и анализ газов в подкорпусном пространстве ЭКБ;

- плазмохимическое травление и вскрытие пластмассовых корпусов;

- энергодисперсионный микроанализ поверхности кристаллов и различных загрязнений;

- внутренний визуальный осмотр путём растровой электронной микроскопии;

- контроль прочности внутренних соединений, испытания на сдвиг кристалла;

- контроль прочности внешних выводов;

- контроль качества ЭКБ и других комплектующих с использованием рентгеновского оборудования.

В случае необходимости ИТЦ обеспечивает в компетентных организациях проведение испытаний тестовой выборки ЭКБ на радиационную стойкость. В результате к установке в аппаратуру КА допускаются партии ЭКБ, прошедшие в ИТЦ с положительными результатами все этапы испытаний.

Надо отметить, что идёт постоянное совершенствование технологического процесса тестирования ЭКБ с учётом последних достижений в методологии испытаний и аппаратной части испытательного оборудования. Например, в АО «ИТЦ – НПО ПМ» проводятся работы по внедрению в технологический процесс методик по результатам испытаний сортировки ЭКБ в однородные группы, что позволит более осознанно формировать тестовые выборки для проведения РФА и, соответственно, распространять эти результаты не на всю партию ЭКБ, а только на сформированные однородные группы. Другим примером могут являться активно совершенствующиеся методики и приборы индикации влаги в подкорпусном пространстве ЭКБ.

Тем не менее видно, что существует предел подхода, основанного на стратегии отбора (отбраковки) ЭКБ. Опыт работ АО «ИТЦ – НПО ПМ» показал, что из серийной продукции заводов-изготовителей не всегда удаётся выбрать электронные компоненты, удовлетворяющие жестким требованиям космической отрасли. Необходимы дополнительные технологические и организационные мероприятия со стороны производителей ЭКБ, без которых задача решена быть не может.

### **Методология создания спецпартий**

В начале 2000-х годов специалистами АО «ИТЦ – НПО ПМ» был сформирован новый подход к обеспечению комплектования высоконадёжной ЭКБ аппаратуры КА. В основу его был положен принцип изготовления и поставки партий ЭКБ для космического применения, являющихся продукцией совместной деятельности заводов-изготовителей и АО «ИТЦ – НПО ПМ». Для обозначения таких партий ЭКБ был введён специальный термин – спецпартия.

Решение задачи изготовления спецпартий ЭКБ обеспечивается за счёт:

- предъявления дополнительных требований к технологическому процессу изготовления партий ЭКБ (100 %-й вместо выборочного контроль при проведении операций, измерение параметров по ужесточённым нормам, ужесточённый контроль качества применяемых материалов и др.);

- проведения в ИТЦ тех видов операций, которые не выполняет завод-изготовитель (контроль наличия посторонних частиц в подкорпусном пространстве, РФА, расчёт дрейфа параметров и др.), так как такие требования комплексом стандартов «Климат-7», по которому построен весь процесс изготовления ЭКБ в России, не предъявляются;

- проведения для каждой партии ЭКБ РФА для оценки технологических дефектов, которые в ряде случаев не выявляются на этапе ДОИ, а проявляются в дальнейшем как временной фактор.

Организация изготовления и поставки спецпартий ЭКБ организационно оформляются выпуском «Решений о порядке изготовления и поставке спецпартий» для каждого завода-изготовителя ЭКБ, учитывающего выпускаемую им номенклатуру ЭКБ и особенности её производства.

В 2005 г. АО «ИТЦ – НПО ПМ» совместно с АО «Светлана-полупроводники» выпустил первое «Решение о порядке изготовления и поставки спецпартий», а к настоящему времени поставки спецпартий ЭКБ осуществляются по 46 подобным «Решениям», оформленным с 29 заводами-изготовителями (включая такие предприятия, как АО «Восход-КРЛЗ», АО «Экситон», АО «НЗПП с ОКБ», ОАО «ВЗРД «Монолит», АО «НПП «Восток» и др.). Поставки спецпартий ЭКБ АО «ИТЦ – НПО ПМ» осуществляет не только для АО «ИСС» и предприятий его кооперации, но и для предприятий других головных разработчиков КА (АО «РКЦ «Прогресс» и др.).

При поставке спецпартий заказчик получает только годные ЭКБ (без потенциально ненадёжных) и не ведёт рекламационную работу с заводами-изготовителями!

Реализация предлагаемой схемы комплектации аппаратуры КА спецпартиями ЭКБ повышенного уровня качества наряду с контролируемой централизованной закупкой ЭКБ позволит:

- обеспечить равнонадёжную комплектацию всей аппаратуры КА ЭКБ с повышенным уровнем качества;

- упростить, если на то будет воля головного разработчика КА, систему финансирования централизованных закупок ЭКБ;

- минимизировать количество закупаемых партий ЭКБ;

- решить вопросы по рекламационной работе, сократить количество потенциально ненадёжных ЭКБ;

- снизить в целом затраты на закупку ЭКБ;

- проводить единую техническую политику по определению объёмов испытаний, правильности выбора ЭКБ, прогнозированию работоспособности ЭКБ в целом по КА.

## Выводы

В современных условиях комплектация аппаратуры КА высоконадёжной ЭКБ возможна только через ИТЦ, который выступает в качестве связующего звена между заводами-изготовителями ЭКБ и её потребителями, а учитывая отсутствие в РФ специализированного производства, это является единственным альтернативным путём.

Требования космической отрасли делают невозможной комплектацию бортовых электронных систем без серьёзного изменения технологического процесса изготов-

ления ЭКБ. Разработка отдельного технологического процесса по изготовлению электронной компонентной базы для космической отрасли, требуя значительных вложений, делает невыгодным или невозможным изготовление малых партий ЭКБ.

Дальнейшее повышение надёжности ЭКБ космического применения возможно только путём организации поставок спецпартий ЭКБ. В его основу положен принцип изготовления и поставки партий ЭКБ, являющихся продукцией совместной деятельности заводов-изготовителей и ИТЦ, для космического применения.

## Литература

- Орлов, В.И. Качество электронной компонентной базы – залог длительной работоспособности космических аппаратов / В.И. Орлов, В.В. Федосов // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 1. – № 17. – С. 238-241.
- Субботин, В. Проблемы обеспечения бортовой космической аппаратуры космических аппаратов электронной компонентной базой / В. Субботин, В. Стешенко // Компоненты и технологии. – 2011. – Вып. 11. – С. 10-12.
- Федосов, В.В. Вопросы обеспечения работоспособности электронной компонентной базы в аппаратуре космических аппаратов: учеб. пособие / В.В. Федосов. – Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический ун-т, 2015. – 68 с.
- Космический аппарат «Sesat» со сроком активного существования 10 лет. Принципы, методы и результаты комплектации аппаратуры электрорадиоизделиями: технический отчёт / НПО прикладной механики; исполн.: А.Г. Козлов, Ш.Н. Исляев, В.В. Федосов, В.И. Коновалов, С.А. Белов, В.И. Куклин, В.И. Орлов. – Красноярск-26, 1999. – 408 с.
- Горлов, М. Отбраковочные технологические испытания как средство повышения надёжности партий ИС / М. Горлов, Л. Ануфриев, А. Строгонов. – Chip News. – 2001. – № 5. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL [http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/01\\_05/stat-5.htm](http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/01_05/stat-5.htm), дата обращения 30.04.2019.
- Федосов, В.В. Повышение надёжности радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов при применении электрорадиоизделий, прошедших дополнительные отбраковочные испытания в специализированных испытательных технических центрах / В.В. Федосов, В.Е. Патраев // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 10. – С. 50-55.
- Куклин В.И., Орлов В.И., Федосов В.В. Результаты работ по обеспечению качества электрорадиоизделий отечественного производства для комплектования бортовой аппаратуры космических аппаратов за период 01.2008-06.2009 // VIII Международная научно-техническая конференция. Электронная компонентная база космических систем, 21-27 сентября, 2019, Сочи, Россия. – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова. – С. 64-66.
- Федосов, В.В. Комплексный подход к электронной компонентной базе как метод обеспечения длительной работоспособности космических аппаратов / В.В. Федосов // Вестник СибГАУ. – 2014. – Спец. вып. 5. – С. 155-160.

9. РД В 319.04.47-2006. Порядок и методы проведения разрушающего анализа качества партий изделий, поставляемых для высоконадёжных радиоэлектронных средств вооружения. – 46 с.

## **References**

1. Orlov V. I., Fedosov V. V. Kachestvo elektronnoy komponentnoy bazy – zalog dlitel'noy rabotosposobnosti kosmicheskikh apparatov [The quality of the electronic components is the key to the long term operation of spacecraft]. Reshetnevskiyе chteniya, 2013, vol. 1, no. 17, pp. 238-241.
2. Subbotin V., Steshenko V. Problemy obespecheniya bortovoy kosmicheskoy apparatury kosmicheskikh apparatov elektronnoy komponentnoy bazoy [Issues with providing electronic components the onboard equipment of spacecraft]. Komponenty i tekhnologii, 2011, iss. 11, pp. 10-12.
3. Fedosov V. V. Voprosy obespecheniya rabotosposobnosti elektronnoy komponentnoy bazy v apparature kosmicheskikh apparatov: ucheb. posobiye [Tutorial on the issues of ensuring the operability of electronic components for spacecraft equipment]. Krasnoyarsk, Sibirskiy gosudarstvennyy aerokosmicheskiy universitet, 2015, 68 p.
4. Kozlov A. G., Islyayev Sh. N., Fedosov V. V., Konovalov V. I., Belov S. A., Kuklin V. I., Orlov V. I. Kosmicheskiy apparat «Sesat» so srokom aktivnogo sushchestvovaniya 10 let. Printsipy, metody i rezul'taty komplektatsii apparatury elektroradioizdeliyami: tekhnicheskiy otchet [Technical report on the Sesat spacecraft with life-cycle of 10 years – principles, methods and results of equipping systems with electrical radio devices]. Krasnoyarsk, NPO prikladnoy mekhaniki, 1999, 408 p.
5. Gorlov M., Anufriev L., Strogonov A. Otbrakovochnyye tekhnologicheskkiye ispytaniya kak sredstvo povysheniya nadozhnosti partiy IS [Screening tests as a means of increasing the reliability of IC batches]. Chip News, 2011, no. 5, available at:

[http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/01\\_05/stat-5.htm](http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/01_05/stat-5.htm) (assessed on 30 Apr 2019).

6. Fedosov V. V., Patraev V. E. Povysheniye nadozhnosti radioelektronnoy apparatury kosmicheskikh apparatov pri primeneniі elektroradioizdeliy, proshedshikh dopolnitel'nyye otbrakovochnyye ispytaniya v spetsializirovannykh ispytatel'nykh tekhnicheskikh tseentrakh [Improving the reliability of spacecraft radio electronic equipment when using electrical radio devices that have passed additional screening tests in specialized testing facilities]. Aviakosmicheskoye priborostroeniye, 2006, no. 10, pp. 50-55.
7. Kuklin V. I., Orlov V. I., Fedosov V. V. Rezul'taty rabot po obespecheniyu kachestva elektroradioizdeliy otechestvennogo proizvodstva dlya komplektovaniya bortovoy apparatury kosmicheskikh apparatov za period 01.2008-06.2009 [Results of the work, carried 01.2008 - 06.2009, on quality assurance of domestically produced electronic radio devices for equipping onboard spacecraft systems]. VIII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Elektronnaya komponentnaya baza kosmicheskikh sistem in Sochi on Sep. 2019, publ. Moscow, Moskovskoye nauchno-tekhnicheskoye obshchestvo radiotekhniki, elektroniki i svyazi imeni A. S. Popova, pp. 64-66.
8. Fedosov V. V. Kompleksnyy podkhod k elektronnoy komponentnoy baze kak metod obespecheniya dlitel'noy rabotosposobnosti kosmicheskikh apparatov [An integrated approach to electronic components as a method for ensuring long-term operation of spacecraft]. Vestnik SibGAU, 2014, iss. 5, pp. 155-160.
9. RD V 319.04.47-2006. Poryadok i metody provedeniya razrushayushchego analiza kachestva partiy izdeliy, postavlyayemykh dlya vysokonadozhnykh radioelektronnykh sredstv vooruzheniya [The procedure and methods for conducting destructive analysis of the quality of batches of devices intended for highly reliable radio-electronic weapons], 46 p.