

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЙ ОДНОРОДНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

С. М. Голованов✉, В. И. Орлов, В. В. Федосов

АО «Испытательный технический центр – НПО ПМ»,  
г. Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация

*В современных условиях в Российской Федерации комплектация космических аппаратов высоконадежной электронной компонентной базой возможна только через испытательные технические центры, которые выступают в качестве связующего звена между заводами-изготовителями электронных компонентов и их потребителями. Учитывая отсутствие в нашей стране специализированного производства электронных компонентов категории качества «Space», такой подход является единственным альтернативным путем. Испытательные технические центры осуществляют формирование партий электронной компонентной базы космического применения посредством проведения дополнительных испытаний электронных компонентов общего военного применения, позволяющих осуществить отбраковку содержащих дефекты элементов, которые могут проявить себя при длительном функционировании в космическом пространстве. Современный космический аппарат содержит порядка 100–200 тысяч электронных компонентов. С учетом того, что бортовая аппаратура космического аппарата при его эксплуатации не подлежит ремонту, очевидно, что к электронной компонентной базе космического применения предъявляются исключительно высокие требования по надежности. В связи с этим совершенствование методологии повышения надежности электронной компонентной базы космического применения имеет первостепенное значение для дальнейшего развития космической отрасли. В настоящей статье изложен подход к усовершенствованию технологии дополнительных испытаний в испытательных технических центрах, основанный на применении понятий однородности испытываемой партии электронных компонентов, что позволяет осмысленно осуществлять формирование выборок для разрушающего физического анализа и испытаний на радиационную стойкость, а также дополнительно выявлять элементы-выбросы, являющиеся потенциально ненадежными элементами.*

*Ключевые слова: электронная компонентная база, космическое применение, испытательный технический центр, однородность партии элементов.*

### Введение

В процессе развития космической индустрии сроки активного существования (САС) космических аппаратов (КА) неуклонно увеличиваются. Если в 80-х годах прошлого века САС КА составлял 3–5 лет, то современные КА должны обеспечивать бесперебойное выполнение своих задач в течение 10–15 лет.

При этом современный КА содержит порядка 100–200 тысяч электронных компонентов. С учетом того, что бортовая аппаратура КА при его

эксплуатации не подлежит ремонту, очевидно, что к электронной компонентной базе (ЭКБ) космического применения предъявляются исключительно высокие требования по надежности [1; 2]. В связи с этим совершенствование методологий повышения надежности ЭКБ космического применения имеет первостепенное значение для дальнейшего развития космической отрасли [3].

### 1. Дополнительные испытания ЭКБ в испытательных технических центрах

В современной России комплектование КА ЭКБ космического применения имеет определен-

✉ gsm-itc@yandex.ru

ную специфику. В США, Японии, Китае и странах Европейского Союза организовано специализированное производство электронных компонентов для космической отрасли (категория качества «Space»), превосходящих по качеству компоненты для других отраслей.

В Советском Союзе при его централизованной экономике, к сожалению, такое производство не было создано. В современной России создание специализированных производств ЭКБ космического применения оказалось неразрешимой задачей. Объем потребления ЭКБ космической отрасли России составляет не более 2 % от общего объема производства этих изделий [4]. Для создания специализированного производства электронных компонентов категории «Space» требуются значительные инвестиции и большой объем организационно-технических мероприятий, что в условиях рыночной экономики отечественные предприятия электронной промышленности не могут себе позволить.

Исходя из этих реалий, космическая отрасль в России задачу комплектования аппаратуры КА электронными компонентами требуемого качества вынуждена решать самостоятельно. Это привело к созданию в рамках Государственной корпорации «Роскосмос» испытательных технических центров (ИТЦ), специализирующихся на выполнении данной задачи [5; 6]. Функция ИТЦ состоит в том, чтобы из партий ЭКБ общего военного применения отобрать нужное количество элементов, удовлетворяющих жестким требованиям космической отрасли.

В настоящее время, с учетом накопленного опыта, методология формирования партий ЭКБ космического применения, в общих чертах, выглядит следующим образом [7].

Для формирования партии ЭКБ космического применения в ИТЦ проводятся дополнительные испытания (ДИ) ЭКБ общего военного применения, в том числе ЭКБ повышенной надежности («ОС», «ОСМ», «Н»). Количество элементов поступившей на испытания партии ЭКБ всегда превышает количество элементов, необходимых для применения в аппаратуре.

ДИ состоят из трех видов испытаний:

а) неразрушающие или дополнительные отбраковочные испытания (ДОИ) для 100 % ЭКБ поступившей партии;

б) выборочный разрушающий физический анализ (РФА);

в) испытания на радиационную стойкость.

ДОИ – это не наносящие вреда элементам испытания, позволяющие выбрать лучшие в смысле надежности образцы. Для обеспечения максимального качества ДОИ подвергаются все (без исключения) электронные компоненты космического применения.

ДОИ состоят из двух групп операций:

а) контроль технологии изготовления неразрушающими методами;

б) параметрический анализ.

Контроль технологии изготовления неразрушающими методами включает в себя:

- контроль наличия посторонних частиц в подкорпусном пространстве элементов ЭКБ;

- контроль герметичности корпуса элементов ЭКБ.

Параметрический анализ – это контроль, основанный на измерениях электрических параметров ЭКБ. Параметрический анализ включает в себя:

- контроль электрических параметров ЭКБ по ужесточенным нормам;

- электротермотренировка (ЭТТ) ЭКБ с контролем электрических параметров по ужесточенным нормам до и после ЭТТ;

- расчет дрейфа электрических параметров ЭКБ в процессе ЭТТ и контроль величины этого дрейфа;

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

По результатам проведения ДОИ вся ЭКБ делится на три группы:

а) группа элементов ЭКБ, годных для космического применения;

б) группа бракованных элементов ЭКБ;

в) группа потенциально ненадежных элементов ЭКБ.

Группу годных для космического применения элементов ЭКБ составляют элементы, прошедшие ДОИ без замечаний.

В группу бракованных элементов ЭКБ входят элементы, для которых значения электрических параметров выходят за пределы границ, указанных в технических условиях (ТУ) на данный тип ЭКБ.

Группу потенциально ненадежных элементов ЭКБ составляют элементы, электрические параметры которых соответствуют ТУ, но не выполнившие какие-либо дополнительные требования в процессе ДОИ.

РФА – испытания, которые необходимы для оценки качества изготовления ЭКБ, но приводящие к разрушению испытуемых элементов. Соответственно, испытания такого рода могут проводиться только над специально сформированными тестовыми выборками с последующим распространением результатов испытаний на всю партию ЭКБ.

РФА содержит следующие операции:

- 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 с помощью растровой электронной микроскопии;
- контроль прочности внутренних соединений, испытания на сдвиг кристалла;
- контроль прочности крепления внешних выводов;
- контроль качества ЭКБ с использованием рентгеновского оборудования.

В случае необходимости подтверждения характеристик радиационной стойкости ЭКБ проводятся испытания на радиационную стойкость на специально сформированной для этих целей тестовой выборке ЭКБ с последующим распространением результатов испытаний на всю партию. Проведение такого рода испытаний – задача, требующая специализации. Поэтому, как правило, большинство ИТЦ проводит эти работы в организациях, имеющих соответствующую компетенцию.

Формирование тестовых выборок для РФА и радиационных испытаний производится случайным образом. По результатам проведения РФА и радиационных испытаний принимается окончательное решение о судьбе партии ЭКБ. Если эти испытания дали положительный результат, то элементы, прошедшие ДООИ без замечаний, составляют партию ЭКБ, годную для космического применения. В случае отрицательных результатов вся партия ЭКБ признается негодной для космического применения.

## 2. Применение понятий однородности партий ЭКБ при проведении ДИ

Следует отметить, что приведенная выше методология ДИ является плодом многолетней творческой работы и хорошо зарекомендовала себя на практике. С другой стороны, к ней нельзя относиться как к чему-то окончательному и неизменному. Нужно ее дальнейшее совершенствование с учетом последних достижений в методологии испытаний и аппаратной части испытательного оборудования.

Применение понятий однородности партий ЭКБ является путем к дальнейшему усовершенствованию методологии ДИ.

Суть предложений состоит в следующем. В существующей методологии ДИ параметрический анализ носит персонифицированный характер, то есть осуществляется анализ электрических параметров испытываемых элементов с целью определения характеристик конкретного элемента. Вместе с тем, вся совокупность измерений параметров элементов партии ЭКБ несет в себе обобщенную информацию о свойствах партии в целом.

Очевидно, что эту обобщенную информацию можно и, главное, нужно использовать для повышения качества ДИ. И вот почему. За последнее десятилетие функциональная сложность, например, интегральных схем (ИС) возрасла в разы и даже в десятки раз. А это означает, что объем обрабатываемой информации одним корпусом ИС также существенно повысился, а значит, в приборах стало меньше ИС и это привело к повышению требований к надежности каждого корпуса. Следовательно, контроль качества ИС должен быть усилен.

Одной из обобщенных характеристик партии ЭКБ является такая характеристика как однородность. При этом можно выделить два различных понятия однородности.

Первое понятие. Назовем его *однородностью первого рода*, как возможность разбиения партии ЭКБ на группы (кластеры) элементов, близких друг к другу по своим характеристикам и при этом далеких по характеристикам от элементов других групп.

Второе понятие. Соответственно, назовем его *однородностью второго рода*, как меру сходства характеристик элементов внутри группы, обладающей однородностью первого рода.

Предположим, по результатам анализа измерений электрических параметров партия ЭКБ делится на ярко выраженные однородные (первого рода) группы. Очевидно, этот факт является отражением глубинных свойств, присущих данной партии: вариации в используемом сырье и примененной технологии изготовления, разные условия транспортировки и хранения и т. д.

Обладать этой информацией полезно. Полезно, в первую очередь, при формировании тестовой выборки для проведения РФА и испытаний на радиационную стойкость, так как, очевидно, что для уверенного распространения результатов на всю партию ЭКБ в тестовую выборку должны попасть представители всех выделенных однородных групп. Как было отмечено выше, в существующей технологии ДИ формирование тестовых выборок осуществляется случайным образом.

Это, в какой-то степени, оправдано в том случае, если партия попадает на испытания напрямую от завода-изготовителя с его гарантией, что вся она является частью одной технологической партии.

Но, во-первых, как говорится, доверяй, но проверяй. Во-вторых, в условиях рыночной экономики поставки ЭКБ зачастую производятся через посредников (квалифицированных поставщиков), при этом судьба поставленной партии может быть весьма туманной. При поставке же партии ЭКБ импортного производства проверка ее на однородность просто необходима.

Таким образом, осознанное формирование тестовых выборок для проведения РФА и радиа-

ционных испытаний на базе полученной информации об однородности партии ЭКБ, бесспорно, повысит уверенность в правильности интерпретации результатов анализов.

Информация об однородности второго рода испытываемой партии ЭКБ, в свою очередь, полезна при отбраковке сомнительных по качеству элементов.

Пусть по результатам измерения электрических параметров определено, что партия ЭКБ составляет одну однородную группу (обладает качеством однородности первого рода) или разбивается на несколько групп. Далее каждая группа анализируется на однородность второго рода, оценивая меру сходства характеристик элементов внутри группы. Этот анализ нужен для выявления так называемых элементов-выбросов. Элементы-выбросы – это элементы, значительно отличающиеся по своим характеристикам от большинства элементов группы.

Элементы-выбросы, судя по всему, обладают определенными дефектами, выделяющими их среди других элементов. Эти дефекты, конечно, могут быть «безвредными». Но, в то же самое время, с довольно большой вероятностью, эти дефекты в процессе эксплуатации (а это 10–15 лет) могут привести к преждевременному отказу элемента. Отсюда вывод – элементы-выбросы целесообразно отнести в группу потенциально ненадежных элементов и не допустить их попадание в аппаратуру КА.

Очевидно, что определение однородности и элементов-выбросов на практике усложняется наличием шумовых и температурных составляющих при замерах электрических параметров. Для уменьшения этого влияния желательно использовать максимально возможное количество измерений. В процессе проведения ДИ, как правило, происходит от двух до четырех измерений, так что наиболее достоверный результат возможен после последнего измерения.

К сожалению, при организации ДИ приходится учитывать целый комплекс разноплановых факторов. Один из таких факторов – продолжительность проведения ДИ. Как это ни парадоксально, но с учетом всех проблем, возникающих в процессе ДИ, именно соблюдение сроков поставки испытанных партий ЭКБ является наибольшей проблемой для любого ИТЦ. Поэтому ДИ производятся с максимальным уплотнением графика испытания, в связи с чем, ДОИ, РФА и испытания на радиационную стойкость стараются проводить параллельно. В связи с этим, непозволительной роскошью является откладывание формирования тестовых выборок для РФА и радиационных испытаний на завершающий этап ДИ.

Разумным компромиссом является вариант формирования тестовых выборок после первого

измерения электрических параметров в процессе ДИ. При этом даже ошибочное или неточное деление партии элементов на группы не выглядит катастрофично, так как в этом случае вариант формирования тестовой выборки ничем не хуже варианта случайного формирования, как это делается по существующей методике.

Определение же элементов-выбросов без ущерба для общего времени ДИ можно проводить в конце ДИ с учетом всей полученной в процессе ДИ информации.

Для практического применения понятий однородности партий ЭКБ в процессе ДИ специалистами АО «ИТЦ – НПО ПМ» (г. Железногорск) совместно с учеными СибГУ (г. Красноярск) разработана математическая база и комплекс алгоритмов формирования однородных групп [8–10]. В процессе фундаментальных исследований были определены основные необходимые понятия и алгоритмы:

- введены математические понятия однородности (1-го и 2-го рода);
- определены алгоритмы нормирования исходных данных;
- определены критерии качественного деления партии элементов на однородные группы;
- определены критерии формирования элементов-выбросов;
- введены понятия и определены критерии значимых отличий между однородными группами, а также между элементами-выбросами и однородными группами, которым они принадлежат.

Осуществлена отработка алгоритмов на архивной базе данных ДИ, проведенных в АО «ИТЦ – НПО ПМ». В настоящее время в АО «ИТЦ – НПО ПМ» идет процесс внедрения алгоритмов формирования однородных групп в методологию ДИ.

### 3. Примеры применения понятий однородности в процессе ДИ

Для иллюстрации применения понятий однородности в процессе ДИ приведем наиболее типичные примеры из архивной базы данных АО «ИТЦ – НПО ПМ».

#### Пример 1.

На ДИ в АО «ИТЦ – НПО ПМ» в соответствии с заявкой поступила партия интегральных схем (ИС) 1594ИР35Т: код партии – 184/679, дата изготовления – 1846 (46-я неделя 2018-го года), количество элементов в партии – 75. Период проведения ДИ: 27.09.2019–18.10.2019. Для проведения РФА случайным образом были отобраны три элемента партии, остальным элементам партии присвоены номера от 1 до 72. В процессе ДИ осуществлены четыре контрольных измерения элек-

трических параметров: два – до ЭТТ, два – после ЭТТ. В процессе ДООИ три элемента партии с номерами 22, 42 и 69 были определены как потенциально ненадежные – по превышению значений ужесточенных норм, остальные 69 элементов признаны годными для космического применения. Так как по результатам РФА замечаний к технологии изготовления партии элементов нет, то результаты ДИ являются окончательными.

Применим разработанные алгоритмы определения однородности партии ЭКБ к полученным результатам. Для данного вида ИС для определения однородности используются значения 146-ти электрических параметров. Таким образом, каждому элементу партии ИС 1594ИР35Т по результатам измерения электрических параметров соответствует точка в 146-мерном пространстве.

Представить такое пространство довольно сложно, даже имея феноменальное воображе-

ние. Для визуализации результатов измерений используется математический прием – метод многомерного шкалирования (ММШ), позволяющий любое  $n$ -мерное пространство с минимальным искажением отобразить на плоскости. На рис. 1а–1г с использованием ММШ представлены результаты измерения электрических параметров в процессе ДИ.

В соответствии с предложенной методикой произведем определение однородности (первого рода) партии ИС 1594ИР35Т по результатам первого измерения электрических параметров в процессе ДООИ. Получим результат: рассматриваемая партия однородна. Визуализация результатов всех измерений (рис. 1а–1г) подтверждает правильность этого вывода.

*Формирование тестовой выборки для РФА.*

В соответствии с предложенным подходом тестовая выборка для проведения РФА должна формироваться по результатам 1-го измерения

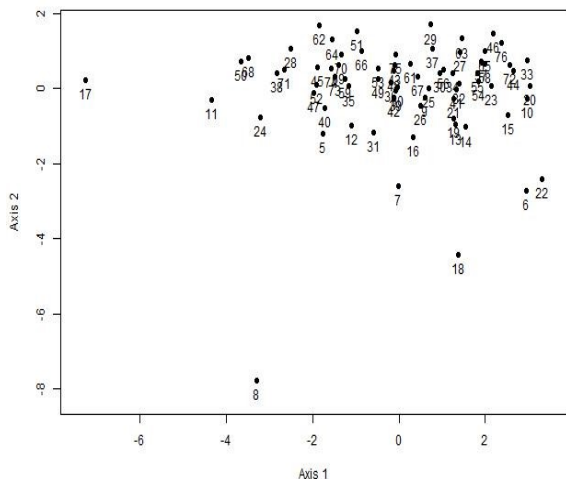


Рис. 1а. ИС 1594ИР35Т. Результаты 1-го измерения электрических параметров до ЭТТ

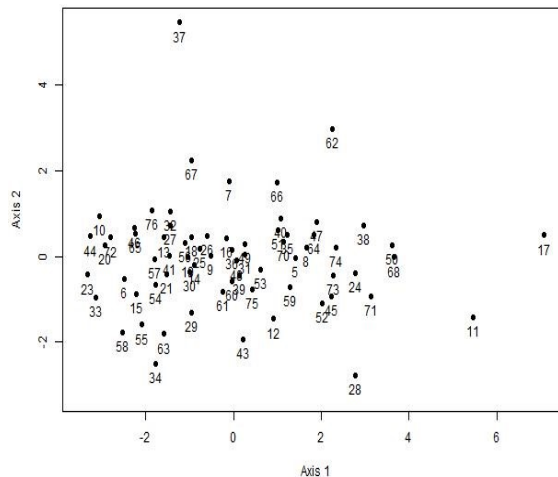


Рис. 1б. ИС 1594ИР35Т. Результаты 2-го измерения электрических параметров до ЭТТ

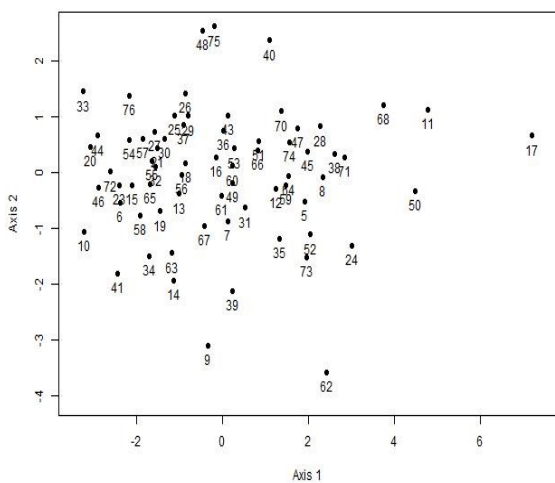


Рис. 1в. ИС 1594ИР35Т. Результаты 1-го измерения электрических параметров после ЭТТ

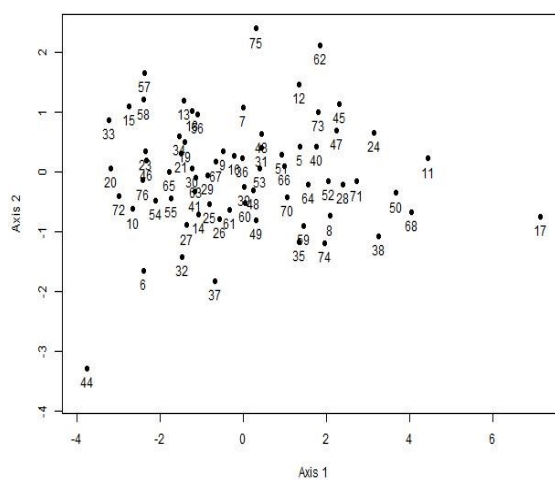


Рис. 1г. ИС 1594ИР35Т. Результаты 2-го измерения электрических параметров после ЭТТ

электрических параметров с учетом того, что партия однородна (или, то же самое, представляет из себя одну однородную группу). При этом возможны две стратегии формирования тестовой выборки:

а) тестовая выборка формируется из самых ярких представителей однородной группы, то есть из элементов, максимально приближенных к центру группы;

б) тестовая выборка формируется из элементов, наиболее удаленных от центра однородной группы, исходя из логики: если наиболее удаленные от центра элементы пройдут РФА без замечаний, то уж ко всем остальным элементам группы тем более замечаний не должно быть.

Пока до конца нет однозначного мнения, какая стратегия предпочтительней, поэтому принимаем компромиссное решение – формировать тестовую выборку комплексно, с учетом обеих стратегий: два элемента (с номерами 8 и 17), наиболее удаленных от центра партии, и один элемент (с номером 48), максимально приближенный к центру партии.

*Определение элементов-выбросов.*

По результатам каждого измерения электрических параметров происходит определение элементов-выбросов по следующей методике:

а) определяется центр однородной группы как среднее арифметическое всех элементов группы (в нормированных координатах);

б) определяется пороговый радиус  $R_{эв}$  однородной группы;

в) все элементы группы проходят проверку: если расстояние от элемента до центра группы больше  $R_{эв}$ , то элемент считается элементом-выбросом, если меньше – то нет.

В предложенной методике  $R_{эв} = 2 \cdot \sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение расстояний до центра всех элементов группы.

Таким образом, в нашем случае имеем:

- при 1-м измерении электрических параметров до ЭТТ к элементам-выбросам отнесены ИС с номерами 8 и 17;

- при 2-м измерении электрических параметров до ЭТТ к элементам-выбросам отнесены ИС с номерами 17 и 37;

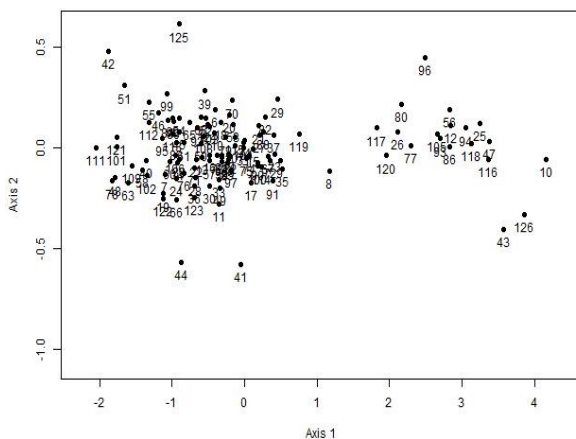


Рис. 2а. ИС 1554ТМ2Т. Результаты 1-го измерения электрических параметров (до ЭТТ)

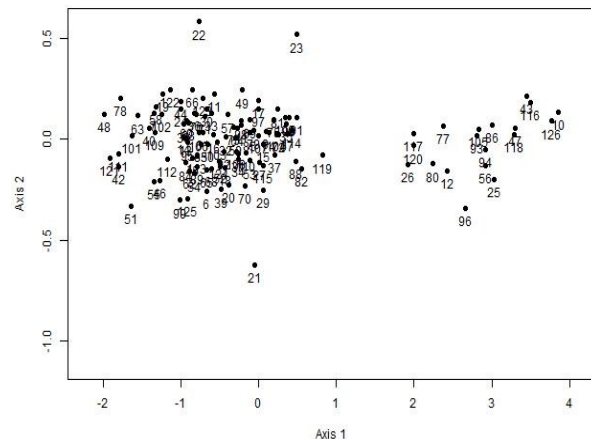


Рис. 2б. ИС 1554ТМ2Т. Результаты 2-го измерения электрических параметров (до ЭТТ)

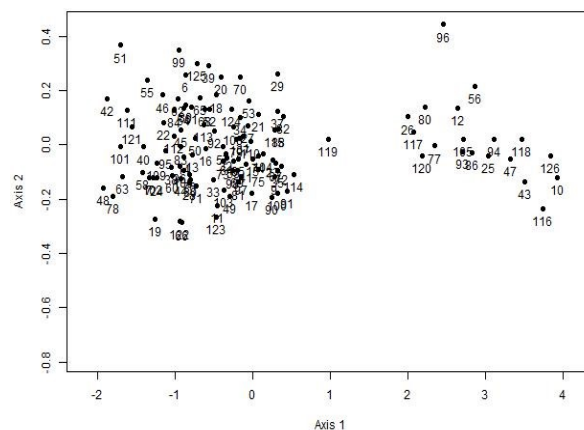


Рис. 2в. ИС 1554ТМ2Т. Результаты измерения электрических параметров (после ЭТТ)



- при 1-м измерении электрических параметров после ЭТТ к элементам-выбросам отнесена ИС с номером 17;

- при 2-м измерении электрических параметров после ЭТТ к элементам-выбросам отнесена ИС с номером 17.

Итого, по результатам всех четырех измерений электрических параметров, к элементам-выбросам может быть отнесена одна ИС с номером 17, как единственная попавшая в эту группу при всех четырех измерениях. Но ИС с номером 17 уже отобрана в тестовую выборку для РФА. Поэтому по результатам анализа на однородность 2-го рода партии ИС 1594ИР35Т предложений по пополнению группы потенциально ненадежных элементов нет.

### Пример 2.

На ДИ в АО «ИТЦ – НПО ПМ» в соответствии с заявкой поступила партия ИС 1554ТМ2Т: код партии – 123/355, дата изготовления – 1231 (31-я неделя 2012-го года), количество элементов в партии – 124, период проведения ДИ: 08.02.2013 – 20.02.2013. Для проведения РФА случайным образом были отобраны три элемента партии, остальные элементы партии (121 шт.) после присвоения номеров от 6 до 126 были отправлены на ДИ. В процессе ДИ осуществлено три контрольных измерения электрических параметров: 08.02.2013 и 10.02.2013 (до ЭТТ) и 14.02.2013 (после ЭТТ). В процессе ДИ три элемента партии были определены как потенциально ненадежные: номер 87 – по превышению жесточенных норм электрических параметров, номер 8 – по наличию посторонних частиц в подкорпусном пространстве, и номер 68 – при диагностических испытаниях. Остальные элементы партии признаны годными для космического применения.

Так как по результатам РФА замечаний к технологии изготовления партии элементов нет, то результаты ДИ являются окончательными. Применим разработанные алгоритмы к полученным результатам. Для данного вида ИС для определения однородности используется 24 электрических параметра. Для визуализации результатов так же, как в предыдущем примере, применим ММШ.

На рис. 2а–2в представлены результаты измерения электрических параметров в процессе ДИ.

### *Формирование выборки для РФА.*

В соответствии с предлагаемым подходом после первого измерения электрических параметров должна формироваться тестовая выборка для проведения РФА. Формироваться она должна с учетом определенной однородности (первого рода) испытываемой партии.

Применив разработанные алгоритмы формирования однородных групп, получим результат: рассматриваемая партия неоднородна и делится на две однородные группы: ОГ1 – 100 элементов

и ОГ2 – 20 элементов. Визуализация результатов всех трех измерений электрических параметров (рис. 2а–2в) подтверждает правильность полученных выводов. Следовательно, в данном случае тестовая выборка для проведения РФА должна формироваться от каждой однородной группы – три элемента от ОГ1 и три элемента от ОГ2.

Выбор конкретных элементов от каждой однородной группы осуществляется в соответствии с методикой, приведенной в примере 1: два элемента – наиболее удаленные от центра однородной группы, один элемент – максимально приближенный к центру однородной группы. Таким образом для РФА от ОГ1 нужно выбрать элементы с номерами: 111, 42 и 16, от ОГ2 – с номерами: 8, 10 и 86.

### *Определение элементов-выбросов.*

Определение элементов-выбросов осуществляется в соответствии с методикой, изложенной в примере 1. С учетом выполнения условия: наличие значимых отличий элементов-выбросов от центров однородных групп, которым они принадлежат, по результатам всех трех измерений элементов-выбросов не зафиксировано. В связи с этим предложений по пополнению группы потенциально ненадежных элементов нет.

По рассмотренным примерам следует дать несколько общих комментариев. Как было отмечено выше, АО «ИТЦ – НПО ПМ», в основном, имеет дело с партиями ЭКБ, полученными напрямую от заводов-изготовителей. В связи с этим существует определенная гарантия того, что полученная партия сформирована из одной технологической партии.

Результаты анализа однородности, проведенного на архивной базе АО «ИТЦ – НПО ПМ», подтверждают эти результаты: 95 % всех партий имеют свойства однородности (первого рода), а результаты измерения их электрических параметров имеют вид, аналогичный приведенному в примере 1. Соответственно, только 5 % всех поступающих на испытания партий ЭКБ носят признаки неоднородности. При этом даже в случае однородности входной партии ЭКБ применение предложенной методики даст положительный эффект, так как она, во-первых, придает определенную осмысленность процессу формирования тестовой выборки для РФА и радиационных испытаний, и, во-вторых, позволяет выявить элементы-выбросы, которые с большой вероятностью могут оказаться источниками отказов в процессе длительной эксплуатации в космических условиях.

## **Заключение**

В современных условиях комплектация аппаратуры КА высоконадежной ЭКБ возможна только через ИТЦ, которые выступают в качестве связующего звена между заводами-изготовителями ЭКБ и ее потребителями. Учитывая отсутствие

в России специализированного производства, это является единственным альтернативным путем.

ИТЦ осуществляет формирование партий ЭКБ космического применения, главным образом, посредством проведения ДИ элементов ЭКБ общего военного применения, позволяющих осуществить отбраковку содержащих дефекты элементов, которые могут проявить себя при длительном функционировании в космическом пространстве.

Несмотря на то, что существующая методология проведения ДИ в ИТЦ зарекомендовала себя с положительной стороны и отработана годами, она не является чем-то застывшим и окончательным. Жизнь требует ее непрерывного развития и усовершенствования с применением новых алгоритмических и технологических подходов.

Одним из таких подходов является применение в технологическом процессе ДИ понятий однородности, что позволяет осмысленно осуществлять формирование выборок для РФА и испытаний на радиационную стойкость, а также выявлять элементы-выбросы, являющиеся потенциально-ненадежными элементами.

Для практического применения изложенного подхода в АО «ИТЦ – НПО ПМ» совместно с учеными СибГУ разработана математическая база и создан соответствующий комплекс программ, отработанный на базе данных АО «ИТЦ – НПО ПМ». В настоящее время в АО «ИТЦ – НПО ПМ» осуществляется практическое внедрение алгоритмов формирования однородных групп в общую методологию ДИ.

## Список литературы

- [1] Орлов В. И., Федосов В. В. Качество электронной компонентной базы – залог длительной работоспособности космических аппаратов // Материалы XVII Междунар. науч. конф. «Решетневские чтения». 2013. Т. 1. С. 238–241.
- [2] Субботин В., Стешенко В. Проблемы обеспечения бортовой космической аппаратуры космических аппаратов электронной компонентной базой // Компоненты и технологии. 2011. Вып. 11. С. 10–12.
- [3] Федосов В. В. Комплексный подход к электронной компонентной базе как метод обеспечения длительной работоспособности космических аппаратов // Вестник СибГАУ. 2014. № 5. С. 155–160.
- [4] Данилин Н. С. Информационные технологии и сертификация элементной базы новых российских космических телекоммуникаций : учеб.-метод. пособие. М. : РИО РТА, 2000. 76 с.
- [5] Горлов М., Ануфриев Л., Строгонов А. Отбраковочные технологические испытания как средство повышения надежности партий ИС [Электронный ресурс]. 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).
- [6] Федосов В. В., Патраев В. Е. Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов при применении электрорадиоизделий, прошедших дополнительные отбраковочные испытания в специализированных испытательных технических центрах // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 10. С. 50–55.
- [7] Программа дополнительных испытаний электрорадиоизделий в испытательных технических центрах для обеспечения комплектации бортовой аппаратуры КА по заказам Генерального заказчика. Железногорск, 2008.
- [8] Казаковцев Л. А., Орлов В. И., Ступина А. А., Масич И. С. Задача классификации электронной компонентной базы // Вестник СибГАУ. 2014. № 4 (56). С. 55–61.
- [9] Golovanov S. M., Orlov V. I., Kazakovtsev L. A., Popov A. M. Recursive clustering algorithm based on silhouette criterion maximization for sorting semiconductor devices by homogeneous batches // Material Science and Aerospace Technology. 2019. vol. 537. doi: 10.1088/1757-899X/537/2/022035.
- [10] Орлов В. И., Федосов В. В., Голованов С. М. Применение итеративного алгоритма максимизации критерия силуэта для формирования однородных групп электронной компонентной базы // Материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф. «Решетневские чтения». 2019. Т. 1. С. 366–368.

## USING THE CONCEPTS OF HOMOGENEITY IN ADDITIONAL TESTS OF ELECTRONIC COMPONENTS FOR SPACE APPLICATIONS

**S. M. Golovanov, V. I. Orlov, V. V. Fedosov**

*JSC «Testing Technical Center – NPO PM»,  
Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russian Federation*

*In modern conditions in the Russian Federation the equipment of spacecraft with a highly reliable electronic components is possible only through testing technical centers which act as a*



link between manufacturers of electronic components and their consumers. Given the lack of specialized production of electronic components of the «Space» category in our country, this is the only alternative way. Testing technical centers carry out the formation of batches of electronics for space applications by conducting additional tests of electronic components for general industrial use allowing the rejection of elements containing defects that can manifest themselves during long-term operation in outer space. A modern spacecraft contains about 100–200 thousand electronic components. Taking into account the fact that the on-board equipment of the spacecraft during its operation cannot be repaired, it is obvious that extremely high reliability requirements are imposed on the electronic components of space applications. In this regard the improvement of the methodology for increasing the reliability of the electronic components of space applications is of paramount importance for the further development of the space industry. This article outlines an approach to improving the technology of additional tests in testing technical centers, based on the use of the concepts of homogeneity of the tested batch of electronic components which makes it possible to meaningfully generate samples for destructive physical analysis and radiation resistance tests, as well as to additionally identify emission elements that are potentially unreliable elements.

*Keywords:* electronic components, space application, testing technical center, homogeneity of the batch of elements.

## References

- [1] Orlov V. I., Fedosov V. V. *Kachestvo elektronnoy komponentnoy bazy – zalog dlitelnoy rabotosposobnosti kosmicheskikh apparatov* [The quality of the electronic components is the key to the long-term performance of spacecraft]. Materials of the XVII International Scientific Conference «Reshetnev reading», 2013, vol. 1, pp. 238–241. (In Russian)
- [2] Subbotin V., Steshenko V. *Problemy obespecheniya bortovoy kosmicheskoy apparatury kosmicheskikh apparatov elektronnoy komponentnoy bazoy* [Problems of providing onboard space equipment of spacecraft with an electronic components] // Components and technologies, 2011, issue 11, pp. 10–12. (In Russian)
- [3] Fedosov V. V. *Kompleksnyy podkhod k elektronnoy komponentnoy baze kak metod obespecheniya dlitelnoy rabotosposobnosti kosmicheskikh apparatov* [An integrated approach to an electronic components as a method for ensuring long-term performance of spacecraft] // Bulletin SibSAU, 2014, no. 5, pp. 155–160. (In Russian)
- [4] Danilin N. S. *Informatsionnye tekhnologii i sertifikatsiya elementnoy bazy novykh rossiyskikh kosmicheskikh telekommunikatsiy* [Information technology and certification of the element base of new Russian space telecommunications]. Moscow, RIO RTA, 2000, 76 p. (In Russian)
- [5] Gorlov M., Anufriev L., Strogonov A. *Otbrakovochnye tekhnologicheskie ispytaniya kak sredstvo povysheniya nadezhnosti partiy IS* [Screening technological tests as a means of increasing the reliability of IC lots]. 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) (accessed 30.04.2019). (In Russian)
- [6] Fedosov V. V., Patraev V. E. *Povyshenie nadezhnosti radioelektronnoy apparatury kosmicheskikh apparatov pri primeneniі elektroradioizdeliy, proshedsikh dopolnitelnye otbrakovochnye ispytaniya v spetsializirovannykh ispytatelnykh tekhnicheskikh tseentrakh* [Increasing the reliability of electronic equipments for spacecrafts by using electronic components that have passed additional testing in specialized testing technical centers]. Aerospace Instrument-Making, 2006, no. 10, pp. 50–55. (In Russian)
- [7] *Programma dopolnitelnykh ispytaniy elektroradioizdeliy v ispytatelnykh tekhnicheskikh tseentrakh dlya obespecheniya komplektatsii bortovoy apparatury KA po zakazam Generalnogo zakazchika* [The program of additional tests of electrical radio products in test technical centers to ensure the completing of the spacecraft onboard equipment according to the orders of the General Customer]. Zheleznogorsk, 2008. (In Russian)
- [8] Kazakovtsev L. A., Orlov V. I., Stupina A. A., Masich I. S. *Zadacha klassifikatsii elektronnoy komponentnoy bazy* [The problem of classification of an electronic components] // Bulletin SibSAU, 2014, no. 4 (56), pp. 55–61. (In Russian)
- [9] Golovanov S. M., Orlov V. I., Kazakovtsev L. A., Popov A. M. Recursive clustering algorithm based on silhouette criterion maximization for sorting semiconductor devices by homogeneous batches // Material Science and Aerospace Technology, 2019, vol. 537. doi: 10.1088/1757-899X/537/2/022035.
- [10] Orlov V. I., Fedosov V. V., Golovanov S. M. *Primeneniye iterativnogo algoritma maksimizatsii kriteriya silueta dlya formirovaniya odnorodnykh grupp elektronnoy komponentnoy bazy* [The application of an iterative algorithm of maximization silhouette criteria for the formation of homogeneous groups of electronic components]. Materials of the XXIII International Scientific Conference «Reshetnev reading», 2019, vol. 1, pp. 366–368. (In Russian)

## Сведения об авторах

*Голованов Сергей Михайлович* – ведущий специалист АО «ИТЦ – НПО ПМ». Окончил Алтайский политехнический институт в 1981 году. Область научных интересов: применение математических методов в технологии испытаний изделий электроники.

*Орлов Виктор Иванович* – кандидат технических наук, директор АО «ИТЦ – НПО ПМ». Окончил Красноярский политехнический институт в 1977 году. Область научных интересов: испытания изделий микроэлектроники.

*Федосов Виктор Владимирович* – доктор технических наук, профессор, зам. директора – начальник Испытательного центра АО «ИТЦ – НПО ПМ». Окончил Красноярский политехнический институт в 1971 году. Область научных интересов: разработка алгоритмов и испытания изделий микроэлектроники.