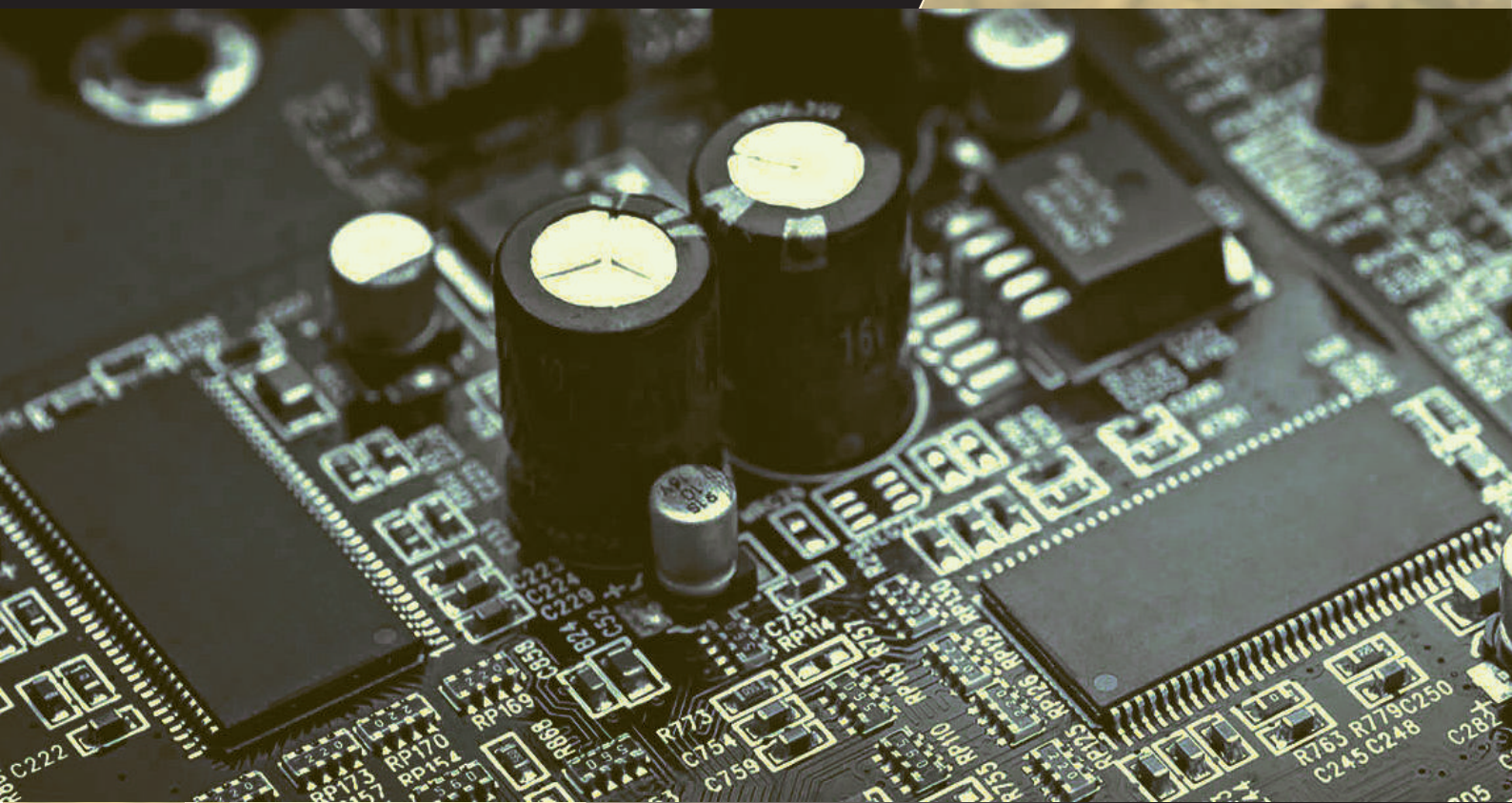


**3**

**2021**

# РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



**научно-технический журнал**

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ  
КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ  
СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ  
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
КОМПЕТЕНТНЫЕ МНЕНИЯ  
ИНФОРМАЦИЯ И АНАЛИТИКА



## ООО «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»

УСПЕШНО РАЗВИВАЮЩАЯСЯ КОМПАНИЯ, ПРЕДЛАГАЮЩАЯ КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ И УСЛУГИ В ОБЛАСТИ ПОСТАВОК ШИРОКОГО СПЕКТРА НОМЕНКЛАТУРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА



КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ КАЧЕСТВА



СВОЕВРЕМЕННОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ГОСОБОРОНЗАКАЗОВ



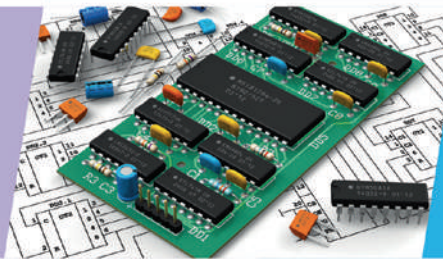
ПОСТАВКА ИНОСТРАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ



СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ Р ИСО 9001-2015 И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ РВ 0015-002-2012



ПОДДЕРЖАНИЕ ШИРОКОГО АССОРТИМЕНТА СКЛАДСКИХ ОСТАТКОВ



ВЫПОЛНЕНИЕ ГАРАНТИЙНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ

ВЫСТРОЕННАЯ СИСТЕМА ЛОГИСТИКИ

С ЦЕЛЮЮ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОСТАВЛЯЕМОЙ ЭКБ ООО «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ» ОСУЩЕСТВЛЯЕТ СОТРУДНИЧЕСТВО С ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ПРОВОДИТЬ СЕРТИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА



ООО «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ» ПРОВОДИТ ПРОВЕРКИ НА ОТСУТСТВИЕ ПРИЗНАКОВ КОНТРАФАКТА С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО АКУСТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА VUE 250-R ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ OKOS. ДАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦИФРОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЯВЛЯТЬ КОНТРАФАКТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ПО ПРИЗНАКАМ, КОТОРЫЕ НЕ МОГУТ БЫТЬ ОПРЕДЕЛЕНЫ С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНА

ЗАКУПКА ЭКБ

ХРАНЕНИЕ ЭКБ

ПОСТАВКА ЭКБ



ООО «Электроснабжение»

Электронная компонентная база  
Закупка, хранение, поставка

Загородний Олег Иванович

Генеральный директор

РФ, 125476, г. Москва,  
ул. Василия Петушкова, д. 8, этаж 4, пом.423  
E-mail: info@elektroasn.ru, buh@elektroasn.ru,  
o.zagorodniy788@mail.ru

Тел.: +7(499) 769-20-49  
Моб. тел.: +7(985) 796-53-52  
+7(916) 788-28-88

www.elektroasn.ru

РО ПиР 3/2021 (Основан в 2021 году)  
 Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-80418 от 09 февраля 2021 г.  
 Материалы журнала размещаются на сайте Научной электронной библиотеки и включаются в национальную информационно-аналитическую систему РИНЦ.

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.В. Шпак, кандидат экономических наук  
 К.И. Сучков, директор ФГУП «МНИИРИП»  
 С.И. Боков, доктор экономических наук  
 А.В. Брыкин, доктор экономических наук  
 В.М. Исаев, доктор технических наук  
 Г.Я. Красников, академик РАН  
 А.С. Сигов, академик РАН  
 А.А. Рахманов, доктор технических наук  
 В.А. Телец, доктор технических наук  
 С.В. Щербаков, кандидат технических наук

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

О.Ю. Булгаков, заслуженный работник связи РФ, кандидат военных наук

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.С. Афанасьев, кандидат технических наук  
 В.В. Быканов, кандидат технических наук  
 О.Ю. Гора, корректура  
 Н.В. Ершова, советник директора ФГУП «МНИИРИП»  
 М.А. Захарова, член Союза журналистов РФ  
 А.П. Зверев, кандидат технических наук  
 А.И. Корчагин, кандидат технических наук  
 Р.Г. Левин, кандидат физико-математических наук  
 С.С. Милосердов, кандидат технических наук  
 Д.В. Перов, дизайн и вёрстка  
 С.Б. Подъяпольский, кандидат технических наук  
 Ю.В. Рубцов, генеральный директор АО ЦКБ «Дейтон»  
 Д.А. Руденко, кандидат военных наук  
 Л.А. Фёдорова, академик Академии проблем качества

#### Адрес редакции:

Колпакова ул., д. 2А,  
 г. Мытищи, Московская область, Россия, 141002  
 Тел/факс: +7(495)586-17-21 / +7(495)588-69-61

#### Отпечатано:

Юридический адрес:  
 Колпакова ул., д. 2А,  
 г. Мытищи, Московская область, Россия, 141002  
 Тел/факс: +7(495)586-17-21 / +7(495)588-69-61

Сдано в набор 04.08.2021

Подписано к печати 01.09.2021

Тираж 250 экз.

Редакция не несет ответственности за содержание авторских материалов и достоверности сведений в рекламе

<http://www.mniirip.ru>

<http://www.elsert.ru>

Совместное учреждение и издание **Федерального государственного унитарного предприятия «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов» (ФГУП «МНИИРИП»)** и Автономной некоммерческой организации «**Центр сертификации, обучения и консалтинга «Электронсертифика» (АНО «Электронсертифика»)**. Журнал выпускается при содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ и Российского технологического университета – МИРЭА.

#### СОДЕРЖАНИЕ

##### РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

<i>Сучков К.И., Колядин А.И., Чупринов А.А.</i> Вопросы организации (структурирования) информации по техническим характеристикам электронной компонентной базы _____	2
<i>Бумагин А.В., Лопатин А.А.</i> Синтез компенсатора искажений частотных характеристик аналогового тракта многоканального помехоустойчивого приемника навигационных сигналов _____	5
<i>Серадзинов А.П., Погосов Г.С., Подъяпольский Б.С., Злобин И.С.</i> Контроль содержания паров воды в подкорпусном пространстве интегральных микросхем, многокристалльных модулей и микросборок, исследование основных проблем и путей их решения _____	8

##### КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ

<i>Бондаренко А.С., Аскерко А.Н., Ковтун А.Ю.</i> Исследование интерметаллидов сварного интерфейса золото-алюминий в полупроводниковых приборах методами сканирующей электронной микроскопии _____	11
<i>Булгаков О.Ю., Терехин К.О., Подъяпольский С.Б., Погосов Г.С.</i> Техническое обеспечение в испытательных лабораториях _____	15

##### СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ

<i>Булгаков О.Ю., Подъяпольский С.Б.</i> Одна из методик оценки качества функционирования СМК поставщиков ЭКБ _____	18
<i>Подъяпольский С.Б., Осипова Е.М.</i> Сертификация систем менеджмента качества как элемент комплексной системы обеспечения качества ЭКБ _____	21

##### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Евстигнеев А.А., Гаврилов В.А.</i> Сравнительный анализ программных средств автоматизации процесса параметрического контроля электронных компонентов _____	24
<i>Лучинин В.В., Бохов О.С., Старцев В.А., Мандрик И.В., Аньчков М.Г., Аскерко А.Н.</i> Каплетруйная печать – новый метод прецизионной микросборки гибридно-интегрированных систем _____	27

##### КОМПЕТЕНТНЫЕ МНЕНИЯ

<i>Плис Н.И.</i> Состояние и перспективы развития отечественной электронной компонентной базы _____	32
<i>Зверев А.П., Исправникова В.А., Озроков И.А.</i> Ферритовые фазовращатели и специальные области их применения _____	34

##### ИНФОРМАЦИЯ И АНАЛИТИКА

<i>Захаров А.С., Сапега А.В.</i> Некоторые рекомендации потребителю ЭКБ ИП из практики подготовки технической экспертизы для арбитражных судов _____	38
--	----

## ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ (СТРУКТУРИРОВАНИЯ) ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

### QUESTIONS OF ORGANIZATION (STRUCTURING) OF INFORMATION ON THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE ELECTRONIC COMPONENT BASE

**Сучков К.И., Колядин А.И., Чупринов А.А.**, к.т.н., ФГУП «МНИИРИП», +7 (495) 586-17-21, kolyadin@gmail.com, toliy1962@list.ru; **Suchkov K.I., Kolyadin A.I., Chuprinov A.A.**, Ph.D. of Engineering Sciences, FSUE «MNIIRIP», +7 (495) 586-17-21, kolyadin@gmail.com, toliy1962@list.ru

В статье рассмотрены и проанализированы вопросы стандартизации терминологии и разработки классификатора технических характеристик электронной компонентной базы.

The article discusses and analyzes the issues of standardization of terminology and the development of a classifier of technical characteristics of the electronic component base.

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, электронная компонентная база, технические характеристики.

**Keywords:** information support, electronic component base, technical characteristics.

#### Введение



Сучков К.И.

Поток технической информации, связанный с фактором, так называемого, информационного взрыва [1, 2], обрушившийся на человечество, давно уже перевалил критический порог. Проектировщик XXI века столкнулся с ситуацией, при которой информации стало настолько много, что даже узкий специалист не в состоянии с ней ознакомиться и ею воспользоваться.

Перечислим наиболее актуальные проблемы, возникшие в связи с фактором информационного взрыва:

- проблема сохранения и передачи знаний между поколениями в научных и инженерных коллективах, специализирующихся в определенных предметных областях (далее – ПрО). Она решается путем передачи (в процессе текущей повседневной работы) опыта от старшего поколения к младшему. Но это возможно только в случае, если такая работа происходит непрерывно и последовательно. Общеизвестны произошедшие «разрывы» в передаче опыта между поколениями многих конструкторских бюро России в 1990-х годах, когда в коллективах старшее поколение уходило, так и не успев передать свой опыт и знания молодым;

- проблема невозможности разработки современных сложных изделий одним человеком. Решается путем вынужденной дифференциации инженерного труда, а именно совместной работы коллектива различных узких специалистов [3]. Каждый из задействованных узких специалистов занимается либо проектированием части изделия, либо выполнением узкоспециальных проектных операций, например, тепловым расчетом какой-либо конструкции изделия;

- проблема нахождения в нужный момент пертинентных [4] решаемой задаче знаний. Решается специалистами (экспертами), обладающими большим объемом знаний в ПрО.

Подход к решению вышеперечисленных проблем видится в «интеллектуализации» систем радиоэлектронной

промышленности России (далее – РЭП) автоматизированного проектирования (далее – САПР) и создании отраслевого объединенного информационного пространства (далее – ОИП), предназначенного для информационного обеспечения процессов управления и разработки, как электронных компонентов, так и радиоэлектронной аппаратуры [5, 6].

Одной из важных задач для формирования ОИП РЭП является задача создания однозначной, актуальной и непротиворечивой информации, описывающей электронные компоненты в информационных массивах профессионального назначения. В данной статье мы рассматриваем и анализируем вопросы, связанные с организацией и структурированием информации по техническим характеристикам (далее – ТХ) или параметрам (величина, характеризующая свойства или режимы работы интегральной микросхемы [7]) электронной компонентной базы (далее – ЭКБ).

#### Описание проблемы и определения

Переход к пятому технологическому укладу, ядром которого являются вычислительная и телекоммуникационная техники, а ключевыми факторами – ЭКБ и программное обеспечение [8, 9], существенно изменил сам процесс разработки новых радиоэлектронных изделий. Появилась необходимость в процессе разработки задействовать новую категорию узких специалистов, занятых обслуживанием, наполнением и настройкой специального программного обеспечения (далее – СПО), которое используется в модулях САПР. Вовлеченность в процесс разработки многочисленных специалистов и модулей САПР, многоступенчатый характер разработки, а также важность информационной поддержки изделия на всем протяжении жизненного цикла привели к необходимости однозначного толкования понятий ПрО и использованию для идентификации и определения этих понятий общепринятой терминологии.



Чупринов А.А.

Очевидно, что без регламентации и фиксации терминологии невозможно формализовать и идентифицировать процессы разработки изделий и запрограммировать в СПО процессы, связанные с информационным обеспечением.

С этой проблемой вплотную столкнулись в ФГУП «МНИИРИП» при эксплуатации базы данных (далее – БД) ЭКБ, которую (в настоящий момент) используют более 160 организаций РЭП. Прежде всего, это касается ТХ ЭКБ, которых сейчас в БД ЭКБ более 1500 наименований, а фактическое количество ТХ ЭКБ на порядок больше. «ГОСТИрование» терминов по ТХ ЭКБ просто не успевает за развитием этого ключевого фактора пятого технологического уклада. Неоднозначность и разнообразие трактовок только наименований ТХ серьезно осложняет работу по расширению их количества в БД ЭКБ и созданию ОИП РЭП. Например, ТХ цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей (далее – ЦАП и АЦП) с наименованием «Нелинейность» имеет следующее определение [10]: «Отклонение от установленной прямой линии характеристики преобразования, % или единица младшего значащего разряда».

На практике используются следующие наименования этой ТХ:

- нелинейность [11, 12];
- нелинейность цифро-аналоговых преобразователей [10];
- нелинейность аналого-цифровых преобразователей [10];
- нелинейность ЦАП (АЦП) – термин, часто употребляемый в технических условиях (далее – ТУ);
- интегральная нелинейность – термин заимствован из зарубежных стандартов (Integral Non-Linearity) и часто применяется в ТУ.

Все данные наименования являются синонимами. Для проектировщика, которому необходимо разработать радиоэлектронную аппаратуру (далее – РЭА) с заданными в техническом задании (далее – ТЗ) ТХ, требуются ЭКБ с соответствующими ТХ. Чтобы найти все АЦП и/или ЦАП в БД ЭКБ, удовлетворяющие заданным в ТЗ значениям «Нелинейности», компьютер должен «знать» все синонимичные наименования этой ТХ и по всем провести поиск. Используя исчисление предикатов первого порядка [13] (предикат – это конструкция вида  $P(t_1, t_2, \dots, t_n)$ , выражающая какую-то связь между объектами  $t$  или свойствами объектов), формализуем условие осуществления поиска в БД.

Программа осуществляет поиск, если значение следующей правильно построенной формулы (далее – ППФ) является «истинным»:

$$P(x, c1) \vee P(x, c2) \vee P(x, c3) \vee P(x, c4) \vee P(x, c5) \vee (x, c6),$$

где:

$P$  – предикат «Совпадает»;

$x$  – переменная с наименованием ТХ;

$c1$  – константа со значением «Нелинейность»;

$c2$  – константа со значением «Нелинейность цифро-аналоговых преобразователей»;

$c3$  – константа со значением «Нелинейность аналого-цифровых преобразователей»;

$c4$  – константа со значением «Нелинейность ЦАП»;

$c5$  – константа со значением «Нелинейность АЦП»;

$c6$  – константа со значением «Интегральная нелинейность».

Если какой-либо из синонимов в ППФ будет отсутствовать, весьма вероятно, что компьютерный поиск по ТХ «Нелинейность» даст не все ЭКБ с заданной величиной этой ТХ. Поэтому еще «на берегу» важно договориться о смысле используемых терминов, что они идентифицируют, что включают в себя, в чем измеряются, каково их содержание и какие синонимы используются в практике делового оборота. К сожалению, в настоящее время по ТХ ЭКБ нет таких исчерпывающих «договоренностей» и, несмотря на десятки и десятки ГОСТ и ОСТ, нет общеупотребительного классификатора ТХ ЭКБ. Более того, можно привести многочисленные примеры, когда синонимичность некоторых наименований ТХ ЭКБ подтверждается ГОСТ и множеством примеров использования ТХ в ТУ, как отсутствующих, так и имеющихся в ГОСТ и ОСТ, но с наименованиями, отличающимися от «ГОСТИрованных». Сами процедуры разработки таких договоренностей по терминологии описаны и стандартизированы в ГОСТ по российскому открытому словарю [14]. Правила разработки, ведения, изменения и применения общероссийских классификаторов установлены постановлением Правительства РФ [15]. Казалось бы, дело за малым, известно, что и как надо сделать, просто надо это сделать и применять на практике в информационных ресурсах по ЭКБ, руководствуясь установленными правилами, но...

Зная, «что делать», попробуем ответить на вопрос «кто виноват», то есть почему до сих пор отсутствует какой-либо общепринятый (лучше всего общероссийский) классификатор ТХ ЭКБ, что, без сомнения, негативно сказывается на информационном обеспечении разработки РЭА и объединении информационных ресурсов РЭП. С проблемой практического объединения информационных ресурсов по ЭКБ во ФГУП «МНИИРИП» столкнулись при попытке объединить две системы, содержащие достаточно много данных по ЭКБ:

- БД ЭКБ существует уже более 5 лет и содержит многократно выверенные данные по номенклатуре ЭКБ, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) [16];

- «ЭКБ Маркет», СПО с функциональностью торгово-маркетинговой площадки по ЭКБ отечественного происхождения. Данные в систему заносятся при помощи организаций, ответственных за разработку и/или производство ЭКБ.

Попытка объединения больших массивов данных по ЭКБ, хранящихся в этих системах, в одну базу данных не удалась по причинам, которые были описаны выше.

Перечислим проблемы, затрудняющие решение задачи по разработке терминологического словаря и классификатора ТХ ЭКБ:

- широкая практика использования синонимичных наименований ТХ, в том числе «ГОСТИрованных»;

- большое количество ТХ, введенных разработчиками самостоятельно и не имеющих «ГОСТИрованного» подтверждения. Определения этих ТХ, как правило, даются в ТУ на ЭКБ;

- большое количество синонимов ТХ ЭКБ, применяемых на практике, что в результате приводит к большой трудоемкости работы;

- недостаточное количество ТХ, описывающих электронные компоненты в Перечне ЭКБ (документ, устанавливающий номенклатуру ЭКБ, разрешенную для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации

всех видов ВВСТ [17]), позволяющих идентифицировать их при выборе для проектирования изделий РЭА для ВВСТ.

### Результаты

Во ФГУП «МНИИРИП» в инициативном порядке проводится работа по терминологии и классификации ТХ ЭКБ в части 2 (Микросхемы интегральные) отраслевого классификатора ЭКБ, применяемого для формирования Перечня ЭКБ. По части 2 отраслевого классификатора ЭКБ разрабатывается два документа:

1) Спецификации декларативных знаний по ТХ ЭКБ, содержащие:

- классификатор ТХ ЭКБ;
- эталонные наименования ТХ ЭКБ с перечнем применяемых на практике синонимов;
- определения ТХ ЭКБ со ссылками на нормативные документы (далее – НД);
- единицы измерения ТХ ЭКБ;
- квалификаторы измерения ТХ ЭКБ;
- возможные значения для данных типа «список»;
- другие атрибуты ТХ ЭКБ, необходимые для цифровизации процессов работы с ними;

2) Технические характеристики электронной компонентной базы, содержащие:

- классификационные признаки группы/подгруппы отраслевого классификатора ЭКБ, используемого в документе – Перечень ЭКБ;
- списки ТХ ЭКБ, которые используются в каждой корневой подгруппе классификатора ЭКБ;
- другие атрибуты ТХ ЭКБ, необходимые для цифровизации процессов работы с ними.

В данных документах отражена информация по 172 ТХ ЭКБ. Это начало весьма трудоемкой и кропотливой работы по созданию общероссийского классификатора ТХ ЭКБ, который должен быть по закону обязательным к применению в информационных ресурсах государственных и муни-

ципальных информационных систем при межведомственном информационном взаимодействии [14].

### Выводы

Сформулируем основные выводы по представленным выше материалам:

1. В настоящее время нет общепринятых терминологического словаря и отраслевого (или общероссийского) классификатора ТХ ЭКБ, что создает труднопреодолимые препятствия для цифровизации информационных ресурсов и создания ОИП РЭП, а также качественной информационной поддержки процессов управления и разработки в отрасли. Кроме того, наличие терминологического словаря и классификатора позволит облегчить и упорядочить процессы формирования ТЗ и ТУ для заказчиков и разработчиков ЭКБ и РЭА.

2. При разработке терминологического словаря и классификатора ТХ ЭКБ необходимо создать библиотеку определений, эталонных наименований ТХ ЭКБ и их синонимов, используемых в практике делового оборота. Необходима разработка детальных спецификаций каждой группы классификатора Перечня ЭКБ, включающих классификационные признаки и описания групп, а также списки ТХ ЭКБ, относящиеся к ним.

3. Во ФГУП «МНИИРИП» в инициативном порядке начата работа по формированию НД, содержащих и фиксирующих декларативные знания по ТХ ЭКБ.

Подобная работа весьма трудоемка. Разработка и поддержка актуальности НД по ТХ ЭКБ по всем 22 частям Перечня ЭКБ, в случае ее продолжения в инициативном порядке, может растянуться на достаточно большой период времени. На наш взгляд, для скорейшего решения обсуждаемой актуальной отраслевой задачи необходима официальная постановка серии НИОКР, предусматривающих разработку терминологического словаря и отраслевого (а лучше общероссийского) классификатора ТХ ЭКБ.

### Литература:

1. «Информационный взрыв» – угроза будущему цивилизации – URL: [http://paranormal-news.ru/news/informacionnyj\\_vzryv\\_ugroza\\_budushhemu\\_civilizacii/2013-01-28-6143](http://paranormal-news.ru/news/informacionnyj_vzryv_ugroza_budushhemu_civilizacii/2013-01-28-6143) (дата обращения: 14.10.2019).
2. Петрович Н.Т. Люди и биты. Информационный взрыв: что он несет. – Москва: Знание, 1986. – 110 с.
3. Головицына М.В. Проектирование радиоэлектронных средств на основе современных информационных технологий: учебное пособие. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 503 с.
4. ГОСТ 7.73–96 СИБИД. Поиск и распространение информации. Термины и определения.
5. Алексеев В.В., Боков С.И., Колядин А.И., Чупринов А.А. Использование баз знаний в системах автоматизированного проектирования. – Наноиндустрия. 2019. – № 5 (89). – С. 399–403.
6. Алексеев В.В., Колядин А.И., Чупринов А.А. Система интеллектуальной поддержки проектировщика на базе объединенного информационного пространства (ОИП) // Наноиндустрия. – 2019. – № 5 (89). – С. 342–343.
7. ГОСТ 19480–89. Микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров.
8. Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. – М.: ВладДар, 1993. – 310 с.
9. Глазьев С.Ю. Мировой экономический кризис как процесс смены технологических укладов. – «Вопросы экономики». – № 3. – Март 2009. – С. 26–38.
10. ГОСТ 24736–81. Преобразователи интегральные цифро-аналоговые и аналого-цифровые. Основные параметры.
11. ГОСТ 29109–91. Приборы полупроводниковые. Микросхемы интегральные. Часть 4. Интерфейсные интегральные схемы.
12. ГОСТ Р 55893–2013. Микросхемы интегральные. Основные параметры.
13. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. – Пер. с англ. – Москва: Издательство «Наука», 1971. – 320 с.
14. ГОСТ Р ИСО 22745–1–2013. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Открытые технические словари и их применение к основным данным. Часть 1. Общие сведения и основополагающие принципы.

15. Постановление Правительства РФ от 7 июня 2019 г. № 733 «Об общероссийских классификаторах технико-экономической и социальной информации».

16. Сайт ФГУП «МНИИРИП» – URL: <https://mniirip.ru/node/1798> (дата обращения: 25.02.2021). В статье рассмотрены и проанализированы вопросы стандартизации терминологии и разработки классификатора технических характеристик электронной компонентной базы.

17. РЭК 05.001–2015. Положение о Перечне электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники.

УДК 004.728.3.057

## СИНТЕЗ КОМПЕНСАТОРА ИСКАЖЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛОГОВОГО ТРАКТА МНОГОКАНАЛЬНОГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО ПРИЕМНИКА НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

### THE ESTIMATION AND EQUALIZATION ALGORITHM DESIGN FOR RADIO CHANNELS OF A MULTICHANNEL JAMMINGFREE NAVIGATION RECEIVER

**Бумагин А.В.**, к.т.н., **Лопатин А.А.**, филиал АО «ОРКК» – «НИИ КП», +7 (916) 383-3787, [bumagin\\_av@orkkniikp.ru](mailto:bumagin_av@orkkniikp.ru);  
**Bumagin A.V.**, Ph.D. of Engineering Sciences, **Lopatin A.A.**, JSC «URSC» – «НИИ КП», +7 (916) 383-3787, [bumagin\\_av@orkkniikp.ru](mailto:bumagin_av@orkkniikp.ru)

В статье представлены результаты реализации и исследования алгоритма компенсации частотных характеристик радиочастотного тракта с целью последующего применения этого алгоритма в помехоустойчивом приемнике спутниковых навигационных сигналов.

This article presents the results of the channel estimation and equalization algorithm design for use in jammingfree navigation receiver.

**Ключевые слова:** компенсатор искажений частотных характеристик, радиочастотный тракт, помехоустойчивый навигационный приемник.

**Keywords:** equalizer, RF-frontend, jammingfree navigation receiver.



Бумагин А.В.

Одним из актуальных направлений современного приборостроения является построение помехоустойчивой радиоприемной аппаратуры спутниковых навигационных сигналов.

Для обеспечения пространственной помехоустойчивости широко применяются адаптивные компенсаторы помех.

Для практического достижения максимального коэффициента подавления помех в помехоустойчивых навигационных приемниках требуется обеспечить идентичность задержек и частотных характеристик каналов радиочастотного тракта, в том числе в широком диапазоне температур.

Способами аналоговой схемотехники обеспечить данное свойство затруднительно. Однако выравнивание частотных характеристик может быть реализовано методами цифровой обработки сигналов за счет постфильтрации сигналов на выходе АЦП.

Настоящая статья посвящена реализации алгоритма компенсации искажений частотных характеристик каналов радиочастотного тракта и его апробация на основе систем на кристалле (СНК), применяемых в составе помехоустойчивой навигационной аппаратуры.

Алгоритм разрабатывался на основе следующих исходных данных:

1. Частота дискретизации – 100 МГц.

2. Ширина полосы пропускания радиочастотного тракта – 50 МГц.

3. Искажения частотных характеристик радиочастотного тракта аппроксимируются БИХ-фильтром третьего порядка.

4. Максимальные отклонения АЧХ радиочастотного тракта составляют величину  $\pm 3.0$  дБ; максимальное отклонение ФЧХ –  $\pm 30$ .

5. Количество каналов радиочастотного тракта – 7.

6. Мощность сигналов во всех каналах аналогового тракта одинакова.

Следует также отметить, что в навигационной аппаратуре, в составе которой предполагалось реализовать рассматриваемый алгоритм, для обработки сигналов использована СНК, включающая процессорные ядра и программируемую логику. Вычислительные ресурсы первых в упомянутой аппаратуре практически полностью задействованы для решения задачи пространственно-временной обработки сигналов, в то время как программируемая логика задействована незначительно (данное ограничение являлось определяющим при выборе метода компенсации искажений частотных характеристик).

Для определения потенциально достижимых рабочих характеристик компенсатора, занимаемых им аппаратных и вычислительных ресурсов, а также расчета параметров,



Лопатин А.А.

выполнялись синтез и моделирование алгоритма в среде Matlab, по результатам чего выполнялась реализация алгоритма в СпК.

На основе анализа исходных данных для решения задачи компенсации искажений в радиочастотных трактах целесообразно использование КИХ-фильтров, в силу того, что для последующей обработки требуется сохранить линейность трактов в широком диапазоне условий применения.

Таким образом, решаемая задача сводится к оценке параметров цифровых КИХ-фильтров с фиксированным количеством отсчетов импульсной характеристики, компенсирующих частотные искажения в радиочастотных трактах-оценке параметров каналов.

Известны различные методы оценки частотных характеристик каналов [1–3]. Каждый из них обладает достоинствами и недостатками.

Для решения задачи компенсации искажений в радиочастотных трактах навигационной аппаратуры в настоящей статье рассмотрены два широко известных алгоритма.

В первом из них (условно назовем его А1) для вычисления коэффициентов КИХ-фильтров используется обращение корреляционной матрицы дискретных отсчетов входного сигнала [1–5]:

$$W = R_{xx}^{-1}r_{yx},$$

где:

$W$  – коэффициенты компенсирующего КИХ-фильтра,  
 $R_{xx}^{-1}$  – автокорреляционная матрица входного сигнала  $X$ ,  
 $r_{yx}$  – кросскорреляционный вектор входного опорного (эталонного) сигнала  $Y$  и входного сигнала  $X$ .

Применительно к решаемой задаче выборки дискретных отсчетов  $Y$  и  $X$  снимаются с АЦП на выходах радиочастотных трактов, соответственно опорного и компенсационных каналов навигационной аппаратуры, при воздействии на входы антенной решетки иницирующего сигнала, например, белого гауссовского шума (обязательным является требование, чтобы спектральная характеристика последнего занимала полосу радиочастотного тракта, в котором компенсируются искажения).

Во втором алгоритме (условно назовем его А2) коэффициенты компенсирующего КИХ-фильтра  $W$  формируются путем усечения вектора  $W1$  [1, 4], где

$$W1 = IFFT \left( \frac{\sum kFFT(Y)}{\sum kFFT(X)} \right) \quad (1),$$

где:

$FFT$  – преобразование Фурье;  
 $IFFT$  – обратное преобразование Фурье,  
 $\sum k(\cdot)$  – суммирование (накопление) результатов  $FFT$  по  $k$  реализациям.

С теоретической точки зрения [1, 4], от алгоритма А1 можно ожидать более точную оценку частотной характеристики радиоканала, чем от А2, в присутствии помех, создаваемых тепловыми шумами радиочастотных трактов.

С другой стороны, реализация алгоритма А1 требует обращения корреляционной матрицы. При плохой обусловленности последней данная процедура производится, как правило, рекуррентным способом, который для достижения высокой точности представления искомым коэффициентов фильтров при больших размерностях корреляционной матрицы потребует существенных вычислительных затрат.

В то время как алгоритм А2 благодаря простоте и фиксированности количества выполняемых операций в преобразованиях  $FFT/IFFT$  эффективно реализуется на программируемой логике.

Рабочие характеристики, рассмотренных алгоритмов, получены с применением математического моделирования в среде Matlab.

В каждом эксперименте моделировалось 7 каналов с различными частотными характеристиками (вида фильтров высокой частоты, низкой частоты, полосовых и режекторных).

Критерием качества компенсации являлось отношение мощности сигнала ошибки компенсации к мощности опорного сигнала  $Y$ . Мощность сигнала ошибки компенсации определялась как максимизированная по всем компенсационным каналам мощность разности сигналов: опорного  $Y$  и сигнала на выходах компенсирующих фильтров каждого из 6 компенсационных каналов. Длина реализации входных сигналов составляла 102400 дискретных отсчетов (последующее моделирование показало, что такой длины реализации достаточно для получения оценок качества компенсации с погрешностью не хуже  $\pm 0.5$  дБ).

В результате проведенного моделирования было установлено, что параметрами алгоритмов А1 и А2, дающими результат, близкий к оптимальному, являются: длина основания  $FFT/IFFT$  – 1024; длина компенсирующего КИХ-фильтра – 15. Моделирование выполнялось с учетом теплового шума радиочастотных трактов (отношение сигнал/шум  $\sim 30$  дБ).

Таблица 1  
Сравнение алгоритмов А1 и А2 по качеству компенсации

Алгоритм	Длина компенсирующего фильтра	Мощность ошибки/мощность сигнала дБ
А1	15	-27,3
А2	7	-19,7
А2	11	-24,3
А2	15	-26,9

Из значений, приведенных в таблице 1, видно, что при указанных выше условиях качество компенсации у обоих рассматриваемых алгоритмов примерно одинаково и составляет приблизительно -27 дБ.

Следует отметить, что в отличие от алгоритма А1, в алгоритме А2 увеличение длины компенсирующего фильтра практически не приводит к увеличению вычислительных затрат. Однако увеличение последней не дает ощутимого выигрыша в качестве компенсации.

На рис. 1 показана разность спектров мощности опорного и компенсируемого каналов. Представлен один канал из шести с наибольшим расхождением амплитудно-частотных характеристик.

На рис. 2 показана разность фазовых спектров опорного и компенсируемого каналов до (синий) и после (красный) компенсации. Представлен один канал из шести с наибольшим расхождением фазо-частотных характеристик.



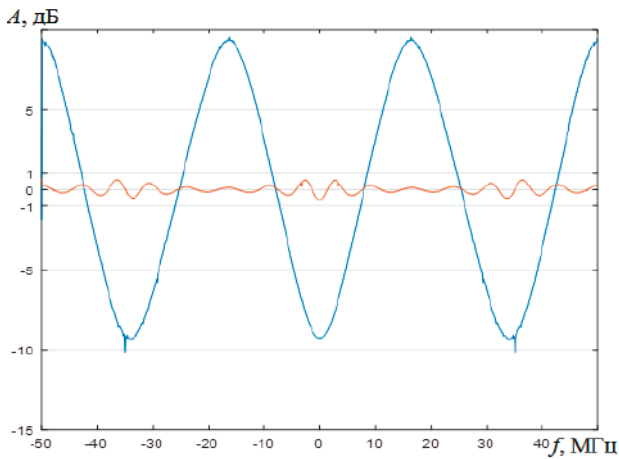


Рис. 1. Разность спектров мощности опорного и компенсируемого каналов до (синий) и после компенсации (красный)

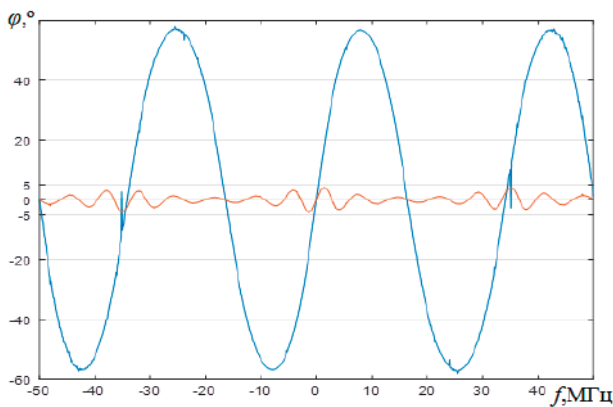


Рис. 2. Разность фазовых спектров опорного и компенсируемого каналов до (синий) и после компенсации (красный)

Учитывая полученные рабочие характеристики и эффективность аппаратной реализации в условиях решаемой задачи, для построения компенсатора искажений в радиочастотных трактах навигационной аппаратуры в настоящей работе отдано предпочтение алгоритму А2.

Реализация рассматриваемого алгоритма была выполнена на СМК фирмы Xilinx семейства ZINQ Z045.

На рис. 3 в качестве примера представлена структурная схема блока фильтров из состава компенсатора искажений в среде Vivado. Для реализации блоков FFT/IFFT использованы стандартные сложно функциональные блоки от Xilinx.

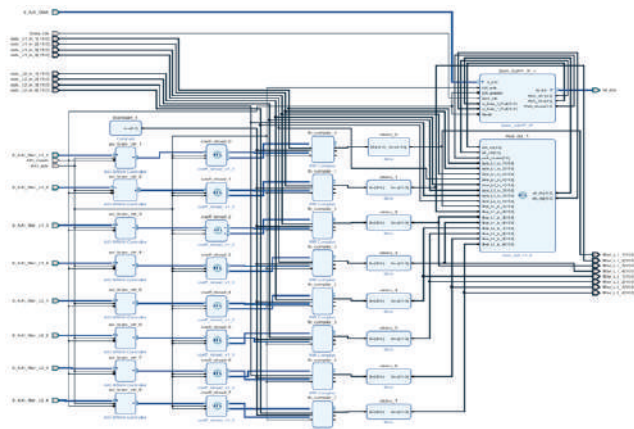


Рис. 3. Структурная схема компенсирующих фильтров в среде Vivado

Блоки FFT/IFFT и компенсирующих фильтров выполнены на программируемой логике. Вычисление коэффициентов в соответствии с выражением (1), а также их загрузка в блок фильтров выполняется на одном из идентичных процессорных ядер, интегрированных в рассматриваемую СМК.

В таблице 2 представлены ресурсы ПЛИС, задействованные для реализации блока компенсирующих фильтров.

Таблица 2  
Ресурсы ПЛИС Xilinx семейства ZINQ Z045, задействованные для реализации компенсирующих фильтров

Slice LUTs	Slice Registers	F7 Muxes	F8 Muxes	Slice	LUT as Logic	LUT as Memory	Block RAM Tile	DSPs
9631 из 218600	18163 из 437200	1600 из 109300	32 из 54650	6166 из 54650	6565 из 218600	3066 из 70400	145 из 545	120 из 900

Таким образом, в результате решения поставленной задачи были получены следующие результаты:

1) В качестве алгоритма компенсации искажений в радиочастотных трактах выбран алгоритм вычисления коэффициентов компенсирующих фильтров в частотной области, основанный на преобразованиях Фурье, наиболее эффективный с точки зрения аппаратной реализации в рассматриваемой навигационной аппаратуре.

2) В результате проведенного моделирования были получены параметры и рабочие характеристики алгоритма: длина основания FFT/IFFT – 1024; длина компенсирующего КИХ-фильтра – 15; отношение мощности ошибки компенсации к мощности сигнала составило приблизительно минус 27,0 дБ.

3) Выполнена реализация и тестирование работоспособности полученного алгоритма на СМК фирмы Xilinx семейства ZINQ Z045.

В перспективе предполагается провести исследования влияния вида иницирующего воздействия на качество компенсации, а также апробация предложенной реализации алгоритма в составе помехоустойчивой спутниковой навигационной аппаратуры.

#### Литература:

- Vaseghi S. Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction. – John Wiley & Sons. – 2006. – 453 p.
- Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. – Москва: Техносфера, 2013. – 528 с.
- Haykin S. Authorized adaptation from the United States edition, entitled Adaptive Filter Theory, 5th edition, ISBN 978-0-132-67145-3, by Simon Haykin, published by Pearson Education © 2014 – 907 p.
- Аверина Л.И., Каменцев О.К., Лафицкий А.Ю., Чаркин Д.Ю. Повышение помехоустойчивости системы связи на одной несущей в условиях многолучевого распространения // ВЕСТНИК ВГУ. СЕРИЯ: ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА. – 2018. – № 2. – С. 5–13.
- Пустовалов Е.В. Итеративный эквалайзер в частотной области с адаптивной оценкой канала // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 2. – С. 57–65.

## КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ ПАРОВ ВОДЫ В ПОДКОРПУСНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ, МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ И МИКРОСБОРОК, ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ И ПУТЕЙ ИХ РЕШЕНИЯ

### CONTROL OF THE CONTENT OF WATER IN INTEGRATED MICROCHIPS MODULES AND MICRO-ASSEMBLIES, RESEARCH OF BASIC PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS WAYS OF THEIR SOLUTION

**Серадзинов А.П.**, ФГУП «МНИИРИП», +7(495)586-17-21, seradzinov@mniirip.ru; **Погосов Г.С.**, АО «РАДИАНТ-ЭК», +7(916)128-48-34, grachya.pogosov@ranet.ru; **Подъяпольский Б.С., Злобин И.С.**, ФГУП «МНИИРИП», +7(495)586-17-21, pbs@mniirip.ru, zlobin@mniirip.ru

**Seradzinov A.P.**, FSUE «MNIIRIP», +7(495)586-17-21, seradzinov@mniirip.ru; **Pogosov G.S.**, JSC «RADIANT-EC», +7(916)128-48-34, grachya.pogosov@ranet.ru; **Podyapolsky B.S., Zlobin I.S.**, FSUE «MNIIRIP», +7(495)586-17-21, pbs@mniirip.ru, zlobin@mniirip.ru

Статья посвящена проблематике проведения испытаний по определению концентрации паров воды внутри корпусов интегральных микросхем, многокристальных модулей и микросборок. В статье проведен глубокий анализ существующих проблем. На их основании была поставлена научно-исследовательская работа «Влага». Ее результатами являются определенные концепции и методологии, придерживаясь которых можно решить проблемы, существующие в стране уже более двадцати лет.

The article is devoted to the problems of testing to determine the concentration of water vapor inside the cases of integrated microcircuits, multichip modules and microassemblies. The article provides a deep analysis of existing problems. On their basis, the research work «Moisture» was carried out. Its results are certain concepts and methodologies, adhering to which it is possible to solve the problems that have existed in the country for more than twenty years.

**Ключевые слова:** концентрация паров воды, объемный процент, интегральная микросхема, метод, повторяемость результатов испытаний.

**Keywords:** concentration of water vapor, volume percentage, integrated circuit, method, repeatability of test results.



Серадзинов А.П.

Для интегральных микросхем, многокристальных модулей и микросборок (далее – ИМС) крайне важным является определение концентрации паров воды внутри их корпусов, повышенное значение которой негативно влияет на показатели безотказности и сохраняемости компонентов и аппаратуры.

В связи с этим в ОТУ на ИМС (ОСТ 11 0998–99 и ОСТ В 11 1009–2001) установлены жесткие требования о необходимости проведения данных испытаний в составе квалификационных, приемо-сдаточных и периодических испытаний ИМС. В настоящее время в ИЛ (ИЦ) РФ для проведения испытаний по контролю содержания паров воды внутри корпусов ИМС в соответствии с методом 222–1 ГОСТ РВ 5962–004.1–2012 и методом 222–1 ОСТ 11 073.013–2008 применяют два типа анализаторов влажности: МКМ–1 (средство измерений) и ДМТ–МСП1(EDA–407) (испытательное оборудование).

При проведении данных испытаний в различных организациях неоднократно были получены существенно отличающиеся результаты.

Также существенные расхождения в результатах возникали при проведении испытаний на одном и том же типе анализаторов влажности.

Описанная выше проблема существует с момента проведения таких испытаний и не решена до настоящего времени. Это повышает риски выхода из строя конечных образцов вооружения военной и специальной техники, а также радиоэлектронной аппаратуры, планируемой к применению в космических аппаратах. Поскольку наличие влаги в подкорпус-

ном пространстве ИМС может привести к коррозии металлизации на кристалле.

Отказы ИМС, вызванные воздействием повышенного содержания паров воды внутри их корпусов, составляют 25 % от общего числа для гибридных ИС и 60–80 % - для ИС в металлостеклянных и металлокерамических корпусах [1].

Источники влаги в подкорпусном объеме ИС разделяют на две группы: внутренние и внешние [2]. К первым относят материалы ИС, непосредственно контактирующие с атмосферой объема корпуса и выделяющие влагу (клей, припой), а также поры и микронеровности керамики и металлических покрытий. К внешним источникам относят влагу, натекающую в ИС из окружающей среды через сквозные микротрещины или поры.

Допустимое значение концентрации паров воды внутри корпусов ИМС в соответствии с ОСТ 11 0998–99, ОСТ В 11 1009 не должно превышать 0,5 объемного процента при 100 °С или 5000 ppm. Объемный процент [об. %] – объемная концентрация газа в смеси газов (в воздухе). Миллионная доля [ppm] – единица измерения относительных величин, равная  $1 \cdot 10^{-6}$  от базового показателя. Используется при измерении малых концентраций того или иного газа в воздухе.

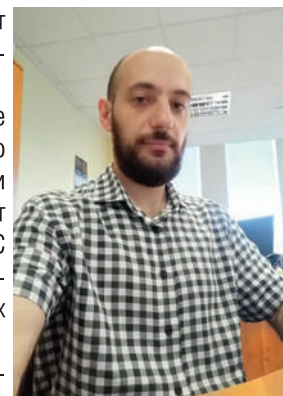
$$100\% \times 1 \cdot 10^{-6} = 0,0001\% = 1 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ об. \%} = 10000 \text{ ppm},$$

где:

Объемный процент [об. %] – объемная концентрация газа в смеси газов (в воздухе);

Миллионная доля [ppm] – единица измерения относительных величин, равная  $1 \cdot 10^{-6}$  от базового показателя.



Погосов Г.С.



Подьяпольский Б.С.

В качестве первого частного примера может послужить расхождение в полученных результатах испытаний изделий, принадлежащих одной партии, возникшее в двух независимых ИЛ (Ц), аккредитованных в СДС «Электронсерт»: ИЦ ФГУП «МНИИРИП» (дата проведения испытаний 21.02.2019 г.) и ИЛ АО «НПЦ ЭлТест» (дата проведения испытаний 06.12.2018 г.).

Результаты, испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

ИЛ(Ц)	Концентрация паров воды, об. %	
	Микросхема № 1	Микросхема № 2
АО «НПЦ ЭлТест»	0,15	0,22
ФГУП «МНИИРИП»	1,25	1,45

В качестве второго частного примера может послужить расхождение в полученных результатах, возникшее в трех независимых ИЛ (Ц): АО «ИТЦ – НПО ПМ» (дата проведения испытаний 05.07.2019 г.), ИЛ АО «НИИЭТ» (дата проведения испытаний 25.02.2019 г.) и ИЦ ООО «ИРЗ ТЕСТ» (дата проведения испытаний 01.03.2019 г.).

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

ИЛ(Ц)	Концентрация паров воды, об. %	
	Микросхема № 1	Микросхема № 2
АО «ИТЦ – НПО ПМ»	1,1	–
АО «НИИЭТ»	0,01	0,01
ООО «ИРЗ ТЕСТ»	0,01	0,02

В данных примерах испытания проводились на однопартийных ИМС с идентичной датой выпуска, выпущенных в рамках единого технологического процесса.

На наш взгляд, основными причинами возникновения подобных ситуаций являются:

- человеческий фактор, а именно нарушение методики проведения испытаний в соответствии с нормативно-технической документацией и руководствами по эксплуатации на МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407;
- различный, не унифицированный подход в проведении испытаний;
- нарушение технологического процесса изготовления ИМС.

Для решения данных проблем и во избежание повторения неоднозначности результатов испытаний ИМС, принадлежащих одной партии и выпущенных в рамках единого технологического процесса, была поставлена научно-исследовательская работа, шифр «Влага» (далее – «НИР «Влага»).

Целью выполнения НИР «Влага» является обеспечение методологической идентичности, достоверности и повторяемости результатов испытаний по контролю содержания паров воды внутри корпуса ИМС, проводимых на анализаторах влажности МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407X [3].

В ходе выполнения НИР «Влага» решены следующие задачи:

- проведен анализ существующих методик испытаний на анализаторах влажности МКМ-1 и ДМТ-МСР (EDA-407), определены их недостатки.

- разработаны проекты типовых методик проведения испытаний по контролю содержания паров воды внутри корпусов ИМС, содержащие единый методологический подход проведения испытаний на анализаторах влажности МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407;

- проведена метрологическая экспертиза проектов типовых

методик испытаний;

- проведены сличительные испытания ИМС в количестве 48 шт. на МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407 в различных ИЛ (Ц), аккредитованных в СДС «Электронсерт»;

- проведен анализ и обобщение результатов испытаний по контролю содержания паров воды внутри корпуса микросхем, полученных на МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407;

- утверждены ФГУП «МНИИРИП» и согласованы АО «Российские космические системы» типовые методики испытаний ИМС на МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407;

- внедрены типовые методики испытаний ИМС на МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407 путем проведения дополнительных испытаний на анализаторах влажности МКМ-1 и EDA-407;

- разработан и введен в действие приказом директора ФГУП «МНИИРИП» стандарт организации СМК.044-2021 «Электронная компонентная база. Контроль содержания паров воды внутри корпусов ИМС»;

- подготовлен проект технического задания на научно-исследовательскую работу по определению ключевых операций, в наибольшей степени влияющих на содержание паров воды внутри корпусов ИМС, применяемых для комплектования бортовой аппаратуры космических аппаратов, и разработке предложений по путям совершенствования технологических процессов и методов операционного контроля с целью снижения концентрации паров воды внутри корпусов ИМС.

Для решения ряда задач, стоящих во главе НИР «Влага», были разработаны две типовые методики проведения испытаний для имеющихся двух типов оборудования МКМ-1 и ДМТ-МСР/EDA-407, а также привлечены шесть ИЛ (Ц), имеющих анализаторы влажности:

- ФГУП «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов» (МКМ-1);
- АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» (МКМ-1);
- АО «Светлана-Полупроводники» (МКМ-1);
- АО «Российские космические системы» (ДМТ-МСР/EDA-407);

- АО «Научно-исследовательский институт электронной техники» (ДМТ-МСР/EDA-407);

- АО «РНИИ «Электронстандарт» (ДМТ-МСР/EDA-407).

Далее, ввиду отсутствия эталонов, предприятиями АО «Протон» и АО «ВЗПП-С» были изготовлены образцы двух типов ИМС, загерметизированных металлическими крышками в азотной среде:

- образцы первого типа были без предварительной установки кристаллов в корпус;
- образцы второго типа были с предварительной установкой кристаллов в корпус;
- образцы третьего типа изготовлены с предварительной установкой кристалла в корпус, герметизированы в среде азота с примесью воздуха и значением концентрации паров воды приблизительно равным от 4000 ppm до 6000 ppm.

Отличительной особенностью ИМС первого и второго типов, изготовленных одним из производителей для НИР «Влага», является применение двойной термовыдержки в технологическом процессе, а также более низкой температуры



Злобин И.С.

росы в процессе герметизации корпусов.

Также была определена независимая комиссия, принимающая непосредственное участие в проведении сличительных испытаний.

Работа комиссии была построена следующим образом. В каждой из шести ИЛ(Ц) в присутствии комиссии были произведены испытания двух образцов каждого типа и каждого изготовителя.

Результаты сличительных испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3

ИЛ(Ц)	Применяемое оборудование (анализатор влажности)	Производитель микросхем № 1		Производитель микросхем № 2	
		Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2
ФГУП «МНИИРИП»	МКМ-1	1704 ppm	1806 ppm	437 ppm	507 ppm
		2132 ppm	2820 ppm	657 ppm	749 ppm
		2662 ppm	2544 ppm	1602 ppm	796 ppm
АО «ЗНТЦ»	МКМ-1	6400 ppm	2168 ppm	737 ppm	883 ppm
		2700 ppm	3084 ppm	1200 ppm	1200 ppm
АО «Светлана-Полупроводники»	МКМ-1	2382 ppm	2985 ppm	923 ppm	874 ppm
АО «Российские космические системы»	ДМТ-МСР1 (EDA-407)	173 ppm	655 ppm	31 ppm (<100)	22 ppm (<100)
		362 ppm	542 ppm	30 ppm (<100)	27 ppm (<100)
АО «РНИИ «Электронстандарт»	ДМТ-МСР1 (EDA-407)	1221 ppm	1688 ppm	-533 ppm (<100)	-146 ppm (<100)
		881 ppm	1528 ppm	-558 ppm (<100)	-141 ppm (<100)
АО «НИИЭТ»	ДМТ-МСР1 (EDA-407)	383 ppm	347 ppm	61 ppm (<100)	21 ppm (<100)
		282 ppm	422 ppm	33 ppm (<100)	10 ppm (<100)

Для более наглядного представления полученных результатов были построены следующие графики (рис. 1):

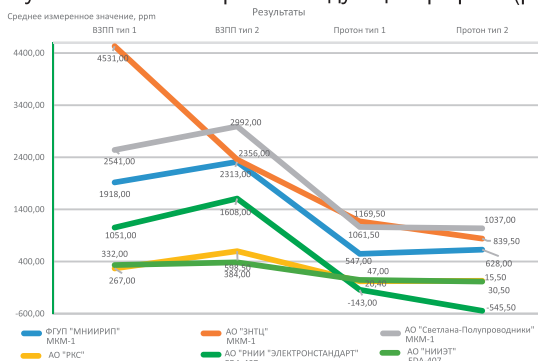


Рис. 1. Результаты сличительных испытаний

С целью практического внедрения разработанных ФГУП «МНИИРИП» типовых методик испытаний по контролю содержания паров воды внутри ИМС и МСБ совместно с АО «Российские космические системы» проведены дополнительные личительные испытания на увеличенной выборке тестовых образцов в кол-ве 72 шт. с добавлением 3-го типа образцов с повышенным содержанием влаги внутри корпусов. Оформлены протоколы сличительных испытаний. Результаты дополнительных сличительных испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты испытаний ФГУП «МНИИРИП» (МКМ-1), АО «Российские космические системы» ДМТ-МСР1 (EDA-407)

ИЛ(Ц)	Производитель микросхем № 1			Производитель микросхем № 2		
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 1	Тип 2	Тип 3
ФГУП «МНИИРИП»	1705 ppm	877 ppm	3298 ppm	563 ppm	749 ppm	4764 ppm
	2294 ppm	2852 ppm	3389 ppm	582 ppm	842 ppm	5230 ppm
	1775 ppm	2397 ppm	3271 ppm	877 ppm	807 ppm	5105 ppm
	1552 ppm	2471 ppm	5088 ppm	633 ppm	749 ppm	5872 ppm
	1705 ppm	2870 ppm	3686 ppm	755 ppm	863 ppm	4324 ppm
	-	-	4404 ppm	-	-	5042 ppm
	-	-	4390 ppm	-	-	4397 ppm
	-	-	4872 ppm	-	-	5128 ppm
АО «Российские космические системы»	925 ppm	1455 ppm	2501 ppm	262 ppm	<100 ppm	4497 ppm
	569 ppm	1626 ppm	5402 ppm	224 ppm	118 ppm	5630 ppm
	1365 ppm	1705 ppm	3147 ppm	117 ppm	172 ppm	4255 ppm
	1490 ppm	2473 ppm	4696 ppm	234 ppm	<100 ppm	4184 ppm
	842 ppm	2830 ppm	2786 ppm	<100 ppm	109 ppm	5524 ppm
	-	-	3315 ppm	-	-	6417 ppm
	-	-	3314 ppm	-	-	4986 ppm
	-	-	3472 ppm	-	-	5294 ppm
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Для более наглядного представления полученных результатов были построены следующие графики (рис. 2), которые учитывают все результаты сличительных испытаний, проведенных во ФГУП «МНИИРИП» и АО «Российские космические системы»:

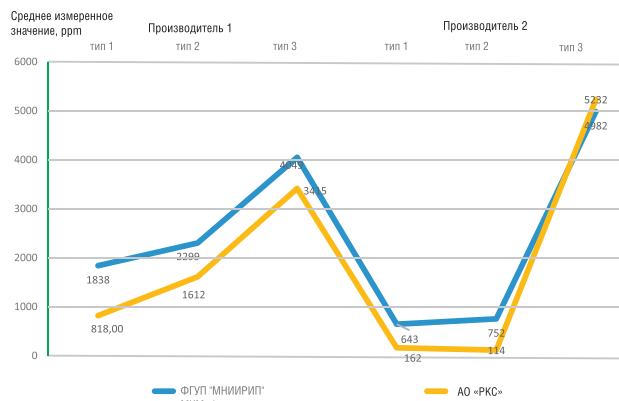


Рис. 2. Результаты дополнительных сличительных испытаний

Подводя итоги НИР «Влага», были достигнуты следующие результаты:

- утверждены ФГУП «МНИИРИП» и согласованы АО «Российские космические системы» две типовые методики на проведение испытаний по определению концентрации паров воды внутри корпусов интегральных микросхем с помощью анализаторов влажности МКМ-1 и ДМТ-МСР1/EDA-407, позволяющие значительно повысить достоверность результатов испытаний и максимально исключить негативное влияние человеческого фактора;
- для работы в соответствии с типовыми методиками разработан стандарт организации ФГУП «МНИИРИП» СМК.044-2021 «Электронная компонентная база. Контроль содержания паров воды внутри корпусов ИМС».

Ввиду того, что испытания проводились под тщательным наблюдением независимой комиссии, влияние случайных и человеческих факторов было сведено к минимуму. Однако сличаемости и повторяемости результатов получилось добиться не в полной мере, что, предположительно, обусловлено недостаточной стабильностью технологических процессов изготовления тестовых образцов, применяемых при сличительных испытаниях.

Анализируя совокупность полученных результатов, сличительных испытаний ИМС одного из производителей с учетом специфики работы анализаторов влажности (в соответствии с руководством по эксплуатации анализатора влажности EDA-407 минимальное определяемое значение концентрации паров воды составляет 100 ppm), мы видим стабильно низкую концентрацию паров воды внутри тестовых образцов первого и второго типов одного из производителей (рис. 3. Сравнительный анализ показателей влаги в подкорпусном пространстве ИМС), что, предположительно, обусловлено увеличенной продолжительностью термовыдержки в процессе производства тестовых образцов, а также более низкой температурой точки росы в процессе герметизации корпусов. Данное обстоятельство может свидетельствовать о необходимости внесения корректировок в технологические процессы производства микросхем.

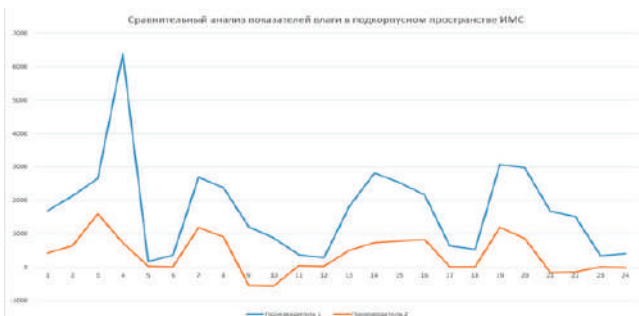


Рис. 3. Сравнительный анализ показателей влаги внутри корпусов ИМС

В связи с чем ФГУП «МНИИРИП» совместно с АО «Российские космические системы» планируется произвести анализ производственных процессов изготовления ИМС для определения ключевых процессов в наибольшей степени влияющих на содержание паров воды внутри их корпусов. На основании проведенного анализа будут подготовлены методические рекомендации для внедрения мероприятий по совершенствованию технологических процессов изготовления ИМС и методов операционного контроля с целью снижения концентрации паров воды внутри корпусов ИМС.

#### Литература:

1. Чернышов А.А., Крутоверцев С.А., Бутурлин А.И. Контроль влажности в корпусах интегральных схем // Зарубежная электронная техника. – 1987. – Вып. № 2. – С. 3 – 63.
2. Горлов М.И., Ануфриев Л.П., Николаева Е.В. Контроль содержания паров воды внутри корпусов интегральных схем. – Мн.: Бестпринт, 2002. – 96 с.
3. Техническое задание на научно-исследовательскую работу «Исследование повторяемости результатов испытаний по контролю содержания паров воды внутри корпуса микросхем, проводимых на анализаторах влажности и сопутствующих газов МКМ-1 и EDA в организациях, аккредитованных в СДС «Электронсерт», шифр «Влага». – 10 с.

УДК 53.086

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ СВАРНОГО ИНТЕРФЕЙСА ЗОЛОТО-АЛЮМИНИЙ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

### INVESTIGATION OF INTERMETALLICS AT GOLD-ALUMINUM WELDED INTERFACE IN SEMICONDUCTOR DEVICES BY ANALYTICAL SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

**Бондаренко А.С.**, к.ф.-м.н., **Аскерко А.Н.**, **Ковтун А.Ю.**, АО «КБ «Ракета», +7 (812) 409-90-40, bond.anton@gmail.com, aan@kbrocket.ru, kau@kbrocket.ru

**Bondarenko A.S.**, Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, **Askerko A.N.**, **Kovtun A.Y.**, JSC «KB «Rocket», +7 (812) 409-90-40, bond.anton@gmail.com, aan@kbrocket.ru, kau@kbrocket.ru

Целью данной работы является демонстрация возможности применения современных методов аналитической сканирующей электронной микроскопии для быстрого и локального определения типов интерметаллических соединений, образующихся на интерфейсе сварного соединения золото-алюминий, применяемого в полупроводниковых приборах. Получение точных данных о химическом составе сварного соединения необходимо для анализа и прогнозирования отказов приборов из-за дефекта сварки, отладки технологии сварки.

This work aims to demonstrate modern analytical scanning electron microscopy applications for the fast and local determination of the intermetallic phases at the interface of the gold-aluminum welded joint in semiconductor devices. Acquiring accurate data on the chemical composition of the welded joint is necessary for semiconductor devices failure analysis and prediction due to a welding defect, as well as for the debugging of the welding parameters.

**Ключевые слова:** интерметаллиды, сканирующая электронная микроскопия, фокусированный ионный пучок, полупроводниковые приборы, анализ отказов, разрушающий физический анализ, ультразвуковая сварка, сварной интерфейс золото-алюминий.

**Keywords:** intermetallic compounds, scanning electron microscopy, focused ion beam, semiconductor devices, failure analysis, destructive physical analysis, ultrasonic welding, welded gold-aluminum interface.



Бондаренко А.С.

В современной кремниевой микроэлектронике и в нашей стране, и за рубежом хорошо отработана и массово применяется технология производства интегральных схем, использующая алюминий для верхнего слоя металлизации. Причиной тому служат как хорошие физико-химические свойства алюминия: высокая электропроводность, высокая адгезия наносимых пленок к кристаллу, коррозионная

стойкость, так и экономические преимущества применения алюминия по сравнению с драгоценными металлами. За прошедшие более чем четыре десятилетия хорошо изучены вопросы взаимной диффузии кремния и алюминия, отработаны технологии изготовления стоп-слоев и защитных диэлектрических и пассивирующих покрытий, позволяющих приборам иметь длительный срок службы до начала деградации их характеристик.



Аскерко А.Н.



Ковтун А.Ю.

Однако для некоторых особо требовательных применений полупроводниковых приборов, например, в условиях агрессивной окружающей среды, может потребоваться установка кристалла с интегральной схемой в керамический корпус с золотыми или позолоченными выводными контактами и, как следствие, приварка золотых проводников между алюминиевыми контактными площадками на кристалле интегральной микросхемы и золотыми контактными площадками корпуса. При этом наличие сварного интерфейса золото–алюминий становится возможной причиной непредвиденного отказа полупроводникового прибора из-за интерметаллических соединений, образующихся при сварке этих двух металлов, некоторые из которых с течением времени (особенно быстро при протекании электрического тока) стремительно деградируют: от постепенного увеличения сопротивления контакта и вплоть до полного механического разрушения сварного соединения. В отличие от гомогенного сварного соединения алюминий–алюминий при сварке золота с алюминием на интерфейсе образуются несколько переходных слоев интерметаллических фаз  $Au_xAl_y$ . Некоторые из них имеют повышенное удельное сопротивление, концентрируют механические напряжения, являются нестабильными и могут с течением времени и под воздействием повышенной температуры переходить в хрупкие состояния. Поэтому стандартного микроскопического исследования пятна отрыва приваренного проводника от контактной площадки может оказаться недостаточно для того, чтобы сделать вывод о качестве сварного соединения и, тем более, для прогноза отказоустойчивости полупроводникового прибора. Таким образом, крайне важно и при постановке технологии сварки золота и алюминия, и при рутинном контроле качества, и во время испытаний готовых микросхем, применяющих внутри корпуса сварные соединения золото–алюминий, проводить химический анализ интерметаллидов и дефектов на интерфейсе сварки.

Наиболее подходящим инструментом для этого является сканирующий электронный микроскоп (далее — СЭМ) благодаря аналитическим методам и достаточно высокому для описанной задачи пространственному разрешению, достигаемому у лучших приборов с источником электронов с полевой эмиссией значения 0,6 нм, а у самых компактных настольных микроскопов с термоэмиссионными катодами — 5–10 нм. При этом поле зрения может достигать нескольких миллиметров, что позволяет получать изображения сварного соединения целиком, а также отдельных деталей с большим увеличением. Подготовка образца для исследования в СЭМ не отличается в случае полупроводникового прибора от стандартной пробоподготовки для исследования при помощи светового микроскопа [1].

Основные интерметаллические соединения, образующиеся в сварном интерфейсе при продвижении от алюминия к золоту приведены в таблице 1 [2]. При использовании в СЭМ детектора обратно-рассеянных электронов

(BSE, backscattered electrons) все, указанные в таблице 1, фазы могут быть легко различимы по относительному контрасту на изображении (рис. 1), передаваемому в оттенках серого. Действительно, относительный контраст BSE между материалами X и Y может быть выражен простой формулой:

$$C_{BSE} = \frac{\eta_X - \eta_Y}{\eta_X},$$

где:

$\eta_X$  и  $\eta_Y$  — BSE коэффициенты для элементов X и Y соответственно.

Для чистого золота коэффициент BSE равен примерно 0,48, а для чистого алюминия приблизительно 0,15. Относительный контраст на BSE-изображении между этими двумя материалами по приведенной выше формуле составит 69 %. Относительный контраст между чистым золотом и интерметаллидами будет находиться в диапазоне 0–69 % в зависимости от концентрации золота. Съемка в контрасте вторичных электронов (SE, secondary electrons) будет также полезна для дополнения исследования морфологическими данными.

Таблица 1  
Основные интерметаллические соединения, образующиеся на сварном интерфейсе золото–алюминий

Фаза	Вес. % Au	Вес. % Al	Комментарий
$AuAl_2$	78,5	21,5	«Пурпурная чума» — хрупкий интерметаллид пурпурного цвета с высокой температурой плавления, приводит к быстрому разрушению соединения.
$AuAl$	88,0	12,0	Нестабильное соединение переходящее либо в $AuAl_2$ , либо в $Au_2Al$ .
$Au_2Al$	93,5	6,5	Соединение с высоким удельным сопротивлением, формирующееся при температуре около 625 °C.
$Au_3Al_2$	94,8	5,2	Соединение с несколько более высоким удельным сопротивлением, чем у золота, упрочняет сварное соединение, но может переходить в другие фазы при старении.
$Au, Al$	96,7	3,3	Интерметаллид с высоким содержанием золота, на границах могут концентрироваться пустоты, способные привести к разрушению соединения.

Если СЭМ оснащен энергодисперсионным рентгеновским спектрометром (EDS), то не составит особого труда определить локальный химический состав исследуемых интерметаллидов с точностью в диапазоне 0,5–1 вес. % [1]. После данной процедуры контраст BSE-изображения может быть проаннотирован точными химическими соединениями. Такой подход не требует проведения длительной процедуры EDS-картирования, при которой спектр характеристического рентгеновского излучения регистрируется и накапливается со всей площади исследуемой поверхности образца, и позволяет очень быстро получить информацию о распределении интерметаллидов. Однако к образцу предъявляются определенные требования для того, чтобы анализ был точным.

Во-первых, необходимо приготовить поперечное сечение сварного интерфейса, что в случае установленного в корпус микроэлектронного прибора может оказаться непростой задачей, требующей целого комплекса пробоподготовки для фиксации, резки, механической шлифовки и полировки.

Во-вторых, образец должен быть плоско-отшлифован, желательно, чтобы рельеф поверхности не превышал 0,5 мкм. Поскольку даже микроскопические изменения рельефа поверхности могут значительно влиять на выход обратно-рассеянных электронов и искажать коэффициент BSE, ожидаемый для плоского горизонтального образца, что уменьшает относительный материальный контраст, добавляя к нему морфологический контраст поверхности образца.

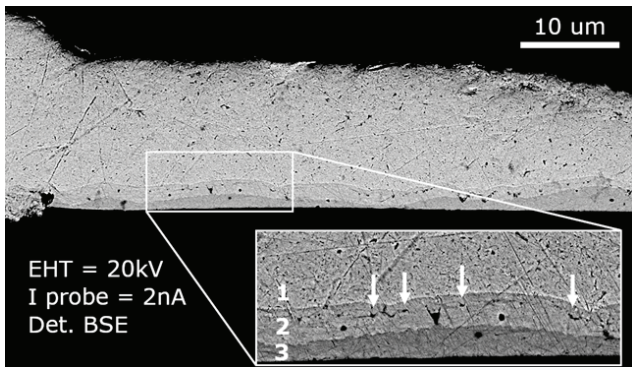


Рис. 1. BSE-изображение шлифа сварного интерфейса золото–алюминий, выполненного в поперечном сечении. Цифрами 1–3 обозначены фазы: 1 – золото, 2 – Au<sub>4</sub>Al, 3 – Au<sub>5</sub>Al<sub>2</sub>. Стрелки показывают пустоты, образовавшиеся из-за разницы скорости диффузии атомов золота и алюминия

Определение химического состава фаз, наблюдаемых на рис. 1, производилось при помощи энергодисперсионного рентгеновского спектрометра по безэталонному методу с использованием стандартной процедуры ZAF-коррекции [1]. Результаты химического анализа представлены в таблице 2, с пересчетом в атомные проценты для восстановления химической формулы.

Таблица 2

Результаты локального химического анализа фаз, обнаруженных на BSE-изображении (Рис. 1), выполненного с использованием энергодисперсионного рентгеновского спектрометра (EDS)

Фаза (рис. 1)	Вес. (ат.) % Au	Вес. (ат.) % Al	Соединение
1	99,6 (99,17)	0,4 (0,83)	Au
2	97,2 (82,74)	2,8 (17,26)	Au <sub>4</sub> Al
3	95,1 (76,23)	4,9 (23,77)	Au <sub>5</sub> Al <sub>2</sub>

На рис. 1 стрелками обозначены пустоты, образующиеся в процессе взаимной диффузии атомов золота и алюминия из-за различия скоростей диффузии атомов этих элементов. Эти пустоты выстраиваются на границе диффузии, разделяющей две кристаллические фазы ( и ) интерметаллида Au<sub>4</sub>Al [3]. При старении сварного соединения количество таких пустот возрастает, что в итоге может привести к разрушению контакта [4].

Значительно упростить подготовку образца и сократить время анализа может использование для исследования двулучевого сканирующего электронно-ионного микроскопа (СЭМ), оснащенного дополнительно фокусированным ионным пучком (ФИП). Конструктивно СЭМ–ФИП устроены так, что оптические оси их электронной и ионной колонн пересекаются в одной точке, что позволяет одновременно наблюдать при помощи электронного пучка исследуемый образец и проводить его модификацию при помощи ионного пучка с независимой разверткой.

Фокусированный ионный пучок позволяет с точностью до нескольких нанометров произвести локальное поперечное сечение образца (рис. 2, 3), что дает огромное преимущество по сравнению с классической механической пробоподготовкой, поскольку многократно повышает вероятность попадания среза точно в нужное место образца.

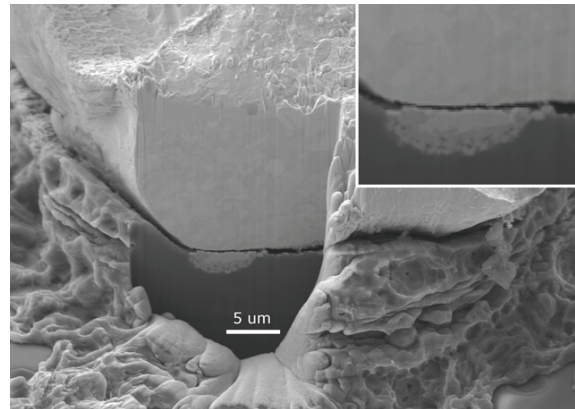


Рис. 2. Локальное поперечное сечение дефекта сварного соединения, выполненное при помощи ФИП. Контраст вторичных электронов (морфологический + контраст каналирования)

Единственным недостатком такого подхода по сравнению с механической обработкой является гораздо меньшая площадь производимого сечения, ограниченная скоростью травления образца ионным пучком. В зависимости от источника ионов, применяемого в ионной колонне СЭМ–ФИП, типичные размеры поперечного сечения составляют порядка 20 x 20 мкм<sup>2</sup> для галлиевого ФИП с жидкометаллическим источником и вплоть до 500 x 500 мкм<sup>2</sup> для ФИП с источником на основе ксеноновой газовой плазмы [6]. Для рассматриваемой в данной работе задачи исследования сварных интерфейсов золото–алюминий, упомянутое ограничение является несущественным и производительности ФИП с галлиевым жидкометаллическим источником было вполне достаточно для выполнения требуемых поперечных сечений за время, не превышающее двух часов, включая финальную полировку ионами малых энергий.

При выполнении реза фокусированным ионным пучком на первом этапе используется высокое ускоряющее напряжение и максимальный ток ионного пучка (несколько десятков нА) для быстрого удаления материала. Затем производится финишная деликатная полировка исследуемой поверхности поперечного сечения с постепенным снижением энергии ионов (ускоряющего напряжения) и тока пучка. Эта процедура позволяет деликатно удалить дефекты, образовавшиеся на поверхности при бомбардировке ионами высоких энергий.

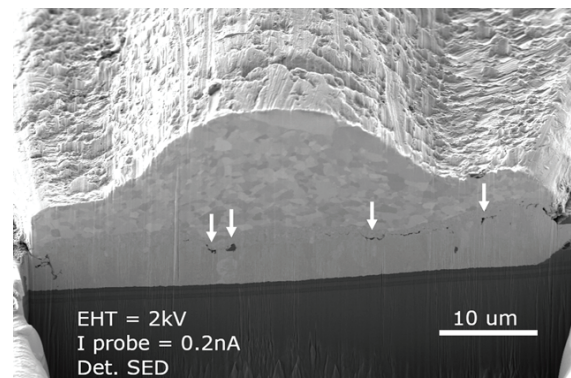


Рис. 3. Изображение поперечного сечения сварного соединения золото - алюминий в контрасте вторичных электронов (морфологический контраст + контраст каналирования). Стрелки обозначают пустоты, образовавшиеся в результате взаимной диффузии атомов золота и алюминия, из-за разницы скоростей диффузии

Качество ионной полировки значительно превышает качество механической полировки, что выражается в возможности наблюдения на рис. 3 контраста между различными зернами кристаллической структуры золота и интерметаллических соединений (контраст каналирования).

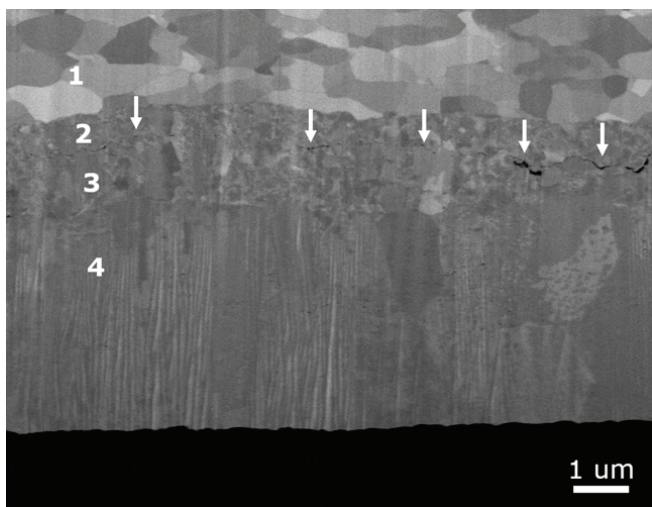


Рис.4. Увеличенное изображение поперечного сечения сварного соединения золото–алюминий, приготовленного с помощью ФИП. Цифры 1–4 обозначают различные фазы: 1 – золото, 2, 3 – интерметаллиды с высоким содержанием золота ( $\alpha$  - и  $\beta$  -  $\text{Au}_4\text{Al}$ ), 4 –  $\text{Au}_5\text{Al}_2$ . Стрелки показывают пустоты, образовавшиеся из-за разницы скоростей взаимной диффузии атомов золота и алюминия

На рис. 4 представлено увеличенное изображение поперечного среза сварного интерфейса золото–алюминий, на котором можно наблюдать различие в структуре различных

интерметаллических соединений, образовавшихся в процессе сварки.

Мелкозернистая структура соответствует данным о более низкой пластичности, большей хрупкости интерметаллидов [4].

При необходимости СЭМ–ФИП позволяет перейти от 2D исследования отдельных поперечных сечений к 3D исследованиям небольших объемов приповерхностных слоев образца. Для этого с помощью ФИП производят серию последовательных срезов небольших слоев образца с заданным шагом по глубине с последующей реконструкцией объемных данных из серии 2D-снимков [5]. Реконструкцию и последующую работу с объемными данными выполняет специальное программное обеспечение, в задачи которого входит выравнивание серии изображений, фильтрация от шумов, генерация единиц объемного изображения – вокселей (аналог пикселей в 3D), а также последующая работа с 3D-данными: проведение измерений, сегментирование на отдельные объекты (включения, поры, поверхности и т. д.), представление данных для публикации, экспорт статистической информации. 3D-исследования несомненно является методом будущего в исследовании образцов и редко применяются ввиду большой длительности каждого эксперимента. Чтобы получить 3D данные из объема кремния размером  $10 \times 10 \times 10 \text{ мкм}^3$  с разрешением по глубине 20 нм, потребуется не менее 10 часов работы прибора с галлиевым источником и около часа работы прибора с источником на основе ксеноновой газовой плазмы [6]. Таких приборов весьма немного в мире. В России на момент написания статьи их всего два, но по мере роста их количества и доступности объемные исследования будут становиться все более рутинными.

#### Литература:

1. J. Goldstein, D.E. Newbury, D.C. Joy, C.E. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer, and J.R. Michael «Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis». – 3rd ed. – Springer. – 2003.
2. M.N. Zulkifli, S. Abdullah, N.K. Othman, and A. Jalar «Some thoughts on bondability and strength of gold wire bonding». – Gold Bull. – 45. – 115 (2012).
3. H. Ji, M. Li, C. Wang, H.S. Bang, and H. S. Bang, «Comparison of interface evolution of ultrasonic aluminum and gold wire wedge bonds during thermal aging». – Mater. Sci. Eng. – A 447. – 111 (2007).
4. H. Xu, C. Liu, V.V. Silberschmidt, S.S. Pramana, T.J. White, Z. Chen, M. Sivakumar, and V.L. Acoff «A micromechanism study of thermosonic gold wire bonding on aluminum pad». – J. Appl. Phys. – 108. – 113517 (2010).
5. R. Ding, I.P. Jones «An FIB–SEM slice-and-view study of three-dimensional beta phase distribution in Ti–6Al–4V». – Journal of electron microscopy. – Volume 60. – Issue 2. – April 2011. – Pp. 149–155.
6. B. Van Leer and M. Dutka «Latest Developments in Multiple Ion Species Plasma FIB Technology». – Microscopy and Microanalysis. – Volume 25. – Supplement S2. – August 2019. – Pp. 570–571.



## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ TECHNICAL SUPPORT IN TESTING LABORATORIES

**Булгаков О.Ю.**, к.воен.н., АНО «Электронсертифика», +7 (985) 725-73-68, bulgakov56@yandex.ru; **Терехин К.О.**, ООО «Альфа-Комплект» СИ, +7 (926) 341-08-46, teriohin.k@yandex.ru; **Подъяпольский С.Б.**, к.т.н., ФГУП «МНИИРИП», +7(495)-586-17-21, psb@mniirip.ru; **Погосов Г.С.**, АО «Радиант-ЭК», +7 (916) 128-48-34, pogosov.r@mail.ru

**Bulgakov O.Yu.**, Candidate of Military Sciences, ANO «Electronsertifika», +7 (985) 725-73-68, bulgakov56@yandex.ru; **Terekhin K.O.**, «Alfa-Kit LLC», +7 (926) 341-08-46, teriohin.k@yandex.ru; **Podyapolsky S.B.**, Candidate of Technical Sciences, FSUE «MNIIRIP», +7(495)-586-17-21, psb@mniirip.ru; **Pogosov G.S.**, JSC «Radiant-EC», +7 (916) 128-48-34, pogosov.r@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы организации технического обеспечения испытательного оборудования и средств измерений в испытательных лабораториях (центрах) и методические рекомендации по организации ее функционирования. Приведены методические рекомендации и подходы к разработке документированных процедур по организации снабжения, технической эксплуатации, восстановления и утилизации ИО и СИ в испытательных лабораториях (центрах).

The article considers the issues of the organization of technical support of testing equipment and measuring instruments in testing laboratories (centers) and methodological recommendations for the organization of its functioning. Methodological recommendations and approaches to the development of documented procedures for the organization of supply, technical operation, recovery and disposal of IO and SI in testing laboratories (centers), are given.

**Ключевые слова:** техническое обеспечение, испытательная лаборатория (центр), техническое обслуживание, испытательное оборудование, средства измерений, инженерные системы, журнал технического обслуживания.

**Keywords:** technical support, testing laboratory (center), maintenance, testing equipment, measuring instruments, engineering systems, maintenance log.



Булгаков О.Ю.

Техническое обеспечение (далее – ТО) – это комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых в целях создания материальной основы и поддержания ее на необходимом (заданном) уровне для решения в испытательных лабораториях (центрах) (далее – ИЛ(Ц)) задач по проведению испытаний в соответствии с областью аккредитации с обеспечением требуемой достоверности результатов.

Выполнение комплекса всех мероприятий по ТО обеспечит бесперебойную работу испытательного оборудования (далее – ИО) и средств измерений (далее – СИ), поддержанию их в постоянной готовности к применению, эффективному использованию.

Известно, что в систему ТО входят такие мероприятия как: **снабжение, техническая эксплуатация, восстановление, утилизация ИО и СИ.**

Под **снабжением** понимается комплекс мероприятий, направленных на обеспечение материальными средствами, процесс эксплуатации ИО и СИ, организуемый и осуществляемый с целью своевременного удовлетворения штатной технической потребности области аккредитации ИЛ(Ц).

Снабжение содержит: материально-техническое обеспечение; создание запасов материалов, инструментов и принадлежностей (далее – ЗИП); документальное обеспечение. Основными задачами снабжения являются: определение потребностей ИЛ(Ц); планирование поставок ИО и СИ в ИЛ(Ц); создание и размещение необходимых запасов вспомогательного оборудования и расходных материалов; ведение учета и представление отчетности о наличии, состоянии и движении ИО и СИ в ИЛ(Ц).

Под **технической эксплуатацией** ИО и СИ в ИЛ(Ц) понимается комплекс мероприятий, направленных на организацию поддержания ИО и СИ в ИЛ(Ц) в постоянной готовности к использованию по назначению, и включает в себя комплекс работ, проводимых на определенных этапах его эксплуатации.

Техническая эксплуатация ИО и СИ в ИЛ(Ц) содержит: ввод в эксплуатацию; приведение в готовность к применению; поддержание в готовности; хранение; ремонт; транспортирование.

Под **восстановлением** ИО и СИ в ИЛ(Ц) понимается комплекс мероприятий, направленных на возвращение их в эксплуатацию.

Восстановление содержит: изучение состояния вышедших из строя ИО и СИ в ИЛ(Ц); доставка поврежденных или выведенных из строя ИО и СИ в ремонтные органы; ремонт ИО и СИ, их восстановление и возвращение в эксплуатацию.

Под **утилизацией** ИО и СИ в ИЛ(Ц) понимается комплекс мероприятий, направленных на вывод их из эксплуатации, снятия установленным порядком с балансового учета и дальнейшую передачу (продажу) утилизирующим организациям.

ИО и СИ в ИЛ(Ц) в зависимости от технического состояния должны оцениваться как: **исправные, работоспособные, неисправные, неработоспособные.**

ИО и СИ в ИЛ(Ц) являются **исправными**, если они соответствует всем требованиям эксплуатационной документации, и **неисправными**, если не соответствуют хотя бы одному из этих требований.



Терехин К.О.

В отличие от исправных работоспособные ИО и СИ в ИЛ(Ц) могут иметь отдельные дефекты, непосредственно не влияющие на выполнение заданных функций (следы деформаций, повреждения оплеток кабелей и шнуров, нарушение декоративных покрытий и др.).

ИО и СИ в ИЛ(Ц) являются **неработоспособными**, если значение хотя бы одного из параметров не соответствует нормам, установленным эксплуатационной документацией.

Общие требования к ТО для ИЛ(Ц) отражаются в ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий», руководящем документе СДС «Электронсерст» ЭС РД 005–2020 «Требования к испытательным лабораториям (центрам)». Нормативные документы предусматривают наличие в ИЛ(Ц) процедур обращения с оборудованием, порядка его эксплуатации, восстановления, транспортировки, хранения и планового обслуживания в целях обеспечения надлежащего функционирования [1]. ИЛ(Ц) должна подтвердить соответствие ИО и СИ установленным требованиям перед вводом его в эксплуатацию или после возврата в эксплуатацию [2].

Анализ несоответствий, выявленных при аккредитации, инспекционном контроле ИЛ(Ц) в СДС «Электронсерст» с 2016 года (более 220 процедур), показывает, что несоответствия, связанные с технической эксплуатацией ИО и СИ, составляют порядка 15–20 %. Основные причины заключаются как в организационном, так и в техническом факторе.

За последние десятилетия, к сожалению, в ИЛ(Ц) сформировался упрощенный подход к организации ТО [3, 4]. В этот же период поколение молодых инженеров, не имея в том числе и технически грамотных наставников, не обучены и не приучены правильно организовывать решение задач ТО. Им не прививается понимание, что ИО и СИ это «оружие, которым они добывают свою победу в вопросах обеспечения качества испытаний и измерений».

Проблема организации ТО в ИЛ(Ц) в настоящее время обусловлена тем, что руководители ИЛ(Ц) с одной стороны с меньшими затратами стремятся организовать техническую эксплуатацию ИО и СИ ( $C_{ЗАТ.} \rightarrow \min$ ), а с другой стороны получить максимальное время ее эксплуатации ( $T_{ЭКС.} \rightarrow \max$ ).

На основании проведенного анализа, можно заключить, что возникает противоречие между возрастающими требованиями к ТО в ИЛ(Ц), при котором  $T_{ЭКС.} \rightarrow \max$ , и минимальными затратами, при которых  $C_{ЗАТ.} \rightarrow \min$ , не позволяющими обеспечить оптимальную эксплуатацию ИО и СИ.

В качестве составных частей функционирования системы технического обеспечения ИО и СИ могут выступать:

$S$  – снабжение ИЛ(Ц) ИО и СИ;

$T$  – техническая эксплуатация ИО и СИ;

$B$  – восстановление поврежденных и неисправных ИО и СИ;

$U$  – утилизация ИО и СИ.

Частичное разрешение данного противоречия возможно путем решения одной из актуальных научных задач.

Вербальная постановка актуальной научной задачи может быть сформулирована следующим образом: «Для заданных составных частей функционирования системы

технического обеспечения ИО и СИ  $I = \{S, T, B, U\}$  сформировать отвечающие современным требованиям методические подходы к разработке перечня рекомендаций по организации проведения мероприятий в ходе снабжения, технической эксплуатации, восстановления и утилизации ИО и СИ ИЛ(Ц), при которых возможно получение максимально приемлемых значений между  $T_{ЭКС.}$  и  $C_{ЗАТ.}$ ».

Получение максимально приемлемого значения между  $T_{ЭКС.}$  и  $C_{ЗАТ.}$  при решении поставленной задачи можно представить в виде выражения:

$$\begin{cases} F(C_{ЗАТ.}, T_{ЭКС.}) \rightarrow \max \\ (C_{ЗАТ.}, T_{ЭКС.}) \in I \end{cases} \quad (1),$$

где:

$C_{ЗАТ.}$  – значение функции, затраты ТО ИО и СИ;

$T_{ЭКС.}$  – значение функции, время исправной эксплуатации ИО и СИ;

$I$  – заданное множество составных частей ТО.

Основываясь на вышеприведенном, на основании анализа существующего противоречия и проблем организации ТО в ИЛ(Ц) было бы целесообразно разработать методические подходы и рекомендации по выбору оптимального построения системы технического обеспечения ИО и СИ  $I$ , удовлетворяющие рациональному функционированию составных частей: снабжению, технической эксплуатации, восстановлению и утилизации.

На данном этапе целесообразно решение актуальной научной задачи, отвечающей современным требованиям по формированию некоторых методических подходов к разработке перечня рекомендаций по организации снабжения, технической эксплуатации, восстановления и утилизации ИО и СИ ИЛ(Ц), проводить декомпозированно двумя последовательно решаемыми задачами:

- разработка документированных процедур для оптимального построения и функционирования составных частей ТО ИО и СИ ИЛ(Ц);

- организация рационального функционирования ТО ИО и СИ и выполнения требований документированных процедур в повседневной деятельности ИЛ(Ц).

В ходе решения первой поставленной задачи по разработке документированных процедур для оптимального построения и функционирования составных частей ТО ИО и СИ ИЛ(Ц) необходимо учесть наряду с требованиями нормативной документации следующие методические рекомендации:

1. Персоналу, занимающемуся вопросами ТО ИО и СИ в ИЛ(Ц), необходимо в рамках самостоятельной подготовки или на курсах повышения квалификации специалистов, предлагаемых АНО «Электронсертифика», глубоко изучить и знать требования, изложенные в ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» и руководящем документе СДС «Электронсерст» ЭС РД 005–2020 «Требования к испытательным лабораториям (центрам)». Знание персоналом ИЛ(Ц) требований нормативной документации, а также основ теории организации эксплуатации

является залогом безопасной и бесперебойной работы ИО и СИ.

2. При проведении расчета срока службы ИО с учетом срока последнего ТО и контроля технического состояния [5, 6] можно воспользоваться известным Санкт-Петербургским парадоксом теории вероятностей. Назначенный срок службы можно определять по расчетному остаточному сроку службы, используя соотношение:

$$T_{HCC} = k_{\text{бэ}} \cdot T_{OCC} + T_{KTC} \quad (2),$$

где:

$T_{OCC}$  — остаточный срок службы;

$T_{KTC}$  — срок от начала эксплуатации объекта ИЛ(Ц) и ее возобновления после ремонта до момента последнего контроля технического состояния;

$k_{\text{бэ}}$  — показатель безопасной эксплуатации, зависящий от отношения ожидаемых интенсивностей отказов в рассматриваемых условиях.

Интенсивности отказов, параметры масштаба и параметр формы, входящие в выражение [6]:

$$k_{\text{бэ}} = T_{HCC} / T_{CC} = \left( \frac{\lambda_{И}}{\lambda_{И} + \lambda_{СЛ}} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (3),$$

где:

$T_{HCC}$  — назначенный срок службы;

$T_{CC}$  — срок службы;

можно определить по статистическим данным об отказах подобных объектов по различным причинам.  $T_{HCC}$  (назначенный срок службы) и  $T_{CC}$  (срок службы) из выражения (3) вычисляются, используя распределение Вейбулла, опираясь на ожидаемую интенсивность отказов вследствие износа и случайных событий.

Из выражения (2) наглядно видно, что назначенный срок службы оборудования напрямую зависит от  $T_{KTC}$  (срок от начала эксплуатации ИО или ее возобновления после ремонта до момента последнего контроля технического состояния). Если ИО и СИ в ИЛ(Ц) работают без неисправностей и проходят регулярное техническое обслуживание, то назначенный срок эксплуатации постоянно увеличивается на время безотказной работы. Допустим, ИО и СИ безотказно работают в лаборатории 5 лет, остаточный срок службы равен 2 годам, то при постоянном техническом обслуживании назначенный срок службы составит 7 лет. Но если установка не проходила технического обслуживания весь срок эксплуатации, то она максимум прослужит еще 2 года.

3. Непосредственную ответственность за техническое состояние ИО и СИ в ИЛ(Ц), ее своевременное, качественное обслуживание и ремонт должны нести должностные лица, за которыми они закреплены нормативными актами в ИЛ(Ц).

4. В ИЛ(Ц) на каждое ИО и СИ должны быть разработаны формуляр (паспорт), график проведения на них технического обслуживания в соответствии с требованиями, указанными в [1] и руководстве по эксплуатации.

Все проделанные процедуры также необходимо регистрировать в журнале технического обслуживания и ремонта, в паспортах (формулярах) на ИО и СИ. Для этого делаются записи о полноте выполненных работ в ходе эксплуатации,

при техническом обслуживании.

5. В ИЛ(Ц), если это не задано заводом изготовителем, должны быть предусмотрены следующие виды технического обслуживания: ежедневное ТО (ЕДТО); еженедельное (ЕНТО); ежемесячное (ЕМТО); годовое (ГТО). Объемы и периодичность ТО определяются заводом изготовителем, а в случае их отсутствия обязательно определяются руководством ИЛ(Ц).

Техническое обслуживание проводится, как правило, персоналом, непосредственно эксплуатирующим оборудование, знающим основные технические характеристики, устройство и правила эксплуатации. К работе по проведению ТО допускаются лица, прошедшие инструктаж, обучение и стажировку безопасным методам труда, проверку знаний, правил техники безопасности, пожарной безопасности, а также должностных инструкций и инструкций по охране труда в соответствии с занимаемой должностью и присвоением соответствующей группы по электробезопасности.

В ходе решения второй задачи по организации рационального функционирования системы ТО ИО и СИ и выполнения требований документированных процедур в повседневной деятельности ИЛ(Ц), основываясь на методических рекомендациях, указанных при решении первой задачи, необходимо учитывать следующее:

1. В документированных процедурах ИЛ(Ц) должны быть полностью учтены требования ГОСТ ISO/IEC 17025–2019, ЭС РД 005–2020, предъявляемые к организации ТО ИО и СИ, описанные конкретными мероприятиями (действиями) в ходе проведения технического обслуживания ИО и СИ в ИЛ(Ц), которые также должны соответствовать руководству по эксплуатации.

2. В ИЛ(Ц), если это не предусмотрено штатом, должен назначаться сотрудник, отвечающий за организацию, проведение мероприятий ТО и технического обслуживания ИО и СИ, своевременное ведение технической и отчетной документации.

3. Значительную роль в выполнении этой задачи играет спланированный, своевременно организованный внутренний аудит системы менеджмента качества и ежегодная процедура аттестации ИО и поверки СИ, а также грамотно составленный график проведения технического обслуживания, составленный в соответствии с документацией завода изготовителя. Это позволяет своевременно вскрывать недостатки в вопросах ТО и минимизировать риски преждевременного выхода из строя ИО и СИ.

Таким образом, можно сделать вывод, что вопросы ТО и технического обслуживания ИО и СИ полностью зависят от понимания руководством и сотрудниками ИЛ(Ц) требований нормативной документации, теоретических основ ТО, важности рассмотренных вопросов. Правильно сбалансированные и максимально приемлемые значения между Тэкс. и Сзат. позволят корректно организовать ТО, обеспечить максимально долгую эксплуатацию ИО и СИ, затрачивая на это плановые финансовые средства.

В статье определены общие подходы к организации функционирования системы ТО и выделены основные элементы, обеспечивающие решение задач технического

обслуживания ИО и СИ. В последующих номерах журнала будут опубликованы материалы с методическими рекоменда-

циями, алгоритмами по процедурам ТО эксплуатации ИО и СИ.

#### Литература:

1. ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO/IEC 17025:2017 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» («General requirements for the competence of testing and calibration laboratories», IDT).
2. ЭС РД 005–2020 «Требования к испытательным лабораториям (центрам)». Разработан центральным органом системы добровольной сертификации «Электронсерт» – Федеральным государственным унитарным предприятием «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов» (ФГУП «МНИИРИП»). – 2020 год – с. 25–32.
3. Быканов В.В., Клеопин А.В., Булгаков О.Ю., Подъяпольский Б.С., Булгаков В.О. «Состояние и направления совершенствования метрологического обеспечения ЭКБ в процессе разработки, испытаний и производства». – «Вестник метролога». – № 1. – 2019 г. – с. 15–18.
4. Булгаков О.Ю. «Состояние и направления развития метрологического обеспечения испытаний при производстве ЭКБ». – Алушта. – Международный форум «Микроэлектроника–2018». – 4-я МНК «ЭКБ и микроэлектронные модули». – Сборник тезисов. – 01–06.10.2018 г. – С. 573–577.
5. Кудрявцев А.А. «Санкт-петербургский парадокс и его значение для экономической теории»// Вестник С.-Петерб. ун-та. – 2013. – Вып. 3. – С. 41–55.
6. Галахарь А.С., Гаврюшин С.С. «Об определении назначенного срока службы эксплуатируемого объекта с учетом показателя безопасной эксплуатации»// «Проблемы машиностроения и надежности машин». – № 4. – 2018.

УДК 005.6

## ОДНА ИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СМК ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ ONE OF THE METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF THE FUNCTIONING OF THE QMS OF ECB SUPPLIERS

**Булгаков О.Ю.**, к.в.н., заслуженный работник связи РФ, АНО «Электронсертифика», +7 (495) 583-06-32, elsert@bk.ru; **Подъяпольский С.Б.**, к.т.н., ФГУП «МНИИРИП», +7(495) 586-17-21, psb@mniirip.ru; **Bulgakov O.Y.**, Ph.D. of military sciences, honored communication worker of the Russian Federation, ANO «Electroncertifica», +7 (495) 583-06-32, elsert@bk.ru; **Podyapolskii S.B.**, Ph.D. of Engineering Sciences, FSUE «MNIIRIP», +7(495) 586-17-21, psb@mniirip.ru

В данной статье рассматриваются направления улучшения системы менеджмента качества предприятий и организаций поставщиков электронной компонентной базы, предложен методический подход к оперативной количественной оценке эффективности функционирования поставщиков ЭКБ, и их СМК.

The article discusses the ways to improve the quality management system of enterprises and organizations of suppliers of electronic component base, offers a methodological approach to the operational quantitative assessment of the effectiveness of the functioning of ECB, suppliers and their QMS.

**Ключевые слова:** система менеджмента качества (СМК), электронная компонентная база (ЭКБ), нормативная документация (НД), критерии оценки СМК, показатели оценки СМК.

**Keywords:** quality management system (QMS), electronic component base (ECB), regulatory documentation (ND), QMS evaluation criteria, QMS evaluation indicators.

Постоянно меняющиеся рыночные условия, формирование новой конкурентной среды заставляет предприятия радиоэлектронной отрасли постоянно совершенствовать качество производимой и поставляемой электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), повышать эффективность производства, поскольку в острой конкурентной борьбе способны выжить только те организации и предприятия, которые смогут быстро адаптироваться к современным требованиям и условиям. Исходя из этого, необходимо отчетливо понимать, что система менеджмента качества (далее – СМК) на предприятиях радиоэлектронной отрасли должна быть гибкой, быстро «перестраиваемой» под изменения требований заинтересованных в деятельности сторон. Только такая система менеджмента

может стать полезным инструментом в руках руководства предприятий радиоэлектронной отрасли.

Анализируя результаты деятельности Центрального органа системы добровольной сертификации «Электронсерт» (далее – СДС «Электронсерт»), автономной некоммерческой организации «Электронсертифика» (далее – АНО «Электронсертифика») за период с 2014 года в вопросах сертификации СМК организаций и предприятий радиоэлектронной отрасли, квалификации поставщиков ЭКБ для создания радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) двойного и военного назначения, можно сделать вывод, что вся совокупность несоответствий в вопросах внедрения и функционирования СМК носит системный характер и описывается в следующем виде.

Основные несоответствия, характерные для квалифицированных поставщиков ЭКБ:

а) с нарушениями технических требований организованы рабочие места сотрудников, нарушаются температурно-влажностный и антистатические режимы, не соблюдаются требования по организации хранения изделий различной категории, не идентифицируются рабочие места персонала;

б) не выполняются требования по актуализации документов, доведению сотрудникам нормативных документов, стандартов предприятия, инструкций, а также по их обучению, повышению квалификации и аттестации;

в) формальное проведение внутренних аудитов, анализа со стороны руководства, формирование и представление отчетного и аналитического материала в СДС «Электрон-серт».

Анализ и систематизация описанных выше несоответствий, выявленных в ходе первичной сертификации и периодических аудитов СМК предприятий поставщиков ЭКБ, позволил ранжировать эти организации по трем группам.

Первая группа – предприятия, имеющие достаточную структуру и ресурсы для обеспечения функционирования, поддержания и развития СМК и компетентности персонала на требуемом уровне.

Вторая группа – это предприятия, имеющие перманентные изменения структуры, при которых чаще всего страдают как отделы надежности, так и метрологическая служба, служба качества. Юридический статус функций и задач этих предприятий не отражается в документах СМК, должностных инструкциях, а отдельные виды работ (например, по проведению входного контроля химических реактивов) не возложены на конкретные подразделения.

Третья группа – это молодые предприятия, где прекрасно развита система проектирования и разработки изделий, но в рассматриваемых вопросах у них есть серьезные несоответствия, связанные с недостаточным знанием требований НД и расстановкой приоритетов деятельности.

Проведенный анализ также позволил отметить, что система менеджмента поставщиков ЭКБ не в полной мере оперирует на практике аппаратом применения критериев и показателей для оценки их деятельности по эффективности и качеству, которые заказчик применяет, выбирая партнера в дальнейшем производстве РЭА.

Исходя из вышеизложенного, проведенный анализ несоответствий при сертификации СМК, квалификации поставщиков ЭКБ показывает, что существует противоречие между возрастающими требованиями к СМК предприятий-поставщиков ЭКБ и недостаточной эффективностью ее функционирования.

Частичное разрешение данного противоречия возможно путем решения одной из актуальных научных задач.

Вербальная постановка актуальной научной задачи может быть сформулирована следующим образом: на основе анализа несоответствий при сертификации СМК, квалификации поставщиков ЭКБ разработать отвечающий современным требованиям методический подход к количественной оценке эффективности функционирования СМК.

На данном этапе было бы целесообразно решение актуальной научной задачи по определению интегрального

критерия функционирования СМК проводить декомпозированно двумя последовательно решаемыми задачами:

- на основе экспертно-балльного метода ранжирование критериальных показателей СМК;
- определения весовых значений критериальных показателей СМК.

В ходе решения поставленных задач необходимо понимать, что критерии должны отражать способность поставщика ЭКБ обеспечивать выполнение требований к СМК, установленных с учетом состава требований для каждой подсистемы. Такие критерии будем называть частными.

В таблице 1 приведены частные критерии СМК поставщика ЭКБ.

Таблица 1  
Частные критерии СМК поставщика ЭКБ

№ подсистемы	Оцениваемая подсистема	Обозначения частных критериев	Критерии подсистем	Важность частных критериев (P)
1	2	3	4	5
1	Управление документацией и записями	K1	Способность поставщика ЭКБ разработать документы СМК и обеспечить управление ими	3
2	Менеджмент ресурсов	K2	Способность поставщика ЭКБ определить и обеспечить ресурсы, необходимые для внедрения и поддержания в рабочем состоянии СМК и повышения удовлетворенности потребителей	4
3	Процессы, связанные с потребителем	K3	Способность поставщика ЭКБ обеспечить закупку и поставку ЭКБ в соответствии с условиями договора с потребителем	5

Наиболее важным критерием является критерий K3.

Для количественной характеристики частных критериев показатели выбираются с учетом особенностей состава требований, входящих в соответствующую подсистему.

Количественная оценка (K1, K2, K3) понятий «доля» и «степень» определяется как число из диапазона «0-1» с учетом содержательной характеристики каждого показателя. Важность показателей определена методикой и изменению не подлежит.

Таблица 2  
Показатели для оценки частного критерия K1

№ показателя	Обозначение показателя	Содержание показателя	Важность показателя (Q)
1	2	3	4
1	D1	Доля неуправляемых документов СМК	5
2	D2	Доля документов СМК (процедур, процессов), не используемых (частично используемых) в работе поставщика ЭКБ	3
3	D3	Доля записей не находящихся под управлением	3

Таблица 3  
Показатели для оценки частного критерия K2

№ показателя	Обозначение показателя	Содержание показателя	Важность показателя (H)
1	2	3	4
1	P1	Доля выполненных пунктов планов по подготовке и аттестации персонала	4
2	P2	Степень выполнения требований к производственной среде	4
3	P3	Доля инфраструктуры способной обеспечить требования к продукции	5

Таблица 4  
Показатели для оценки частного критерия K3

№ показателя	Обозначение показателя	Характеристика показателя	Важность показателя (Y)
1	2	3	4
1	P1	Доля объема закупленной продукции, соответствующей технической и сопроводительной документации	4
2	P2	Доля объема закупленной продукции, подвергающейся инструментальному контролю при проведении входного контроля	5
3	P3	Доля продукции, поставленной потребителю в соответствии с требованиями к качеству	5

Величина частных критериев  $K_1, K_2, K_3$ , определяется как средневзвешенная оценка показателей, приведенных в таблицах 2, 3 и 4.

Величина интегрального критерия  $\bar{K}$  определяется как усредненное значение величин частных критериев, приведенных в таблице 1.

Значение интегрального и частных критериев определяется экспертной группой, состоящей из экспертов по данному направлению.

В таблице 5 приведены расчетные формулы для оценки частных критериев и интегрального критерия и усредненного критерия  $\bar{K}$ .

Таблица 5  
Расчетные формулы для оценки интегрального и частных критериев

№ подсистемы	Обозначение критерия	Расчетные формулы для оценки критериев	Примечания
1	$K_1$	$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 D_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^3 \alpha_i}$ где $D_i$ – значение $i$ -го показателя; $\alpha_i$ – важность показателя.	–
2	$K_2$	$K_2 = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i U_i}{\sum_{i=1}^4 U_i}$ где: $P_i$ – значение $i$ -го показателя; $U_i$ – важность показателя.	–
3	$K_3$	$K_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 \mu_i Y_i}{\sum_{i=1}^3 Y_i}$ где: $\mu_i$ – значение $i$ -го показателя; $Y_i$ – важность показателя.	–
4	$\bar{K}$	$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^3 K_i \mu_i}{\sum_{i=1}^3 \mu_i}$ где: $K_i$ – значение $i$ -го показателя; $\mu_i$ – важность показателя.	–

Таблица 6  
Интерпретация полученных значений частных критериев SMK

Полученная оценка частных критериев	Состояние $i$ -го элемента SMK
1	2
$K_{i\text{смк}} \leq 0,6$	Недопустимое
$0,6 < K_{i\text{смк}} \leq 0,75$	Допустимое
$0,75 < K_{i\text{смк}} \leq 0,95$	Достаточное
$K_{i\text{смк}} \geq 0,95$	Высокое

Таблица 7  
Интерпретация полученного значения интегрального критерия SMK

Критерий	Полученная оценка интегрального критерия	Характеристика функционирования SMK
1	2	3
1	$\bar{K} \leq 0,6$	Фактическая не реализуемость поставщиком ЭКБ требований к SMK
2	$0,6 < \bar{K} \leq 0,85$	Реализуемость поставщиком ЭКБ требований к SMK сомнительная
3	$0,85 < \bar{K} \leq 0,95$	Реализуемость поставщиком ЭКБ требований к SMK вызывает доверие
4	$\bar{K} \geq 0,95$	Реализуемость поставщиком ЭКБ требований к SMK соответствует установленным требованиям

При критериях 1 и 2 (таблица 7) разрабатывается «План мероприятий по повышению характеристик функционирования SMK».

Рассматривая вопросы сертификации SMK поставщиков ЭКБ в АНО «Электронсертифика», необходимо обратить внимание на некоторое преимущество и отличительную особенность требований и процедур работы органов по сертификации SMK СДС «Электронсерт» от органов, аккредитованных в других системах добровольной сертификации.

Систему требований к ЭКБ на различных этапах ее жизненного цикла и состав информационного поля по результатам изготовления, испытаний и применения ЭКБ можно условно классифицировать по шести базовым уровням (рис. 1). При этом целесообразно использовать

следующую систему объединения требований нормативной базы (по мере перехода от наиболее общей к специализированной для ЭКБ и отдельных номенклатурных групп):

- первый уровень – это документы СРПП ВТ, в области SMK существует ГОСТ РВ 0015–002;
- второй уровень – это комплекс государственных военных стандартов «Климат», который распространяется фактически на все группы ЭКБ и расширяет требования ГОСТ РВ 0015–002;
- третий уровень – это нормативные документы на группы однородной продукции (22 группы Перечня ЭКБ), категории общие (групповые) технические условия, методы испытаний (которые в настоящее время действуют как в статусе ГОСТ, так и в статусе отраслевых стандартов);
- четвертый уровень – это стандарты, вида отраслевых документов на отдельные группы ЭКБ, устанавливающие требования к технологическим процессам, статистическому контролю, мониторингу качества;
- пятый уровень – это положение о Перечне ЭКБ 01-22, Положение о порядке применения ЭКБ ИП, оценка уровня качества изготовления ЭКБ (КУАК);
- шестой уровень – это руководящие документы СДС «Электронсерт», устанавливающие требования к органам по сертификации, испытательным лабораториям (испытания в т.ч. ЭКБ ИП, ОТК и РФА), системе менеджмента качества, в т.ч. ЭКБ СНГ, с учетом особенностей НД на ЭКБ, порядка их разработки, изготовления и применения (Foundry, сборка, технологическая услуга и т.д.).

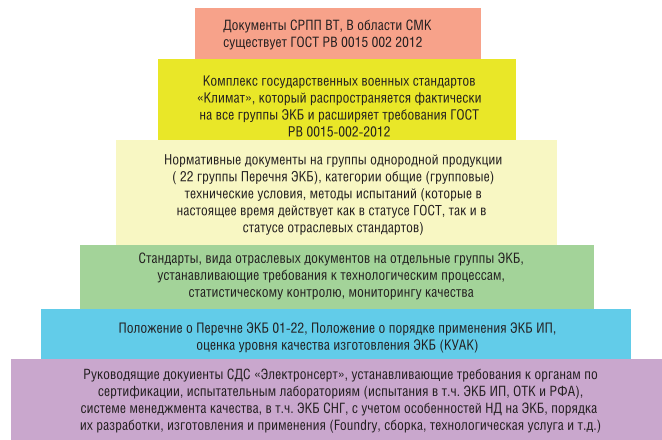


Рис. 1. Нормативно-методическая база и особенности Системы Добровольной Сертификации «Электронсерт»

Следовательно, органы по сертификации СДС «Электронсерт» осуществляют работы в рамках процедур сертификации на основе реализации на предприятиях документов всех четырех уровней.

В других СДС как подготовка экспертов, так и работы по сертификации ориентированы максимум на документы первых двух уровней, что существенно снижает достоверность оценки состояния как функционирования SMK предприятий, так и деятельности в целом.

В связи с большой ответственностью организаций поставщиков ЭКБ при реализации функций обеспечения комплектования РЭА изделиями различных категорий качества АНО «Электронсертифика» разработала и предла-

гает методический подход к количественной оценке эффективности функционирования СМК таких организаций.

Было бы целесообразно, чтобы предлагаемый методический подход после апробации был включен в состав методических документов СДС «Электронсерт».

Таким образом, применение представленного аппарата и методического подхода в решении поставленной задачи,

поколичественной оценки эффективности функционирования СМК, позволит с достаточной степенью достоверности оценивать состояние зрелости СМК поставщика ЭКБ, выявлять проблемные аспекты их деятельности и организовывать системную работу по устранению несоответствий в СМК.

#### Литература:

1. Подъяпольский С.Б., Косенюк В.М. Новое в требованиях ЭС РД 010–2020 «Требования к поставщикам ЭКБ и порядок их квалификации», Радиозлектронная отрасль: проблемы их решения. – № 1. – 2021. – Мытищи. – С. 30.
2. ЭС РД 003–2020 «Требования к органу по сертификации систем менеджмента качества».
3. ЭС РД 010–2020 «Требования к поставщикам электронной компонентной базы и порядок их квалификации».
4. ЭС РД 015–2020 «Порядок сертификации систем менеджмента качества».

УДК 006.01

## СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА КАК ЭЛЕМЕНТ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭКБ

### CERTIFICATION AS AN ELEMENT OF A COMPREHENSIVE QUALITY ASSURANCE SYSTEM OF ECB

**Подъяпольский С.Б.**, к.т.н., **Осипова Е.М.**, ФГУП «МНИИРИП», +7(495) 586-17-21, psb@mniirip.ru, osipova@mniirip.ru  
**Podyapolskii S.B.**, Ph.D. of engineering sciences, **Osipova E.M.**, FSUE «MNIIRIP», +7(495) 586-17-21, psb@mniirip.ru, osipova@mniirip.ru

В статье рассмотрены особенности работ по подтверждению соответствия установленным требованиям, степени внедрения и эффективности функционирования системы менеджмента качества организаций и предприятий в соответствии с их областью деятельности; принципы, закладываемые в порядок проведения работ (алгоритмы) в системе добровольной сертификации «Электронсерт».

The article discusses the features of work to confirm compliance with the established requirements, the degree of implementation and effectiveness of the quality management system of organizations and enterprises in accordance with their field of activity; the principles laid down in the order of work (algorithms) in the system of voluntary certification «Electroncert».

**Ключевые слова:** оценка качества, сертификация, система менеджмента качества, электронная компонентная база.  
**Keywords:** quality assessment, certification, quality management system, electronic component base.



Подъяпольский С.Б.

Система добровольной сертификации «Электронсерт» (далее – СДС «Электронсерт») создана ФГУП «МНИИРИП» в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» № 184-ФЗ, ст. 20 «Формы подтверждения соответствия», п. 2 и ст. 21 «Добровольное подтверждение соответствия» и зарегистрирована Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии 21.02.2014 г. (регистрационный № РОСС.RU.B1169.04 ЖНБО от 21.02.2014 г.) [1].

Система добровольной сертификации «Электронсерт» является элементом комплексной системы управления качеством и применения электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) и материалов военного, двойного и народно-хозяйственного назначения, в том числе изготавливаемой на предприятиях государств-участников СНГ и ЭКБ иностранного производства.

Участниками работ в СДС «Электронсерт» в области сертификационной деятельности и оценки компетентности являются:

- дизайн-центры, разработчики-изготовители ЭКБ ОП, разработчики-изготовители ЭКБ СНГ, изготовители

пластин с кристаллами заказанных элементов, организации, оказывающие технологические услуги (аутсорсинг);

- органы по сертификации систем менеджмента качества и продукции;

- испытательные лаборатории (в области испытаний ЭКБ ОП, ЭКБ ИП, ЭКБ категории качества ОТК, дополнительных испытаний для высоконадежной ЭКБ, проверки наличия признаков контрафакта);

- квалифицированные поставщики ЭКБ.

Деятельность СДС «Электронсерт» направлена на организацию и проведение работ в областях:

- оценка компетентности (аккредитации) испытательных лабораторий (центров), органов по сертификации систем менеджмента качества, органов по сертификации продукции, аттестации экспертов;

- сертификация систем менеджмента качества предприятий-разработчиков/изготовителей и поставщиков ЭКБ;

- квалификация поставщиков ЭКБ отечественного и иностранного производства;



Осипова Е.М.

- разработка нормативной базы с учетом особенностей процессов разработки/изготовления, хранения и испытаний различных классов ЭКБ;

- организация и проведение обучения по подготовке и повышению квалификации экспертов по сертификации систем менеджмента качества, аккредитации органов по сертификации систем менеджмента качества, органов по сертификации продукции, испытательных лабораторий (центров) и менеджеров по качеству.

К взаимосвязанным элементам комплексной системы обеспечения разработки, производства и применения ЭКБ могут быть отнесены:

- подсистема формирования и организации проведения и приемки ОКР в области разработки и постановки на производство ЭКБ и материалов;

- подсистема разработки и внедрения нормативно-методических документов по требованиям к ЭКБ, подтверждения соответствия, контроля и оценки качества исследования причин и механизмов отказов ЭКБ на всех этапах жизненного цикла, включая основополагающие стандарты КГВС «Климат», НД на группы однородной продукции, в том числе на новые объекты поставки (пластины с кристаллами заказанных элементов), ЭКБ категории качества ОТК и иностранного производства для применения в образцах ВВСТ;

- подсистема процедур формирования номенклатуры ЭКБ отечественного производства и производства предприятий СНГ, разрешенной к применению при разработке, производстве (модернизации), эксплуатации образцов вооружения и их составных частей (Перечень ЭКБ 01–22);

- подсистема управления применением ЭКБ иностранного производства, включающая участников и процедуры обоснования выбора, организацию закупок, испытаний и обеспечения формирования страховых запасов;

- мониторинг состояния качества применяемой ЭКБ, в том числе отечественного производства, производство на различных этапах жизненного цикла продукции (от изготовления до эксплуатации в образцах вооружения), исследования причин и механизмов отказа ЭКБ, разработка мероприятий по их предупреждению.

Сертификация системы менеджмента качества (далее – СМК) предприятий разработчиков/изготовителей и поставщиков ЭКБ, будучи элементом такой системы, позволяет осуществить оценку эффективности деятельности каждой организации при реализации требований совокупности элементов комплексной системы обеспечения качества разработки, производства и применения ЭКБ.

Принципы, закладываемые в порядок проведения работ (алгоритмы) в системе, предусматривают формирование состава входных данных как информации от одних элементов с целью их использования в ходе реализации процедур проведения анализа и получения результатов работ (выходных данных) по функционированию других элементов.

Состав элементов, осуществляющих информационно-управляющее взаимодействие между собой и с СДС «Электронсерт», представлен на рис. 1.

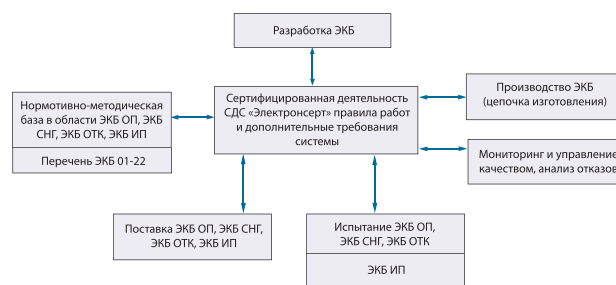


Рис. 1. Состав элементов системы управления и обеспечения качества ЭКБ

Стандартная методика работы органов по сертификации всех систем добровольной сертификации при оценке эффективности функционирования СМК предприятий базируется только на основе проверки выполнения предприятием требований основополагающего стандарта ГОСТ РВ 0015–002–2012 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Система менеджмента качества. Общие требования». Использование в проведении работ по сертификации СМК организаций, осуществляющих деятельность в области разработки (проектирования), производства, испытаний и поставок ЭКБ, нормативной базы КГВС «Климат» и НД на группы однородной продукции, а также дополнительной информации в области качества применительно к номенклатуре каждой организации является важной особенностью СДС «Электронсерт» [2].

Такой подход позволяет провести более достоверную оценку эффективности функционирования всех процессов СМК организации при одновременном сборе информации о выполнении мероприятий (например, работ по повышению качества изделий, внедрения требований разработанной НД и т. д.), предусматриваемых другими элементами комплексной системы управления ЭКБ.

Основываясь на формируемом подходе, разработан общий алгоритм проведения работ в области сертификационной деятельности. Рассматривая основные типы алгоритмов управления, на базе которых предлагается строить работу в области сертификации, с учетом вводимых ограничений по времени проверки и (или) количеству участвующих в работе экспертов, для построения модели работы может быть выбран один из двух типов алгоритмов – линейный или разветвленный.

Ниже представлен разработанный обобщенный разветвленный алгоритм проведения работ по оценке эффективности функционирования СМК организаций (рис. 2), осуществляющих весь комплекс работ по созданию и поставке ЭКБ (разработка, производство, испытание и поставка ЭКБ). Проведение работ в соответствии с данным алгоритмом предусматривает максимальное использование в качестве входных данных требований нормативных и методических документов всех уровней и данных о возможностях и качестве выпускаемой продукции [3].

Трансформация данного алгоритма при оценивании СМК организаций, выполняющих только часть функций, например, только производство конкретных типов ЭКБ, влечет за собой исключение из представленного алгоритма процессов, связанных с разработкой ЭКБ. Реализация разработанного алгоритма позволяет повысить достовер-



ность и сопоставимость оценок функционирования организаций, осуществляющих одинаковые виды деятельности, и получить в едином формате информацию, исполь-

зуемую в дальнейшем для совершенствования работ по функционированию элементов системы управления и обеспечения качества ЭКБ.

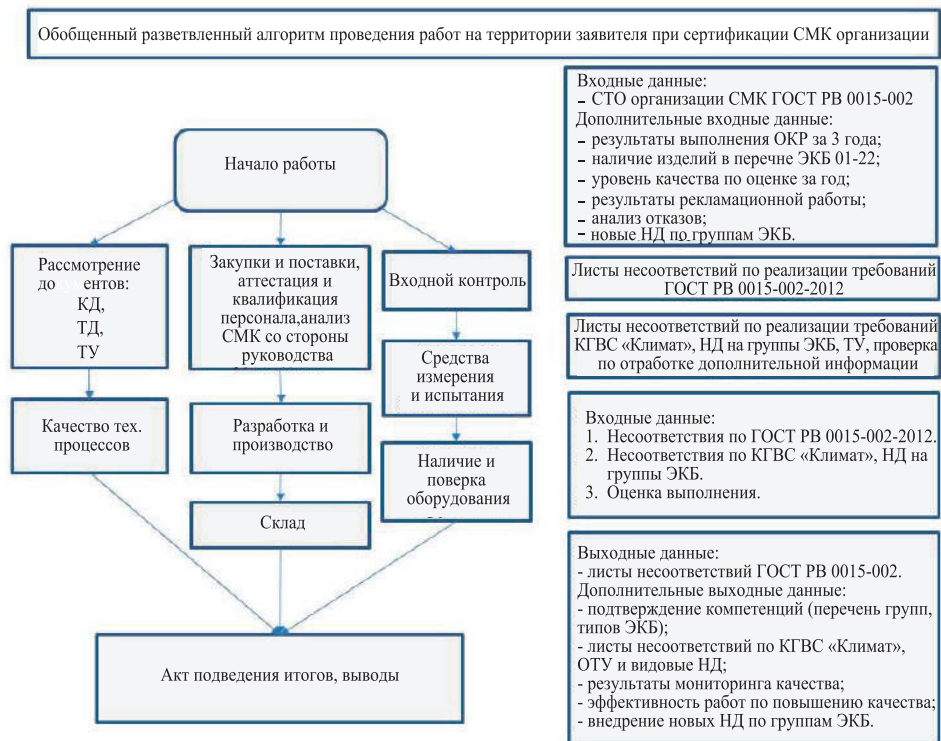


Рис. 2. Обобщенный разветвленный алгоритм проведения работ по оценке эффективности функционирования СМК организаций

Особенностью работ, проводимых в СДС «Электронсерт», является ее глубокая интеграция с задачами, возложенными на учредителя системы – ФГУП «МНИИРИП», департаментом радиоэлектронной промышленности Минпромторга России в части обеспечения и контроля качества ЭКБ, используемых при разработке, производстве, модернизации, ремонте военной, специальной техники и прочих областей применения. Система должна обеспечивать внедрение современных требований нормативной базы, ориентироваться на направления развития, определенные «Стратегией развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года», и учитывать современные проблемы международного сотрудничества в области поставки и подтверждения качества ЭКБ.

Документы СДС «Электронсерт» имеют глубокую специализацию, учитывающую особенности процессов разработки, производства, испытаний (в том числе сертификационных), применения и поставки ЭКБ, в том числе разработанной по радиационно-стойкой технологии.

Также в рамках работы СДС «Электронсерт» предусматривается развитие системы нормативных документов с целью создания методических документов для проведения первичной аттестации разрабатываемых современных технологических процессов новых производств, производств изделий, разрабатываемых в режиме «фаундри», и аттестации техпроцессов создания высоконадежной радиационно-стойкой ЭКБ.

#### Литература:

1. ЭС ПФ 001–2014 «Система добровольной сертификации «Электронсерт». Правила функционирования». – М., 2014. – 62 с.
2. ЭС РД 015–2020 «Система добровольной сертификации «Электронсерт». Порядок проведения работ по сертификации». – М., 2020. – 106 с.
3. ЭС РД 003–2020 «Система добровольной сертификации «Электронсерт». Требования к органу по сертификации систем менеджмента качества». – М., 2020. – 54 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

### THE COMPARISON REVIEW OF ELECTRONIC COMPONENTS AUTOMATED TESTING EQUIPMENT SOFTWARE

**Евстигнеев А.А., Гаврилов В.А.,** ООО «ГК «СНАБЖЕНИЕ», +7 (921) 772-45-10, evstigneev@gksnab.ru

**Evstigneev A.A., Gavrilov V.A.,** ООО «GC «SUPPLY», +7 (921) 772-45-10, evstigneev@gksnab.ru

В статье приводится обзор наиболее популярных программных средств, применяемых при создании автоматизированных комплексов параметрического контроля (измерительных стендов). С инженерной точки зрения сравнивается опыт применения графической среды разработки LabView и высокоуровневого языка общего назначения Python. Рассматриваются достоинства и недостатки обоих программных средств, на основании чего делаются выводы об их наиболее подходящих областях применения.

The article describes some of the most popular software used for automated testing equipment development. The engineers' experience of graphical system-design environment LabView operating is compared with high-level general-purpose language Python programming. The advantages and disadvantages of both software tools are considered, on the basis of which conclusions are drawn about their most suitable areas of application.

**Ключевые слова:** программные средства, параметрический контроль, LabView, Python, языки программирования, автоматизация измерений.

**Keywords:** software, parametric testing, LabView, Python, programming languages, measurement automation.



Евстигнеев А.А.

Параметрический контроль электронных компонентов [1], то есть измерения их параметров и проверка соответствия измеренных параметров установленным нормам, является крайне важным этапом при создании технических устройств.

В особенной степени это утверждение относится к устройствам, работающим в ответственных сферах деятельности, таких как промышленность, транспорт, здравоохранение и энергетика. В таких отраслях выход параметров компонента за установленные нормы границы, что классифицируется как неисправность, может привести к отказу всего устройства и последующему экономическому ущербу, многократно превышающему затраты на параметрический контроль, или даже необратимым последствиям и человеческим жертвам.

Наиболее специфичной особенностью параметрического контроля, отличающего этот процесс от других видов измерений, является его репетитивность – один и тот же набор измеряемых характеристик и параметров повторяется для каждого компонента из выборки, которая в отдельных случаях может быть равна количеству выпущенных в партии электронных компонентов и достигать сотен и тысяч единиц. При современных темпах разработки и производства электронных устройств немислимо производить подобные массовые измерения вручную. Поэтому для каждого компонента создается свой программно-аппаратный комплекс (измерительный стенд), производящий необходимые измерения за минимально возможное время и с минимальным участием оператора, как правило сводящимся к начальной сборке и настройке стенда и установке измеряемых компонентов.

Широкое внедрение в повседневную жизнь персональных компьютеров привело к тому, что практически любой измерительный прибор от бытового мультиметра до высокоточного универсального векторного анализатора СВЧ-

устройств имеет интерфейс связи с компьютером и (чаще всего) поддерживает стандартный протокол SCPI, позволяющий организовать их взаимодействие и объединить в простейший измерительный стенд. Тем не менее, для полноценной работы со стендом, кроме аппаратной части, необходимо соответствующее программное обеспечение – те программы и приложения, которые автоматически управляют процессом параметрического контроля.

**Графическая среда разработки LabView [2]**, разрабатываемая с 1986 г. компанией National Instruments (США), пользуется огромной и заслуженной популярностью в научно-техническом сообществе. В чем же причины такого широкого распространения?

В первую очередь, необходимо отметить, что LabView представляет собой графическую среду разработки, освоиться с которой пользователю, не являющемуся специалистом в программировании, значительно проще, чем с любым традиционным текстовым языком программирования. Работу в подобных средах часто называют «программированием мышкой» – от пользователя не требуется знание специфичных для языка операторов функций и конструкций. Достаточно разместить на бесконечном поле выбранные из встроенного набора блоки-функции, не вдаваясь во внутренние подробности их устройства, соединить их линиями-проводниками данных в блок-диаграмму. Результатом будет программа, способная после запуска выполнять требуемые действия. Причем специфика работы в LabView такова, что популярные ошибки, такие как несоответствие типов данных, отсекаются на стадии конструирования – среда их автоматически помечает и не запускает программу до тех пор, пока они не будут исправлены.

Набор блоков-функций, предоставляемых LabView, настолько обширен, что позволяет реализовать самую сложную математическую обработку данных – причем сделать это с той же легкостью, что и базовые арифметические вычисления. Для пользователя нет принципиальной разницы – разместить блок, осуществляющий сложение

данных в числовой форме, или блок, производящий гораздо более сложную вычислительную операцию, вроде свертки или преобразования Фурье.

Поскольку для пользователя-оператора стенда графический интерфейс гораздо удобнее, чем текстовая консоль-терминал, при разработке программных средств также необходимо учитывать этот фактор. Создаваемые в среде LabView программы по умолчанию обладают графическим интерфейсом, представляя собой виртуальный измерительный прибор. Функционал этого прибора можно с легкостью расширить, добавив любое количество виртуальных элементов управления: переключателей, полей ввода и графических индикаторов. Причем с одинаковой простотой добавляется как индикатор-«лампочка» логической переменной «вкл./выкл.», так и экран-график, отображающий гистограмму массива данных.

Наконец, необходимо обратить внимание на то, что National Instruments производит не только программное обеспечение, но и аппаратные средства: магистрально-модульные платформы для систем измерения, включающие шасси, контроллеры и функциональные модули. Эти средства идеально сопрягаются с LabView, представляя собой, при грамотном выборе, готовое решение поставленной задачи автоматизации.

Есть ли у LabView недостатки? К сожалению, есть. И они представляют собой закономерное следствие тех достоинств, которыми обладает эта среда. Они проявляются не сразу, но становятся все большей проблемой по мере усложнения задач, выполняемых стендом.

Во-первых, одинаковый подход к решению задач любой сложности может означать не только простоту решения для сложных задач, но и сложность для простых. В полной мере это проявляется в синтаксическом анализе текста (парсинге). Большое количество примитивных операций поиска текстового шаблона, его замены или сравнения с предустановленными значениями превращается в громоздкую, сложную и запутанную совокупность блоков и связей, часто эквивалентных одной-единственной строчке на «традиционном» языке программирования. Возможным вариантом решения этой проблемы могут служить блоки-вставки, выполняющие код, написанный на стороннем языке, например, на СИ – при условии, что разработчик владеет этим языком.

Во-вторых, графическое воплощение программной части стенда увеличивается и разрастается (рис. 1). В том числе по мере усложнения самого стенда, его приборной базы и измеряемых параметров компонента. Искать неочевидные ошибки построения программы на двухмерном графическом поле разработчику сложнее, чем в одномерном текстовом листинге – причем на данный момент в LabView до сих пор не реализована возможность масштабирования поля. Упростить задачу может разбивка программной части стенда на подзадачи и выделение их в отдельные функции-подпрограммы. В рамках идеологии LabView такие функции носят наименование виртуальных подприборов и сохраняются в отдельных файлах, которые, в свою очередь, также могут содержать в себе виртуальные подприборы. Таким образом, пользователь, решивший создать копию стенда, столкнется с необходимостью копировать не только сам файл программы, но и все необходимые файлы программ-подприборов, количество

которых может исчисляться десятками. Разработчик же, анализируя работу сторонней программы, вынужден учитывать не только вероятность ошибки в собственноручно сконструированной блок-диаграмме, но и в многочисленных подприборах.

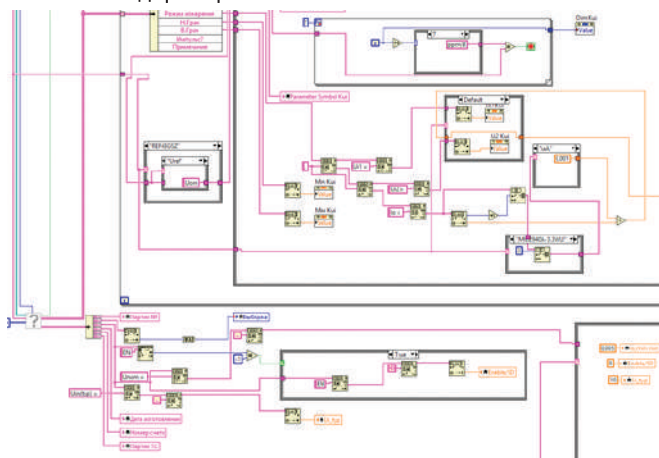


Рис. 1. Фрагмент блок-диаграммы программы автоматизации стенда, созданной в среде LabView

В-третьих, та легкость, с которой LabView позволяет (и даже обязывает) реализовать графический интерфейс, часто приводит к созданию программ с интерфейсом, совершенно избыточным для пользователя. Множество внутренних настроек и органов управления, которые следовало бы скрыть от оператора, размещаются на виртуальной лицевой панели прибора-стенда и вместо ожидаемых удобства и гибкости настройки приводят к дезориентации и ошибкам.

Последним из рассмотренных недостатков, но первым, с которым столкнется потенциальный пользователь, является и тот факт, что среда LabView – проприетарное программное обеспечение и достаточно дорогостоящее. Хотя вариантов его распространения достаточно много – от бесплатных студенческих лицензий до поставляемых вместе с некоторыми устройствами ограниченных по времени использования версий – полноценное коммерческое использование LabView потребует расходов на приобретение. Кроме того, проприетарная модель подразумевает закрытость исходного кода программы, и пользователь никогда не узнает точно, как в действительности реализован тот или иной алгоритм обработки или получения данных, скрывающийся за пиктограммой элемента блок-схемы. В довершение ко всему, поддержка версий LabView для операционных систем, отличных от MS Windows, оставляет желать лучшего.

Типичная задача, для решения которой LabView является идеальным инструментом, – быстрая автоматизация стандартных измерений, например, снятие амплитудно-частотной характеристики полосового фильтра и автоматическое вычисление полосы рабочих частот, неравномерности и подавления на различных отстройках.

Альтернативой использованию готового специализированного программного обеспечения с его недостатками может быть разработка собственного на каком-либо из существующих «традиционных» языков программирования.

Высокоуровневый язык программирования Python [3], являющийся одним из самых популярных языков програм-

мирования, может быть подходящим выбором и для того, чтобы связать персональный компьютер с измерительными приборами и выполнить задачу по сбору, обработке и регистрации экспериментальных данных. Отметим некоторые отличительные особенности этого языка программирования, делающие его привлекательным именно с точки зрения инженера, которому необходимо сконцентрироваться на решении практической проблемы посредством программного обеспечения, а не на чистом программировании.

Python отмечен многими пользователями как необычайно простой и удобный в освоении и использовании язык, на котором можно «писать код со скоростью мысли». Синтаксис языка несложен и зачастую не содержит специфических конструкций, роль которых будет понятна только после предварительного изучения основ. Хотя скорость освоения и разработки на Python не сравнится с «программированием мышкой» в графических средах, текстовые блоки кода значительно проще копировать и заимствовать из других проектов, чем фрагменты блок-диаграмм, если, конечно, они не оформлены в функционально законченные подприборы в случае со средой LabView.

Модульная структура Python позволяет найти решения буквально «на все случаи жизни». Для создания графического интерфейса можно подключить встроенный модуль tkinter или другие (PyQT, PySide), в зависимости от эстетических или практических предпочтений. Для сложной математической обработки больших объемов данных есть модули научных вычислений NumPy и SciPy. Для работы со стандартным измерительным оборудованием применяется модуль PyVISA, фактически использующий те же аппаратные ресурсы, что и LabView. С прибором, имеющим сетевой порт LAN, можно общаться так же, как и с другим Ethernet-устройством через модуль socket. Для обеспечения взаимодействия с устаревшими приборами через низкоуровневые команды по COM-портам подойдет модуль pySerial. Единственной проблемой в данном случае является лишь то, что подобные модули предоставляют инструментарий, но не работают сами по себе, «из коробки».

Следовательно, неизбежно глубокое изучение документации как на применяемый прибор, так и на программный модуль. Причем зачастую это единственный способ продолжать работу с измерительным прибором, который по какой-то причине перестал поддерживаться производителем.

Многие программисты отмечают в качестве преимущества Python его интерпретируемость: фактически, программа представляет собой текстовый файл с кодом (скрипт), исполняемый без промежуточного этапа компиляции. С инженерной точки зрения при переносе программы на

другой компьютер это является преимуществом: скопированный скрипт небольшого размера будет гарантированно запускаться вне зависимости от операционной системы и ее версии. С другой стороны – для надежной работы на другом компьютере должен быть установлен Python нужной версии со всеми необходимыми модулями, что обеспечить сложнее, чем скопировать единственный заранее скомпилированный исполняемый файл программы. В любом случае, невозможно переоценить удобство редактирования кода в любом текстовом редакторе, включая простейший Windows Notepad.

Немаловажным является и открытость языка, что, впрочем, относится и к другим языкам программирования. Как сам Python, так и его отдельные модули находятся в свободном доступе, позволяя полноценно использовать все возможности языка любому желающему. Детальное изучение работы программ упрощено, благодаря открытому исходному коду и не является нарушением каких-либо юридических норм.

Примером успешно решаемой с помощью относительно несложной программы на языке Python задачи может быть измерение параметров выходного сигнала кварцевых генераторов, таких как длительность фронтов и скважность импульсов. Фактически все эти параметры измеряются с помощью встроенных функций осциллографа. Однако Python позволяет не только легко организовать опрос измерительного прибора, но и обеспечить взаимодействие стенда с источником питания, сравнить получаемые значения с заранее загружаемыми критериями и сгенерировать файл-отчет по форме, подходящей для дальнейшей программной обработки.

Таким образом, необходимо отметить, что, сравнивая подход к решению проблемы автоматизации измерительных процессов, легко обнаружить, что однозначного и универсального решения не существует. Стремящийся к скорости и простоте освоения ученый, использующий в своей работе измерительные стенды с постоянно меняющимся и разнообразным составом приборов и объектов измерения, не склонный к изучению языков программирования, предпочтет работу в среде LabView. Аналогичный выбор может сделать и инженер-разработчик, работающий в области параметрического контроля электронных компонентов. Но постепенно решаемые задачи приобретают массовый и стабильный характер, а к средствам их решения возрастают требования по надежности и обеспечению информационной безопасности, что плохо совмещается с закрытым исходным кодом готовых проприетарных сред. На этом этапе имеет смысл обратить внимание на самостоятельную разработку специализированного программного обеспечения, например, на языке Python.

#### Литература:

1. Потапов Л.А., Зотин В.Ф. Методы и средства контроля аналоговых микросхем. – Брянск: БГТУ, 2016. – 52 с.
2. What is LabView? // Официальный сайт фирмы National Instruments URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html> (дата обращения: 21.06.2021 г.)
3. About Python™ // Официальный сайт сообщества разработчиков Python URL: <https://www.python.org/about/> (дата обращения: 21.06.2021 г.)

## КАПЛЕСТРУЙНАЯ ПЕЧАТЬ – НОВЫЙ МЕТОД ПРЕЦИЗИОННОЙ МИКРОСБОРКИ ГИБРИДНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

### INKJET PRINTING – A NEW METHOD OF PRECISE MICROASSEMBLY OF HYBRID INTEGRATED SYSTEMS

**Лучинин В.В.**, д.т.н., **Бохов О.С.**, к.т.н., **Старцев В.А.**, **Мандрик И.В.**, **Аньчков М.Г.**, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», +7(812)234-27-57, cmid\_leti@mail.ru; **Аскерко А.Н.**, ООО «ИЦ Гибкая печатная электроника и фотоника», +7(960) 260-71-80, aan@kbrocket.ru  
**Luchinin V.V.**, Doctor of Technical Sciences, **Bokhov O.S.**, Candidate of Technical Sciences, **Startsev V.A.**, **Mandrik I.V.**, **Anchikov M.G.**, SPbGETU «LETI», +7(812)234-27-57, cmid\_leti@mail.ru; **Askerko A.N.**, LLC «IC Flexible Printed Electronics and Photonics», +7(960) 260-71-80, aan@kbrocket.ru

В статье представлена технология каплеструйной печати как базовая унифицированная технология создания гибридно-интегрированных систем, обеспечивающая интеграцию процессов формирования многослойной коммутации и прецизионной микросборки электронных компонентов.

The article presents the technology of inkjet printing as a basic unified technology for creating hybrid-integrated systems, which provides the integration of the processes of forming multilayer switching and precision microassembly of electronic components.

**Ключевые слова:** каплеструйная печать, микросборка, гибкая электроника, утоненная ЭКБ.

**Keywords:** Inkjet printing, microassembly, hybrid flexible electronics, thinned die.

#### Введение



Лучинин В.В.

В течение последнего десятилетия в рамках динамичного развития аддитивных технологий сформировалась самостоятельная ниша электроники – гибкая печатная электроника (ГПЭ). Многообразие и доступность высокотехнологичной продукции ГПЭ обеспечили формирование нового направления – «Интернет людей». Оно ориентировано на создание инфокоммуникационного пространства с эффективным использованием биометрических данных и функциональных показателей человека для обеспечения персонализированной среды его жизнедеятельности.

Одной из перспективных наукоемких ниш при реализации интернет-концепций является направление «Носимая электроника». В связи со спецификой своего применения такие устройства должны быть конформными, малогабаритными, а также иметь минимальное энергопотребление и низкую стоимость. Необходимые конструктивно-функциональные параметры устройств конформной носимой электроники позволяет обеспечить технология каплеструйной печати, поскольку данный процесс является низкотемпературным и может быть реализован на гибких органических подложках малой толщины, а также при использовании трехмерных подложек. Современной материаловедческой основой ГПЭ является широкая номенклатура базовых функциональных материалов, обеспечивающих формирование металлических, диэлектрических, магнитных, пьезоэлектрических, оптических и люминесцентных композиций.

Наряду со значительными усилиями, направленными на создание гибких конформных изделий исключительно печатными способами, существенный интерес представляют гетерогенная интеграция и формирование в рамках данных технологий гибридных микросборок, основанных на размещении бескорпусной элементной базы на гибких коммутационных платах.

Значительный интерес представляет разработка интегрированной технологии формирования систем коммутации и монтажа компонентов на плате, в том числе гибкой, с применением унифицированной технологии каплеструйной печати. Данная технология является мультифункциональной с точки зрения материаловедческого базиса, гибкой и аддитивной, исходя из возможности прямого формирования рисунка без использования шаблона, включая создание многослойных органо-неорганических композиций. Несомненной новизной является расширение технологических возможностей использования каплеструйной печати для реализации процессов микросборки, в первую очередь, в связи с широким развитием технологий и конструкций, основанных на бескорпусной и утоненной электронной компонентной базах.

Целью представленной работы являлась разработка и исследование технологии каплеструйной печати как базовой унифицированной технологии для обеспечения интеграции процессов формирования систем многослойной коммутации и микросборки электронных компонентов на гибких органических подложках.

#### Каплеструйная печать как базовая технология

Для достижения поставленной цели проведены исследования процессов получения токопроводящих (коммутационных) и диэлектрических (изолирующих) слоев каплеструйной печати.

#### Печать токопроводящими композициями

Для анализа и экспериментального исследования было выбрано четыре типа нанокompозитов на основе наночастиц серебра различного диаметра, помещенных в различных пропорциях в растворители для обеспечения возможности каплеструйного нанесения (таблица 1). Выбранные материалы были рассмотрены с точки зрения совместимости с разрабатываемой технологией каплеструйной печати коммутационных слоев на органических подложках. Итоговый выбор нанокompозита осуществлялся на основе комплексного исследования процесса каплеобразования и анализа топологических параметров формируемых слоев с учетом ограничений, накладываемых низкотемпературным материалом подложки – полиэтиленафталатом (ПЭН), температура размягчения которого составляет 150 °С.

## Печать органическими диэлектрическими композициями

Аналогичное исследование было проведено для процесса нанесения органического диэлектрика, используемого для формирования межслойной изоляции. По результатам этих исследований были даны рекомендации по печати многослойной коммутации каплеустройным методом. Технологические параметры оборудования, используемые при формировании гибких печатных плат для создания гибридных микросборок в рамках данной работы, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технологические параметры оборудования при печати слоев

Параметры	Слой	
	Токпроводящие	Диэлектрические
Количество печатных слоев	8/13	2
Напряжение импульса ВКЛ./ВЫКЛ., длительность импульса ВКЛ./ВЫКЛ.	13 В /6.5 В 3,2 мкс /6,4 мкс	15.5 В /7.8 В 3,2 мкс / 6,4 мкс
Подтягивающее давление	30 мбар	25 мбар
Температура печатающей головки	40 °С	50 °С
Разрешение печати	1441 кнд	1441 кнд
Скорость печати	30 мм/с	30 мм/с
Температура стола	80 °С	25 °С

С учетом возможности осуществлять межслойную коммуникацию, используя сформированные в слое диэлектрика окна, полученная технология позволила создавать многослойные односторонние и двусторонние платы (рис. 2) со следующими характеристиками:

- количество слоев коммутации – до 8;
- минимальная ширина линии – 50 мкм;
- минимальный зазор между линиями – 50 мкм;
- минимальный диаметр формируемых окон – 200 мкм;
- поверхностное сопротивление токпроводящего слоя – 40 Ом/□.

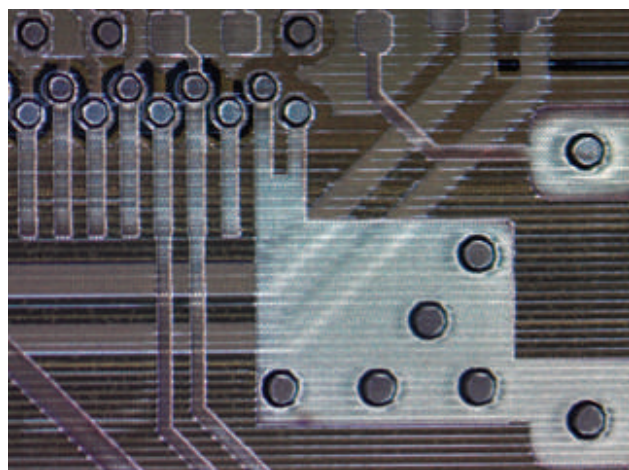


Рис. 2. Пример многослойной платы, полученной по разработанной технологии каплеустройной печати (фрагмент)

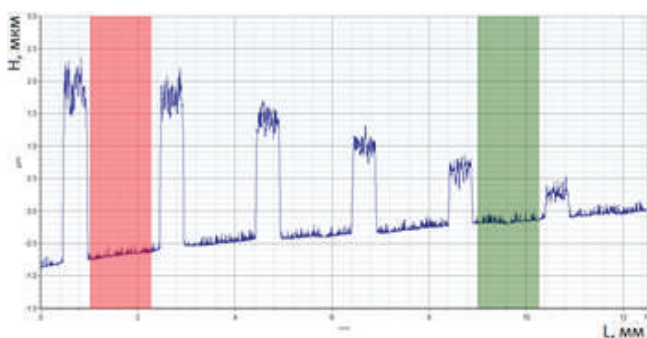
Из-за вариации параметров чернил, обусловленной их старением и неравномерностью растекания, может наблюдаться отклонение реальных параметров коммутационных линий, сформированных каплеустройной печатью, от проектных значений (таблица 3). Установлено, что при реализации коммутационных структур по технологии каплеустройной печати в традиционный алгоритм проектирования и изготовления необходимо ввести этап физико-технологической коррекции тополого-геометрических

Таблица 1

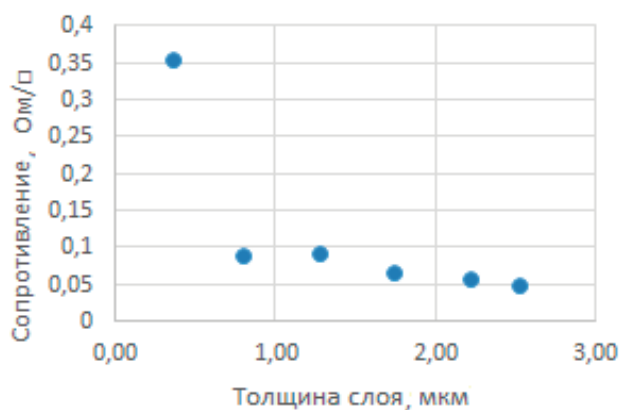
Параметры рассматриваемых токпроводящих материалов

Параметры	Чернила 1	Чернила 2	Чернила 3	Чернила 4
Растворитель	монометилафир трипропиленгликоль	монометилафир трипропиленгликоль	монометилафир трипропиленгликоль	феноксизтанол, пирролидон
Массовая доля металла, %	50	50	50	19
Размер частицы, нм	50–70 90–115	50–85 90–120	50–80 90–120	100
Вязкость, сПз	24	34	37	12–18
Параметры отжига	230 °С, 60 мин.	150 °С, 30 мин.	150 °С, 30 мин.	150 °С, 30 мин.
Поверхностное сопротивление слоя	22 Ом/□ (1...5 мкм)	30 Ом/□ (3.5 мкм)	20 Ом/□ (4 мкм)	<100 Ом/□ (1 мкм)

В процессе исследования было определено требуемое значение удерживающего давления, произведено варьирование параметров импульса (для задания оптимальной формы управляющего сигнала), изучено влияние температуры подложки и печатающей головки на растекание структуры и каплеобразование, изучено влияние разрешения и других параметров печати на цельность формируемого слоя, а также возникающие дефекты. Кроме того, была выполнена профилометрия (рис. 1, а) многослойных структур и измерено сопротивление для композиций с различным количеством печатных токпроводящих слоев (рис. 1, б)



(а)



(б)

Рис. 1. Профилометрия многослойных структур (а) и зависимость сопротивления токпроводящего слоя от его толщины (б)

параметров для обеспечения воспроизводимости требуемых номиналов электрических параметров в процессе печати.

Таблица 3

Средние значения отклонения параметров печатных структур

Сопротивление линий коммутации	От 10 мОм
Номинальное удельное значение	40 мОм/□
Разброс в пределах подложки	1 %
Разброс от подложки к подложке	25 %
Разброс параметров после коррекции	менее 10 %

### Каплетруйная печать как метод микросборки

Разработанная технология каплетруйной печати токопроводящих и диэлектрических слоев может быть эффективна и для реализации процессов микросборки корпусных и бескорпусных электронных компонентов. Рассмотренные далее в данной работе процессы приведены в таблице 4.

Таблица 4

Задачи, решаемые при помощи технологии каплетруйной печати для реализации процессов микросборки

	Описание процесса	Задача, решаемая каплетруйной технологией
1	Монтаж утоненных кристаллов -чипов ИМС, в том числе на гибкие органические подложки	Фиксация компонента на поверхности подложки
		Псевдопланаризация поверхности послойной печатью диэлектрика по периметру кристалла на границе «кристалл –подложка»
		Заполнение окон в слое пассивации для вывода контактов микросхемы на плоскость поверхности пассивирующего слоя
		Формирование многослойной гибкой коммутации с контактными площадками для монтажа компонентов обвязки
2	Монтаж бескорпусных компонентов методом перевернутого кристалла	Электрическое подсоединение контактных систем на кристалле к коммутационной плате
		Формирование многослойной гибкой коммутации с контактными площадками для монтажа
3	Монтаж компонентов с шариковыми выводами методом переворнутого кристалла на анизотропный клей	Модификация контактных систем на кристалле для уменьшения требований к точности совмещения при осуществлении монтажа кристалла компонента на коммутационную плату
		Формирование многослойной гибкой коммутации с контактными площадками для монтажа
		Формирование диэлектрического рельефа на плате комплементарного выводам микросхемы для обеспечения прецизионного совмещения

### Монтаж бескорпусных электронных компонентов на гибкую плату методами каплетруйной печати

Разработан процесс монтажа утоненного кристалла на гибкую плату, при котором обеспечивается гибкость получаемого изделия по всей площади, включая область размещения компонента. По результатам разработки технологии монтажа была зарегистрирована заявка № 2020135134 от 26.10.2020 г. на патент России «Способ изготовления микросборки бескорпусных электронных компонентов на гибких органических подложках».

В предложенном способе компонент размещается на поверхности подложки, что обеспечивает большую площадь контакта монтируемого компонента и подложки, а значит и механическую прочность конструкции, даже при использовании ультратонких подложек. Таким образом,

обеспечивается возможность создания ультратонких сборок.

Дополнительной особенностью процесса является возможность нанесения адгезива для фиксации компонента на поверхности подложки каплетруйной печатью, что позволяет осуществлять его прецизионное дозирование и унифицировать технологический процесс. При этом используется тот же материал, что и при формировании изолирующих слоев многослойной коммутации, а УФ-засветка для его отверждения может производиться с обратной стороны ПЭН-подложки, которая прозрачна для УФ-излучения данной длины волны после размещения компонента.

Интеграция утоненного кристалла компонента в подложку производится псевдопланаризацией подложки в области границы «кристалл–подложка» печатью диэлектрических слоев по периметру компонента с постепенным уменьшением толщины диэлектрического слоя по мере увеличения периметра зоны печати. При этом количество необходимых слоев печати зависит от толщины кристалла электронного компонента. Данный процесс поэтапно отражен в таблице 5, а пример готовой сборки приведен на рис. 3.

Таблица 5

Этапы монтажа каплетруйной печатью утоненного кристалла на гибкую плату

Наименование этапа	Схематическое изображение этапа
1 Нанесение адгезива	
2 Размещение кристалла на подложке (контактными площадками вверх)	
3 Псевдопланаризация поверхности печатью диэлектрических слоев	
4 Печать токопроводящего слоя (нижний коммутационный слой с электрическим присоединением кристалла)	
5 Печать межслойной изоляции	
6 Печать последующих слоев коммутационной платы	

После размещения и фиксации электронного компонента на подложке для обеспечения последующего доступа к контактным системам компонента и его конформного механического закрепления на подложке производится выравнивание перепада высот на границе компонента и подложки. Каплетруйной печатью наносятся слои диэлектрического материала вокруг кристалла компонента с постепенным увеличением периметра зоны печати. При этом за счет перекрытия с предыдущим слоем происходит постепенное сглаживание ступеньки на границе компонента и подложки.

Для достижения максимальной толщины все выравнивающие слои наносятся с отверждением УФ-излучения

после каждого прохода печати, а последний слой наносится с засветкой после окончания печати. При этом сглаживается рельеф поверхности за счет увеличенного времени растекания чернил и образуется однородная гладкая поверхность, необходимая для формирования многослойной коммутации. Полученная псевдопланарная поверхность пригодна для печати металлизации, причем получаемые слои металла одновременно выполняют функцию токоразводки и обеспечивают электрическое присоединение выводов кристалла к коммутации.



Рис. 3. Монтаж утоненного кристалла микросхемы памяти MX25 методом капле струйной печати

Ввиду особенностей слоев, получаемых по технологии капле струйной печати, данный способ пригоден исключительно для монтажа утоненных кристаллов электронных компонентов. Оптимальной является высота менее 50 мкм, а граница сегодняшних технологических возможностей наблюдается при толщинах кристалла порядка 100 мкм. С увеличением толщины кристалла увеличивается и количество планаризирующих слоев, увеличивается площадь структуры и, следовательно, увеличивается сопротивление контактных линий. Кроме того, кристаллы электронных компонентов толщиной ~100 мкм практически теряют гибкость, что не позволяет говорить о реализации основных преимуществ процесса. Например, кристалл микросхемы памяти MX25 толщиной 80 мкм не позволяет получить изгиб с радиусом менее 50 мм.

Необходимо учитывать морфологию поверхности кристалла. В оптимальном варианте контактные площадки кристалла расположены на одном уровне со слоем пассивации поверхности. В этом случае отсутствуют дополнительные изломы печатных линий, которые оказывают значительное влияние на сопротивление коммутационной шины. Если контактные площадки заглублены в слое пассивации, то при печати происходит перераспределение материала с образованием областей с пониженной толщиной структуры (рис. 4). Во избежание этого необходимо подготовить компонент к монтажу: заполнить образующиеся «колодцы» токопроводящим материалом, стравить излишнюю толщину слоя пассивации или иным образом устранить резкие перепады высот.

Помимо заполнения «колодца» контактной площадки к подготовительным операциям также относится выравнивание перепада высот по линии разделения кристаллов и печать разделительных диэлектрических барьеров между близко расположенными контактными площадками.



Рис. 4. Контактное соединение печатью к выводам ИМС: а – вид печатных контактных линий сверху; б – РЭМ-изображение области контакта; в – FIB-срез соединения сфокусированным ионным пучком

#### Процесс монтажа бескорпусных компонентов методом перевернутого кристалла

Для реализации монтажа бескорпусных компонентов методом перевернутого кристалла на поверхности кристалла капле струйным методом формируется диэлектрический подслой без покрытия контактных систем кристалла (таблица 6), а затем на нем формируется коммутационное поле, аналогичное сетке шариковых выводов при использовании BGA-корпуса. Полученную после расстановки шариков припоя или формирования шариковых выводов иным способом структуру можно монтировать как микросхему в WLCSP-корпусе. Помимо увеличения размеров контактных структур (что снижает требования к точности совмещения), такая модификация кристалла бескорпусного компонента позволяет монтировать компоненты с утопленными выводами на анизотропный клей.

Таблица 6

Последовательность процесса трансформации выводов

Технологический этап	Эскиз топологии
Печать слоя, ограничивающего растекание	
Печать диэлектрического буферного подслоя (заполнение поверхности кристалла диэлектрическим материалом)	
Печать коммутационного поля по диэлектрическому подслою	

Для ограничения растекания чернил формирование коммутационного поля проводится в три этапа. На первом этапе формируется барьерный диэлектрический слой по периметру контактных площадок. При этом отверждение слоя производится после каждого прохода печати для обеспечения минимального растекания. На втором этапе вся поверхность кристалла заполняется диэлектриком, а напечатанный на первом этапе барьерный слой препятствует затеканию материала на контактные площадки. В этом случае отверждение слоя производится по окончании процесса печати для получения гладкого слоя. На третьем этапе производится печать матрицы новых увеличенных выводов и коммутационных шин токопроводящими чернилами.

После размещения шариковых выводов на сформированных увеличенных контактных структурах можно осуществлять монтаж компонентов в WLCSP-корпусе,



в том числе рассматриваемый в следующей главе процесс монтажа с использованием каплеустройно сформированного комплементарного диэлектрического рельефа на поверхности платы для финального прецизионного совмещения компонента и коммутационной платы.

### Процессы сборки корпусных компонентов на гибких печатных платах, изготовленных каплеустройной печатью

Предложен способ сборки микросхем с шариковыми выводами (BGA- и WLCSP-корпуса) на гибких платах с прецизионным совмещением монтируемого компонента с подложкой, формированием комплементарного рельефа на подложке каплеустройной печатью диэлектрического слоя. Особенностью данного процесса является упрощение алгоритма совмещения электронного компонента с коммутационной структурой на подложке при монтаже на анизотропный клей, поскольку в предложенном способе компонент позиционируется на плате за счет его механического вложения в предварительно сформированный каплеустройной печатью диэлектрический рельеф, комплементарный его выводам (рис. 5).

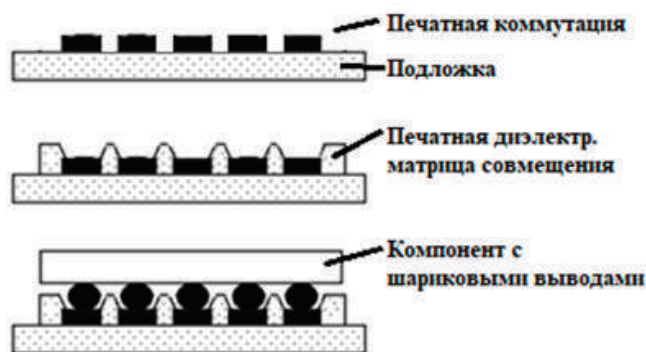


Рис. 5. Схематическое изображение процесса вложения

Был апробирован способ низкотемпературной пайки компонентов на коммутационные структуры, изготовленные каплеустройной печатью. Для реализации пайки потребовалось ввести промежуточную технологическую операцию – химическое осаждение меди (рис. 6).

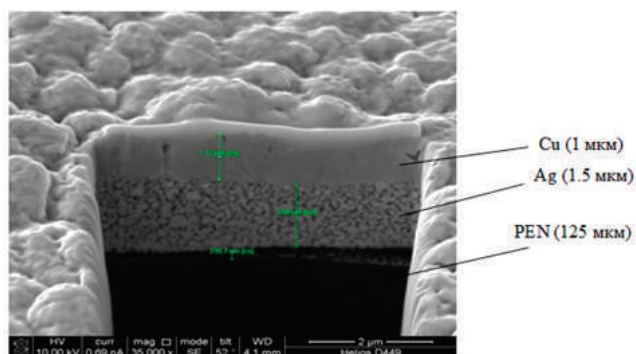


Рис. 6. Срез образца после омеднения серебряного слоя

Несмотря на то, что паянное соединение не обладает гибкостью, а для обеспечения механической прочности в условиях монтажа на органические подложки необходима дополнительная заливка структуры компаундом, данный процесс имеет существенное значение, поскольку позволяет производить монтаж широкого спектра элек-

тронных компонентов в различных вариантах исполнения на коммутационные структуры, изготовленные с использованием каплеустройной печати. Помимо обеспечения возможности пайки, этап химического меднения позволяет наращивать толщину токоведущих шин, нанося дополнительно до 3 мкм меди поверх печатного слоя серебра, что позволяет значительно уменьшить сопротивление коммутационных линий.

Полученную после монтажа «омедненную» плату необходимо изолировать от внешнего атмосферного воздействия для предотвращения окисления. Для этого ее защищают полипараксилиленом, наносимым из газовой фазы.

### Заключение

В статье показано, что каплеустройная печать может являться альтернативной технологией, позволяющей реализовать микросборку и контактирование бескорпусных и корпусных электронных компонентов на гибкой коммутационной плате, в том числе изготовленной методом каплеустройной печати (таблица 7).

Таблица 7  
Разработанные процессы

Разработанный процесс	Достижимый результат	Изображение
Каплеустройная печать токопроводящих и диэлектрических слоев и их многослойных композиций	Формирование многослойной коммутационной платы на гибкой подложке	
Локальная каплеустройная псевдопланаризация поверхности на границе «кристалл – подложка»	Микросборка утоненной ИМС и ее контактирование к коммутационной структуре на гибкой подложке	
Каплеустройная печать на изолированной поверхности кристалла контактных систем, транслированных с периферии кристалла – чипа	Подготовка бескорпусного электронного компонента к размещению шариковых выводов с возможностью последующего монтажа аналогично компоненту в WLCSP-корпусе	
Каплеустройная печать диэлектрической матрицы совмещения, комплементарной выводам ИМС	Прецизионное совмещение шариковых выводов компонента с коммутацией на подложке при реализации процесса монтажа методом перевернутого кристалла	
Химическое осаждение меди на многослойную коммутацию, полученную каплеустройной печатью	Обеспечение надежности соединения навесных компонентов с платой при реализации процесса низкотемпературной пайки	

Таким образом, в рамках единого унифицированного процесса каплеустройной печати реализованы две современные технологии: технология бесшаблонного аддитивного нанесения токопроводящих и диэлектрических слоев и формирования их многослойных композиций и технология монтажа кристаллов электронных компонентов на гибкие органические носители. А также разработаны и исследованы следующие технологические процессы:

- процесс локальной мультислойной каплеустройной псевдопланаризации поверхности по периметру утоненного кристалла бескорпусного электронного компонента, размещенного на подложке, с последующей печатью коммутационных шин по поверхности полученной псевдопланарной многослойной композиции;
- процесс монтажа интегральных микросхем методом «перевернутого кристалла» с предварительным каплеустройным формированием на подложке комплементарного контактным системам микросхемы диэлектриче-

ского рельефа с высокоточным позиционированием ее выводов относительно токопроводки на поверхности платы;

- процесс трансформации капле струйной печатью периферийных выводов кристалла ИМС в новое коммутационное

поле на зонально-изолированной поверхности кристалла в виде увеличенных контактных площадок и шин коммутации для последующего контактирования шариковыми выводами при реализации процесса монтажа по методу перевернутого кристалла.

#### Литература:

1. Лучинин В.В. Мультидисциплинарные технологии. Гибкая электроника и фотоника // Нано- и микросистемная техника. – 2013. – № 12 (161). – С. 2–6.
2. Лучинин В.В., Бохов О.С., Афанасьев П.В., Мандрик И.В., Старцев В.А., Смирнов А.В., Никонова В.А. Гибкая печатная конформная электроника. Отечественные компетенции и электронные компоненты // Наноиндустрия. – 2019. – Т. 12. – № 6(92). – С. 342–350.
3. Бохов О.С., Афанасьев П.В. Электрогидродинамический способ печати наноразмерных 2D- и 3D-структур // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – Т. 19. – № 8. – С. 475–478.
4. Vochoh O., Afanasev P., Grooten M., Henk van Broekhuizen, Startsev V., Mandrik I., Nikonova V., Smirnov A. Super inkjet technology machine development for additive 3D Manufacturing // International Scientific Journal «Industry 4.0». – 2019. – P. 175–178.
5. Афанасьев П.В., Бохов О.С., Мандрик И.В., Старцев В.А. Капле струйная технология гибкой печатной электроники для изготовления пассивных компонентов // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – Т. 19. – № 8. – С. 465–468.
6. Топталов С.И., Устинов Е.М., Афанасьев П.В., Бохов О.С., Мандрик И.В., Старцев В.А. Создание антенных печатных модулей капле струйной технологией // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – Т. 19. – № 8. – С. 470–473.
7. Бороденков Н.И., Бохов О.С., Смирнов А.В., Шилков В.М. Разработка программных средств для проектирования и создания устройств гибкой печатной электроники // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – Т. 19. – № 8. – С. 459–462.
8. Афанасьев П.В., Бохов О.С., Лучинин В.В. Научно-технологический комплекс экспресс-прототипирования изделий гибкой электроники и фотоники // Наноиндустрия. – 2013. – № 6(44). – С. – 94–104.
9. Лучинин В.В. Российский пилотный проект инжинирингового центра «Гибкая печатная электроника и фотоника» // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – Т. 19. – № 8. – С. 451–455.
10. Лучинин В.В. Индустрия микро- и наносистем: от импортозамещения к технологическому суверенитету // Наноиндустрия. – 2018. – Т. 11. – № 6(85). – С. 450–461.
11. Лучинин В.В., Бохов О.С., Мандрик И.В., Старцев В.А., Смирнов А.В. и др. Конформно интегрируемая электронная компонентная база гибкой печатной электроники для Интернета людей. Электроника НТБ. – 2020. – № 5(00196). – С.82 – 88.

УДК 621.39

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

### STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT DOMESTIC ELECTRONIC COMPONENT BASE



Плис Н.И.

Для выхода отрасли на принципиально новый уровень правительство утвердило Стратегию развития электронной промышленности на период до 2030 года. В документе заявлено увеличение процента российской продукции на

Сегодня производство отечественной электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) в Российской Федерации освоено на должном уровне. Тем не менее большинство компонентов российскими предприятиями по-прежнему закупается за рубежом. Наибольшую долю применения отечественная продукция занимает в военном сегменте и составляет около 85 %. В то же время на мировом рынке она едва достигает 1 %.

внутреннем рынке, в частности рост производства высоко-технологичных товаров. Подробнее об этом рассказал автор более 30 печатных работ и 5 авторских свидетельств и патентов на изобретения, почетный радист СССР, первый заместитель генерального директора АО «Ангстрем» Плис Николай Иванович.

**Каково на сегодня, по вашей оценке, состояние рынка электронной компонентной базы в России с точки зрения его распределения между российским и зарубежными поставщиками электронных компонентов?**

Большую часть гражданской области рынка применения ЭКБ России, примерно 72 %, относится к ЭКБ иностранного производства занимают иностранные компании. На долю российских предприятий приходится всего лишь около 28 %. Многие российские производители конечных изделий и оборудования активно закупают электронные компоненты через «вторых поставщиков» у зарубежных

компаний, несмотря на возможность заказывать разработку и производство ЭКБ у отечественных производителей. На АО «Ангстрем» было проанализировано около 35 000 типов импортируемых электронных компонентов. Анализ показал, что имеющимися в России производственными мощностями можно выпускать около 25 000 – 28 000 типов интегральных микросхем и полупроводниковых приборов в виде кристаллов. Но многие импортные интегральные микросхемы, даже имея одинаковый кристалл, выпускаются в разных корпусах, что существенно усложняет их замену для компаний-производителей РЭА и выбор другого поставщика.

#### **Как ситуация с «Ангстремом-Т» отразилась на работе АО «Ангстрем»?**

Для запуска новой производственной линии на технологических нормах 90–130 нм в «Ангстрем-Т» АО «Ангстрем» в течение 10 лет инвестировало почти миллиард долларов и привлекло десятки высококвалифицированных «редких» специалистов, которые должны были сделать то, чего не делалось десятилетиями – запустить и отладить производство на новом оборудовании и освоить новые для нас технологии. Эту масштабную работу удалось успешно осуществить, но ресурсов одного предприятия, даже очень крупного, оказалось недостаточно, чтобы одновременно запустить новое производство и обновить существующее в изменившихся условиях санкций и сложностей в эксплуатации импортного оборудования. Слабость станкостроения делает нас излишне чувствительными к санкционным и экономическим рискам.

#### **Насколько важно развитие отечественного производства электронных компонентов?**

Производство электронных компонентов является базой для производства всей электронной техники, систем управления и связи как гражданского, так и военного назначения. Уже давно невозможно без использования электроники разработать и произвести какое-либо изделие или устройство. На первое место выходит вопрос безопасности государства и основных систем жизнеобеспечения – связи, управления, транспорта, электроснабжения и т. д. Если по политическим мотивам прекращаются поставки каких-либо импортных электронных компонентов, это неизбежно скажется на производстве всех изделий на их основе. Своя микроэлектроника обеспечивает государству и компаниям нечувствительность к разного рода санкциям.

Еще один важный фактор – это возможность проектировать и создавать технику, не имеющую мировых аналогов. Своя ЭКБ позволяет развивать другие отрасли промышленности – станкостроение, приборостроение, телекоммуникацию и т. д. Создавать уникальную технику можно только на современной компонентной базе, особенно если электронные компоненты разрабатывались с учетом специфических требований конкретного производителя этой техники. Наиболее современную технику не продают своим потенциальным конкурентам, это резко снижает возможности конечных производителей электронной техники создавать конкурентоспособную современную продукцию.

И еще, не менее важное, своя микроэлектронная

отрасль позволяет самим проводить опытно-конструкторские работы и научные исследования, создавать новые решения своих задач, а не плестись в хвосте у «более развитых» государств и покупать вчерашний день при импорте. Это дает множество высококвалифицированных рабочих мест и основу для системы высшего образования. Молодые специалисты могут найти хорошо оплачиваемую работу и реализовать свой творческий потенциал здесь, а не искать счастья за рубежом.

#### **Каковы реальные технологические возможности российских предприятий нарастить присутствие на внутреннем и международном рынках электронных компонентов?**

Реальные возможности есть, несмотря на очевидные трудности с производством средств производства, с оборудованием, с его эксплуатацией, АО «Ангстремом» накоплен огромный опыт разработки и производства всех основных типов ЭКБ, выпускается более 2000 наименований электронных компонентов для обороны, космоса, атомной промышленности, транспорта и т. д. Сейчас эта продукция выпускается в металлокерамических корпусах с возможностью использования в жестких условиях эксплуатации. Эта продукция имеет очень высокие характеристики, выпускается небольшими сериями и, соответственно, имеет очень высокую стоимость.

На нашем предприятии уже несколько лет запущена программа по выпуску изделий в пластиковых корпусах, аналогичных по условиям и областям применения, используемых потребителями изделий иностранного производства. На этом направлении есть успехи – освоено производство изделий в корпусах DIP, SO, SOT, всего более 10 типов корпусов. Стоимость многих изделий удалось снизить до вполне конкурентоспособного уровня и наладить серийный выпуск гражданской продукции. Однако, силами одного предприятия, хоть и очень большого, эту задачу не решить. Должен быть целый комплекс мер.

#### **Какие меры можно предпринять, чтобы обеспечить динамичное развитие отечественной электронной компонентной базы?**

Во-первых, нужны заказы на разработку и производство гражданской продукции. Российские производители, получая государственную поддержку, закупают импортную ЭКБ. В тоже время мы можем разработать гражданский вариант микросхем в дешевом пластиковом корпусе и наладить его серийный выпуск. Но для этого нужны инвестиции, которые сейчас невозможно привлечь на разумных условиях. Условия кредитования и налогообложения делают производство нерентабельным. Для компаний-заказчиков такие инвестиции непосильны.

Чтобы решить эту задачу требуется государственная поддержка – компенсация затрат за поставленную продукцию сроком на 2 года. Первые два года новая продукция будет дороже, чем у конкурентов. Компенсация разницы себестоимости и рыночной цены в течение двух лет даст время и ресурсы для оптимизации и модернизации производства и позволит выйти на уровень вполне конкурентоспособной цены. Компенсация затрат позволит также существенно снизить кредитную нагрузку на предприятие

и повысить эффективность использования привлеченных средств.

Вторая важная задача – унификация типов корпусов микросхем для предприятий, получающих государственную поддержку. Одна и та же импортная микросхема может выпускаться в самых разных корпусах. Из 35 000 видов импортных электронных компонентов при унификации типов корпуса можно получить около 6 000. Российская электронная промышленность в таком случае с задачей импортозамещения вполне справится.

Третья важная задача – автоматизация и повышение эффективности производства. Жизненно необходима высокопроизводительная линия сборки в металлопластмассовых корпусах. На производственных мощностях АО «Ангстрем», например, есть возможность создать центр коллективного пользования с комплексной автоматизированной линией сборки интегральных микросхем в металлопластмассовых корпусах. Как для гражданского рынка, так и для оборонной продукции. Это позволит многократно снизить стоимость отечественной ЭКБ. Также это снизит риски для компаний-разработчиков интегральных микросхем, поскольку производство кристаллов, их корпусирование и испытания будут сосредоточены в одном месте на территории России.

Для этого потребуется новое оборудование, которое можно закупать не только за рубежом, но и заказывать его разработку и производство у российских и белорусских предприятий, которые создавались с российскими в едином комплексе. Затраты на развитие отечественного станкостроения также дадут импульс развития всей промышленности России и многократно окупятся синергетическим эффектом во многих других отраслях.

Четвертая задача – восстановление системы подготовки высококвалифицированных инженерных кадров на факультетах электронного машиностроения. Многие специалисты, проработав за рубежом длительное время и получив ценный опыт, возвращаются в Россию.

В качестве преподавателей они смогут передать свои знания и опыт следующему поколению инженеров.

### **Возможен ли поиск частных инвесторов в развитие микроэлектроники?**

Для частных инвесторов слишком велики риски. Инвестиции для запуска нового производства смогут окупиться через десятилетие, не раньше, и потребуют инвестиций в смежных областях. Только государство располагает «длинными» деньгами, которые можно инвестировать в несколько смежных областей для достижения значимого для всего общества результата. Восстанавливая микроэлектронную отрасль целиком, усиливая кооперацию предприятий, при относительно небольших затратах можно получить значительный суммарный эффект во многих смежных отраслях и экономике в целом.

### **Найдется ли в России рынок сбыта для микросхем? Если выходить на экспорт, за счет чего выигрывать конкуренцию у других производителей?**

Российский рынок достаточен для поддержания возможности производить отечественную микроэлектронику, но не достаточен для развития. АО «Ангстрем» в период с 1997 по 2005 гг. активно экспортировал свою продукцию. До 80 % микрокалькуляторов, часов и другой микроэлектроники, произведенной в Юго-Восточной Азии, выпускалось с микросхемами, выпущенными на АО «Ангстрем». Это позволило нам своими силами модернизировать свое производство. Но времена изменились. Наши конкуренты получили масштабную государственную поддержку и буквально выдавили нас с этого рынка. Теперь у нас нет внутренних ресурсов для развития и поддержания производства на высоком уровне.

Но возможность для развития у нас есть – это люди, которые могут проектировать микроэлектронику. Нужны только заказы на выгодных условиях. Много заказов.

УДК 669.112. 228.1

## **ФЕРРИТОВЫЕ ФАЗОВРАЩАТЕЛИ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ FERRITE PHASE SHIFTERS AND THEIR SPECIAL APPLICATIONS**

**Зверев А.П.**, к.т.н., доцент, **Исправникова В.А.**, ФГУП «МНИИРИП», +7 (919) 105-77-37, moizver62@mail.ru; **Озроков И.А.**, Донской Спасательный центр МЧС России, +7(938) 104-21-21; **Zverev A.P.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Ispravnikova V.A.**, FSUE «MNIIRIP», +7 (919) 105-77-37, moizver62@mail.ru; **Ozrokov I.A.**, Donskoy Rescue Center of the EMERCOM of Russia, +7(938) 104-21-21

В данной статье поднят вопрос об использовании радиотехнических систем для обнаружения людей под завалами зданий и сооружений, предложено оборудование, которое целесообразно использовать в приемниках для обнаружения людей под завалами.

The given article raises the question of the use of radio engineering systems for detecting people under the rubble of buildings and structures, suggests equipment that is advisable to use in receivers for detecting people under the rubble.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, фазированная антенная решетка, фазовращатель, радар, завалы зданий, чрезвычайные ситуации природного характера.

**Keywords:** emergency situations, phased array antenna, phase shifter, radar, building debris, natural emergencies.

Целью данной статьи является: предоставление научных результатов от использования ферритовых фазовращателей для поиска людей, попавших в чрезвычайную ситуацию, а именно разрушение зданий и сооружений вследствие возникновения техногенных и природных катастроф.

### **Вводная часть**

В качестве алгоритма статьи рассмотрен вопрос об использовании средств электронной техники для поиска людей, попавших под завалы.

На первом этапе исследования был проведен анализ чрезвычайных ситуаций в России и за рубежом (таблица 1).

Таблица 1

Год, место	Содержание ЧС	Количество погибших	Количество пострадавших	Способы обнаружения
23.03.1995 г. Ростовская обл.	Обрушение кровли трубопрокатного цеха	14	17	Поисково-спасательные операции с помощью сотрудников МЧС
17.07.1997 г. г. Томск	Обрушение крыши одной из казарм Томского высшего военного командного училища связи	12	54	
25.06.1998 г. г. Нальчик	Обвал балкона со зрителями в спорткомплексе «Юность России»	23	47	
04.12.1999 г. г. Зерноград	Обрушение части четырехэтажного кирпичного жилого дома	11	-	
23.02.2006 г. г. Москва	Обрушение кровли и части железобетонных конструкций здания Басманного рынка	68	39	
2010 - 2018 гг.	Обрушение зданий и сооружений	30	58	
05.01.2020 г. г. Банког	Обрушение строящегося здания	36	-	

### Основная часть

Количество ЧС техногенного и природного характера можно было бы продолжать и далее, однако стоит задать вопрос: а как осуществлять и организовывать поиск погибших и пострадавших людей под огромными завалами разной глубины при разрушении домов, а также ЧС природного характера? Ведь в этих ситуациях, некоторые из людей могут оказаться живы, и наша задача прийти вовремя им на помощь и, тем самым, спасти еще живых людей.

Сегодня основными способами поиска людей под завалами являются, по показаниям очевидцев: поисковые собаки, специальные приборы (например, тепловизоры).

Следовательно, на сегодняшний день существует потребность в радарх обзора территорий гражданского применения. Эти устройства необходимы в ходе поиска погибших и пострадавших под завалами людей [1, 2].

Таким образом, возникает задача поиска точного места расположения человек.

Важную роль здесь начинают играть радары обзора территорий с ФАР (фазированная антенная решетка) на фазовращателях. Одним из преимуществ ФАР является возможность быстрого обзора пространства за счет «качания» луча диаграммы направленности.

В ходе исследований собственного микроволнового электромагнитного излучения тел физической и биологической природы возникают проблемы и физического, и

технического характера.

А именно: классификации излучения, разделения на тепловой и неравновесный компоненты, абсолютных измерений энергетических параметров излучения. Стоит заметить, что физические проблемы предопределены тремя факторами, которые могут значительно повлиять на интерпретацию экспериментальных данных:

- во-первых, свойствами исследуемого излучения (в первую очередь его низкой интенсивностью);
- во-вторых, спецификой волноводных измерительных систем;
- в-третьих, особенностями физических свойств, излучающих тел физической и биологической природы.

Анализ проведенных факторов показывает, что пренебрежение данными проблемами может повлечь значительное искажение результатов как абсолютных, так и относительных измерений, а также ошибочную их интерпретацию.

С целью проведения прямых измерений собственного микроволнового электромагнитного тела человека требуется специально разработанная высокочувствительная аппаратура. На сегодняшний день такая аппаратура не произведена.

Стоит заметить, что от тел людей не всегда возможно получить высокие потоки электромагнитных излучений.

В то же время в случае слабых потоков электромагнитных излучений, испускаемых реальными телами, методы и аппаратура должны обеспечивать в первую очередь измерение равновесной компоненты. С учетом изложенного был найден другой путь исследований: принимая во внимание особенности физических свойств кожи человеческого тела в микроволновом диапазоне (в том числе ее крайне низкую пропускающую способность), определять поглощательную энергию возможно на основании формулы:

$$A_V = 1 / |\Gamma|^2 \quad (1);$$

и тепловую излучательную:

$$E_V \sim A_V \quad (2),$$

где:

$|\Gamma|^2$  – коэффициент отражения.

А также способности кожи косвенно испускать электромагнитные излучения, через коэффициент отражения  $|\Gamma|^2$ . Данный коэффициент измеряется волноводными методами с помощью стандартной волноводной техники.

В данной статье рассмотрены физические аспекты регистрации собственного микроволнового электромагнитного излучения человека, определена поглощательная способность некоторых участков кожного покрова человека, выражающая интенсивность его равновесного микроволнового электромагнитного излучения.

При малых интенсивностях регистрируемого излучения в первую очередь следует учитывать собственное тепловое излучение чувствительного элемента приемника. Приемник принципиально не может регистрировать излучение,



Зверев А.П.



Исправникова В.А.

соответствующее его собственной температуре, а отвечает только на то излучение, которое вызывает в нем нарушение термодинамического равновесия. Поэтому в общем случае на практике необходимо контролировать температуру приемника и излучающего тела и вводить в результаты измерений поправки [5].

В случае естественных измерений собственного равновесного микроволнового излучения тела человека с помощью волноводных систем одна из основных проблем заключается в правильной оценке энергии излучения, прибывающего по антенно-волноводному тракту чувствительного элемента измерительного устройства, поскольку волноводная система выступает в качестве селектора типов волн. Кроме этого, на практике необходимо учитывать отражения в системе «тело–антенна» измерительного устройства.

На результаты естественных измерений интенсивности излучения влияет излучение внутренних слоев тела, а также обусловленность излучающих свойств тела от физических свойств среды, в которой оно находится. Чтобы уменьшить действие теплового излучения внутренних слоев на результаты измерений собственного микроволнового ЭМИ тела человека, целесообразно проводить измерения при температурах примерно 40 °С в условиях термостатирования, чтобы исключить естественный градиент температуры по глубине тела вследствие охлаждения внешних слоев [5, 6].

Таким образом, используя волноводные методы и технику, возможно установить параметры излучающего тела в свободном пространстве (коэффициент отражения и поглощательную способность), определяющие его тепловую излучательную способность.

При измерении отражения тела человека в миллиметровом диапазоне объект, как правило, располагался непосредственно возле открытого конца прямоугольного регулярного волновода. В данном случае отражение обусловлено скачком волновых сопротивлений на границе, которая разделяет исследуемый объект и волновод, а результаты измерений характеризуют не сам объект, а систему «объект–волновод». Для измерений коэффициента отражения собственно исследуемого объекта в заданной среде измерительную волноводную систему необходимо оптимально (то есть полностью) согласовать именно с этой средой. В качестве устройства, которое может обеспечить согласование волноводной системы и среды, может быть использована рупорная антенна [3, 6].

Основным преимуществом рупорной антенны является простота конструкции и широкая полоса рабочих частот. Однако из-за большой выходной апертуры рупор имеет малое пространственное разрешение.

Практические измерения и эксперимент проводили с помощью «Измерителя КСВН (коэффициент стоячей волны по напряжению) и ослаблений панорамного, типа Р2–69» в диапазоне частот 54–78 ГГц. Исследовались некоторые участки кожного покрова тела человека и вода.

В эксперименте измеряли КСВН в волноводной линии сечением 3,6×1,8 мм, нагруженной волноводной пирамидальной рупорной антенной, находящейся в непосредственном контакте с исследуемым объектом. Длина рупорной антенны 35 мм, выходная апертура 16×12 мм. КСВН выхода антенны в воздухе КСВв < 1,1, КПД антенны > 95 %. Измеренные значения КСВизм использовались для расчета измеренного коэффициента отражения по мощности:

$$|Г_{изм}|^2 = [(КСВ_{изм} - 1) / (КСВ_{изм} + 1)]^2 \quad (3),$$

где:

$Г_{изм}$  – коэффициент отражения,

$КСВ_{изм}$  – коэффициент стоячей волны, измеренный по напряжению [3, 6].

Таким образом, установленные значения коэффициента отражения  $|Г_{изм}|^2$ , отягощены систематическими погрешностями, обусловленными не идеальностью приемной антенны, а именно, неполным ее согласованием с воздухом ( $КСВв > 1$ ) и наличием потерь  $N$  в материале антенны ( $КПД \eta < 100 \%$ ), что необходимо учитывать при вычислении истинного коэффициента отражения по мощности  $|Г|^2$ .

Потери в антенне приводят к уменьшению измеренного коэффициента  $|Г_{изм}|^2$  отражения по мощности по сравнению с истинным значением  $|Г|^2$ .

Для измерения кожных покровов человека конкретной рупорной антенны потери определяются по формуле:

$$a = P_{ВХ} / P_{ВЫХ} \quad (4),$$

где:

$P_{ВХ}$  – мощность входа,

$P_{ВЫХ}$  – мощность выхода.

Измерение потерь производилось по методике определения затухания четырехполюсников, подчиняющихся принципу взаимности. Методика измерения состоит в определении  $КСВ_{кз}$  в волноводной линии, нагруженной на рупорную антенну, короткозамкнутую на выходном конце. При этом предполагалось, что коэффициент отражения в месте присоединения антенны к измерительной линии мал и им можно пренебречь. Тогда исправленное значение коэффициента отражения по мощности равно:

$$N = P_{ВХ} / P_{ВЫХ} = (КСВ_{кз} + 1) / (КСВ_{кз} - 1) \quad (5),$$

при  $КСВ_{в} = 1,1$  имеем,  $|Г|^2 = 2,2 * 10$ .

В таблице 1 приведены результаты измерений микроволнового коэффициента отражения на частоте 60 ГГц для некоторых участков кожного покрова тела конкретного человека (для разных людей будут разные результаты) и для воды, находящейся в полиэтиленовом пакете с толщиной пленки 0,2 мм [4, 5].

Таблица 1  
Результаты измерений  $|Г|^2$  на частоте 60 ГГц

Измеряемый объект	$ Г_{изм} ^2$
Ладонь человека	0,029±0,007
Тыльная сторона ладони	0,094±0,013
Подушечка большого пальца руки	0,007±0,003
Ноготь большого пальца руки	0,026±0,007
Вода, 20 °С	0,33±0,03

Из таблицы 1 видно, что вода в полиэтилене имеет коэффициент отражения на один порядок выше, чем ладони и рука человека. Данная информация позволяет определить порядок измерения необходимых характеристик при поиске погибших. Иными словами, можно будет на основании контура, определить человек находится ли под завалами или же пролитая жидкость.



Озроков И.А.

Таким образом, при наличии высокочувствительной аппаратуры для измерений микроволнового излучения человека появляется возможность обнаружить тела погибших и пострадавших при ликвидации ЧС [4, 5].

Исходя из вышеуказанного, рупорная антенна имеет свои преимущества для определения человека под завалами, но не является высокоэффективным оборудованием. В связи с этим появляется потребность в создании более эффективного оборудования для измерения параметров тела человека.

В рупорную антенну можно поместить фазовращатели, тем самым создав фазированную антенную решетку. При этом для поиска людей не требуется большой сдвиг фаз (90°, 180°, 360°), а совсем наоборот, для поиска людей необходимо обеспечить узкую территорию обзора. В идеальном случае необходимо обеспечить сдвиг фаз 15°. Тогда поиск людей можно осуществлять практически точно, просматривая весь участок территории.

Далее рассмотрим радары на основе фазированных антенных решеток, принцип их работы описан в [4, 5, 7].

Фазированная антенная решетка (далее – ФАР) это группа фазовращателей, в которых относительные фазы сигналов изменяются комплексно по определенному закону так, что эффективное излучение ФАР усиливается в желаемом направлении и подавляется во всех остальных. ФАР это матрица, где элементом матрицы является фазовращатель.

Существует простая формула из курса физики:

$$V = c / \sqrt{(\mu * \epsilon)} \quad (6),$$

где:

$V$  – фазовая скорость электромагнитной волны;

$c$  – скорость света в вакууме;

$\mu$  – магнитная проницаемость;

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость.

Из этой формулы видно, что фазовая скорость зависит от магнитной проницаемости и диэлектрической проницаемости. Изменяя эти величины, мы можем вводить задержку электромагнитной волны через фазовращатель. В ферритовых фазовращателях мы можем менять магнитную проницаемость. Питание к фазовращателям может осуществляться по воздушному тракту или посредством волноводов.

Схема ФАР представлена на рис. 1. Антенна представляет собой линейку излучателей. Между разделителем мощности и излучателями включены фазовращатели. Ферритовый фазовращатель представляет собой аналоговый феррит цилиндрической формы, на который

намотаны обмотки управления. Меняя ток в обмотках управления (задается блоком управления фазовращателя), мы можем изменять магнитную проницаемость и, соответственно, фазовую скорость электромагнитной волны в фазовращателе [5, 6, 7].

Еще одной аналогией работы ФАР может служить линза.

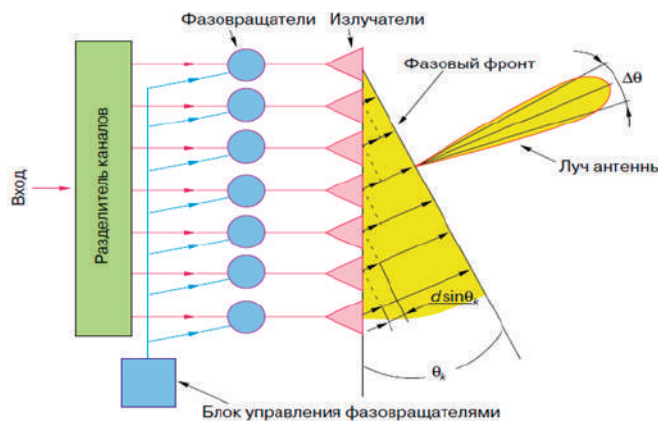


Рис. 1. Схема фазированной антенной решетки

Основной луч располагается перпендикулярно фазовому фронту. На рис. 2 из диаграммы направленности видно, что кроме основного луча есть обратный и боковые лепестки, которые являются паразитными. Уменьшение их уровня является вопросом распределения электромагнитного поля в апертуре решетки. Изменение положения луча в пространстве происходит электрическим образом (практически безынерционно) – именно это качество особенно важно.

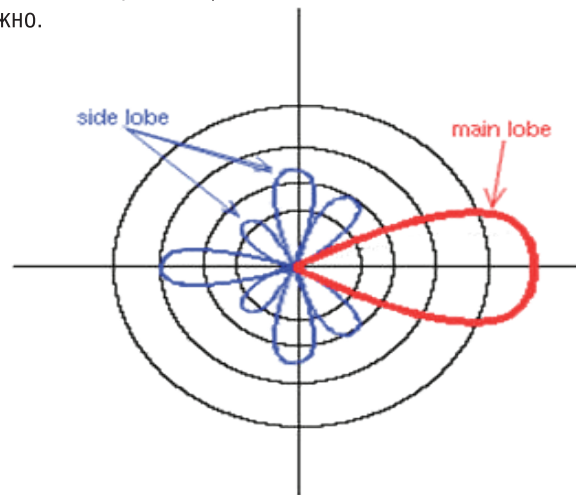


Рис. 2. Диаграмма направленности основного луча ФАР

Электрическое сканирование предоставляет создание разнообразных фазовых сдвигов по всему раскрытию и заметную скорость изменения этих сдвигов при сравнительно небольших потерях мощности. Управление работой фазовращателей осуществляется при помощи быстродействующей электронной системы, которая в простейших случаях управляет группами элементов (например, строками и столбцами в плоских ФАР с прямоугольным расположением излучателей). А в наиболее сложных – каждым фазовращателем в отдельности. Качание луча в пространстве может производиться как по заранее заданному закону, так и по программе, вырабатываемой в ходе работы всего радиоустройства, в которое входит ФАР [3].

На базе описанной схемы возможно разработать портативный радар на треноге с дальностью 100–300 м. Данное устройство сможет обнаружить объекты в пределах сектора 90 ° или 180 ° при отсутствии видимости. Пример такого радара показан на рис. 3.

### Вывод

Таким образом, изготовление ранее рассмотренных радаров обзора позволит всем службам МЧС, находящимся в зоне завалов, осуществлять более эффективный поиск погибших и пострадавших при ликвидации ЧС техногенного и природного характера, таких как обрушение зданий и

сооружений. Предложенный способ является наиболее эффективным ввиду того, что время поиска живых людей идет на секунды, максимум на минуты.



Рис. 3. Радар обзора, установленный на треноге

### Литература:

1. Крупнейшие обрушения зданий в России: хронология <https://tass.ru/info/2114327>.
2. Особенности измерений микроволнового электромагнитного излучения человека <http://nauchebe.net/2012/07/osobennosti-izmerenij-mikrovolnovogo-elektromagnitnogo-izlucheniya-cheloveka/>.
3. Фазированные антенные решетки <https://habr.com/ru/post/159109/>.
4. Калиникос Б.А., Устинов А.Б. Сверхвысокочастотные спиновые волны в ферромагнитных пленках. – СПб: ЗАО «Инсанта». Изд-во «Литера», 2008. – 124 с.
5. Рабодзей А.Г. Термомагнитные сплавы. Электроника СВЧ. – № 9. –1975.
6. Дубовой В.А., Козин А.Э., Майоров Г.С., Федин Д.Н. Время перестройки полосно-пропускающих фильтров на монокристаллическом феррите. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – Том 2. – С. 142–146. – г. Санкт-Петербург, Россия. – 4–7 июня 2012 г.

УДК 621.382.2, УДК 347.451.03

## НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЮ ЭКБ ИП ИЗ ПРАКТИКИ ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ДЛЯ АРБИТРАЖНЫХ СУДОВ

### SOME RECOMMENDATIONS TO THE CONSUMER OF AN ELECTRONIC COMPONENT BASE OF FOREIGN PRODUCTION FROM THE PRACTICE OF PREPARING TECHNICAL EXPERTISE FOR ARBITRATION COURTS

**Захаров А.С.**, к.т.н., **Сапега А.В.**, АО «НПЦ ЭлТест», [zakharov@est-test.ru](mailto:zakharov@est-test.ru);

**Zakharov A.S.**, Ph.D. of engineering sciences, **Sapega A.V.**, JSC «SPC ElTest», [zakharov@est-test.ru](mailto:zakharov@est-test.ru)

В статье рассматривается пример некорректного формирования спецификации ЭКБ иностранного производства разработчиками РЭА, которое приводит к возникновению конфликта между потребителем и поставщиком ЭКБ. Даны рекомендации для потребителя ЭКБ ИП.

The article considers an example of incorrect formation of the ECB specification of foreign production by REA developers, which leads to a conflict between the consumer and the ECB supplier. Recommendations for the exclusion of a conflict situation are given.

**Ключевые слова:** спецификация электронной компонентной базы иностранного производства, арбитражный суд, квалифицированный производитель и микросхемы, идентификационный номер спецификации Минобороны США.

**Keywords:** specification of an electronic component base of foreign production, arbitration court, qualified manufacturer and microcircuits, identification number of the specification of the US Department of Defense.



Захаров А.С.

Побудительным мотивом к написанию данного материала послужило обращения потребителей ЭКБ ИП в проведении технической экспертизы для арбитражных судов из-за неудовлетворительного качества ЭКБ ИП, закупленной поставщиками ЭКБ. А также накопленный опыт в проведении технической экспертизы и в подготовке соответствующих заключений для арбитражных судов в данной ситуации.

*/Статья 79 ГПК РФ гласит, что при возникновении в процессе рассмотрения гражданского дела вопросов,*

*требующих специальных знаний в различных областях науки, техники суд назначает техническую экспертизу. Проведение экспертизы может быть поручено судебно-экспертному учреждению или по просьбе сторон, участвующих в деле, конкретному эксперту или назначить ее в определенное экспертное учреждение, обладающее необходимой квалификацией./*

Для ряда судебных разбирательств такими экспертами и экспертным учреждением определением арбитражного суда назначались эксперты и испытательный центр



Сапега А.В.



АО «РНИИ «Электронстандарт». Данный материал основан на некотором эпизоде в деятельности АО «РНИИ «Электронстандарт» по проведению технической экспертизы.

Анализ судебных разбирательств показывает, что основной проблемой является то обстоятельство, что специалисты потребителей ЭКБ, предприятий-разработчиков РЭА для ВВСТ формируют спецификации необходимой ЭКБ, не особо обращая внимание на реально действующий статус как изделий, так и их производителей. А службы снабжения предприятий или поставщики ЭКБ «слепо» закупают и поставляют то, что указано в спецификациях.

Рассмотрение наиболее часто встречающихся форм заказов на закупку ЭКБ ИП показывает, что требования по закупке микросхем подчас сводятся только к их заказу по идентификационному номеру производителя. Не формулируются требования по типу поставочной спецификации, содержащей, например, требуемую дату изготовления, номер детальной спецификации производителя и т. п.

Рассмотрим, выше сказанное, на примере. Пример относится к событиям 2015–2016 гг., но не теряет актуальности и сегодня.

Потребитель А заказал к поставке интегральные микросхемы памяти с идентификационным номером SMJ55161–80GBM. Поставщик Б, в целях удовлетворения заявки, поставил две партии интегральных микросхем памяти, имеющие идентификационный номер 5962–9454901M (где 5962–9454901MХА – идентификационный номер спецификации Минобороны США) производства Texas Instruments – первая партия с датой изготовления 9516, а вторая партия производства Austin Semiconductor Inc. с датой изготовления 0417. При этом Поставщик Б, согласно официальной переписке, убеждал Потребителя А, что он поставил полные функциональные аналоги, но уровня качества Military, что соответствовало более высокому уровню. Вследствие чего цена продукции отличалась от цены гражданского изделия. Причем сопроводительная документация к микросхемам памяти «5962–9454901MХА SMJ55161–80GBM» содержала подтверждение их производства квалифицированными производителями и уровня качества, а также данные, позволяющие проследить приобретение квалифицированной продукции по всей поставочной цепочке. Этот факт окончательно убедил Потребителя А в добросовестности Поставщика Б и в «правильности» осуществленной сделки. В итоге Потребитель А согласился с доводами Поставщика Б, с ценой сделки и подписал договорные обязательства на поставку ЭКБ.

Однако в процессе опытной эксплуатации образцов РЭА, в которых были применены микросхемы памяти указанных двух партий, были выявлены отказы, причиной которых являлись функциональные отказы интегральных микросхем памяти 5962–9454901MХА SMJ55161–80GBM. Это и явилось основной причиной обращения Потребителя А в арбитражный суд.

Арбитражный суд своим определением инициировал техническую экспертизу.

#### **Что выявила техническая экспертиза?**

Первый этап экспертизы заключался в анализе статуса интегральных микросхем памяти 5962–9454901MХА SMJ55161–80GBM производства Texas Instruments и Austin Semiconductor Inc.

По данным Поставщика Б, он закупил и поставил потребителю **квалифицированную продукцию** Texas Instruments – интегральные микросхемы памяти 5962–9454901MХА SMJ55161–80GBM (на что указывал идентификационный номер спецификации Минобороны США) с датой изготовления 16-я неделя 1995 года. Однако, как показал анализ статуса изделий, в 1995 г. данные микросхемы отсутствуют в перечне продукции квалифицированного производителя [1]. В производстве и в перечнях QML микросхемы этого типа появляются только в мае 1997 года [2]. Таким образом, поставленные ИС не относятся к квалифицированной продукции и не могут иметь маркировку по нормативам Министерства обороны США.

Следовательно, эти изделия не имеют статус «квалифицированной продукции» и легального источника происхождения.

Вторая партия квалифицированных микросхем памяти 5962–9454901MХА (PIN производителя SMJ55161–80GBM) с датой изготовления май 2004 г., производства фирмы Austin Semiconductor Inc. Данные микросхемы могли являться квалифицированной продукцией и иметь маркировку по нормативам Министерства обороны США. Но поставщиком Б была поставлена партия микросхем без сопроводительной документации.

Отсутствие сопроводительной документации, содержащей подтверждение их производителя, данные об уровне качества, условия хранения, результаты перепроверок данных ИС в течение 11 лет и т. п., ставит под сомнение легальность источника происхождения микросхем и возможность их применения в РЭА ВВСТ.

Второй этап экспертизы заключался в проведении параметрического и функционального контроля партии интегральных микросхем памяти 5962–9454901MХА SMJ55161–80GBM (требование определения суда). Контроль был выполнен на соответствие микросхем требованиям общей спецификации [3] и стандартной спецификации микросхемы # 5962–94549 [4] в части электрических параметров и функционирования.

Было установлено, что порядка 80 % интегральных микросхем памяти производства Texas Instruments не соответствовали требованиям спецификации Минобороны США в части функциональных тестов. Эти интегральные микросхемы не прошли функциональное тестирование – при воспроизведении искажали (деформировали) записанную в них информацию. Данные микросхемы имели неисправные ячейки памяти. Количество ячеек в каждой неработающей микросхеме различное и их объем составлял от нескольких десятков до нескольких тысяч ячеек.

Аналогичные результаты были получены и для партии микросхем производства Austin Semiconductor Inc.

Третий этап экспертизы был посвящен оценке внешнего вида и технологического качества микросхем и идентичности их структуры с оригинальными изделиями Texas Instruments и Austin Semiconductor Inc.

Было установлено, что микросхемы 5962–9454901MХА SMJ55161–80GBM производства Texas Instruments и Austin Semiconductor Inc. имеют нарушения внешнего вида и отличаются от оригинальных изделий по месту размещения маркировки на корпусе. Внутренняя конструкция всех микросхем, внешний вид и маркировка кристаллов из обеих партий полностью идентична оригинальным образ-

цам и не имеет никаких технологических дефектов.

#### Рекомендации:

1. При выборе и последующим составлении заявки на закупку ЭКБ ИП необходимо ознакомиться с информацией официальных сайтов производителей. В рассмотренном случае официальные сайты фирм-производителей Texas Instruments ([www.ti.com](http://www.ti.com)) и Micross Components, в которую вошла фирма Austin Semiconductor Incorporated ([www.micross.com](http://www.micross.com)), не предоставляют на март–апрель 2015 г. каких-либо материалов по микросхемам памяти SMJ55161–80GBM, что указывает на:

- снятие данных ИС с производства и отсутствие их сервисной поддержки со стороны производителя;
- невозможность получения в открытом доступе нормативно-технической документации фирмы-производителя ИС (в том числе и информационных материалов уровня «Data Sheet»), без организации целевого запроса в их адрес.

В тоже время на сайтах различных продавцов электронных компонент существует большое количество предложений по поставке анализируемого типа микросхем памяти, для которых в графе «производитель» указывают: Texas Instruments, Austin Semiconductor, Micross Components.

2. Тщательно проверять маркировку изделий. В рассматриваемом случае на корпусе интегральных микросхем имелось:

- военный идентификационный номер;
- литера «J» (SMJ55161–80GBM), которая указывает на военное применение;
- литера «Q», которая указывает на то, что микросхемы изготовлены в соответствии со стандартной спецификацией микросхем (Standard Microcircuit Drawings).

Таким образом, имелись все признаки квалифицированной продукции по нормативам Министерства обороны США. Однако при наличии этих признаков необходимо, используя документы, которые находятся в открытом доступе:

- базу данных по квалифицированным производителям (Qualified Manufacturers List, QML);
- общую спецификацию MIL–PRF–38536 (Performance

Specification, Integrated Circuits (Microcircuits) Manufacturing, General Specification for);

- стандартную спецификацию микросхемы 5962–94549 (Microcircuit, Digital, Memory, Digital, CMOS, 256K X 16 Multiport Video RAM, Monolithic Silicon), удостовериться, что данный тип «квалифицированных» микросхем содержится в материалах подразделений стандартизации и квалификации Центра военных поставок в Коламбусе Министерства обороны США.

3. Необходимо удостовериться, что производителем данного типа микросхем и данного уровня качества на дату изготовления действительно являлась фирма, указанная в поставочных документах поставщиком ЭКБ. Для рассматриваемого случая в справочнике Минобороны США по перечню стандартных спецификаций [5] микросхем зафиксировано, что производителем микросхем 5962–9454901MXA (идентификационный номер производителя SMJ55161–80GBM) является фирма-производитель Texas Instruments Inc. (регистрационный номер CAGE 012295; юридический адрес – 13500 N Central Expressway P O Box 655303 Dallas, TX 75265) с мая 1997 г. А на корпусе микросхем был указан код даты 9516 и в поставочных документах на «квалифицированную продукцию» поставщик ЭКБ указал дату изготовления 16-я неделя 1995 г.

4. Необходимо задаться вопросом о наличии двух производителей микросхем памяти. Да, переход производства микросхем 5962–9454901MXA от фирмы Texas Instruments к фирме Austin Semiconductor Inc. произошел на рубеже нового тысячелетия. На это указывают следующие документы:

- первый раз в перечне продукции квалифицированного производителя анализируемые микросхемы памяти 5962–9454901MXA (PIN производителя SMJ55161–80GBM) производства фирмы Austin Semiconductor Inc. упоминаются в январе 2000 года (QML–38535 Rev.12 01 Jan. 2000);
- последний раз в перечне продукции квалифицированного производителя анализируемые микросхемы памяти 5962–9454901MXA (PIN производителя SMJ55161–80GBM) производства фирмы Texas Instruments упоминаются в сентябре 1999 года (QML–38535 Rev.11 13 Sep. 1999).

#### Литература:

1. Перечень продукции квалифицированного производителя QML–38535 (Rev.5 05 Aug. 1995).
2. Перечень продукции квалифицированного производителя QML–38535 (Rev.6 17 May 1997).
3. Требования общей спецификации MIL–PRF–38535 (Performance Specification, Integrated Circuits (Microcircuits) Manufacturing, General Specification for).
4. Требования стандартной спецификации микросхемы # 5962–94549 (Microcircuit, Digital, Memory, Digital, CMOS, 256K X 16 Multiport Video RAM, Monolithic Silicon).
5. Справочник Минобороны США с перечнем стандартных спецификаций микросхем MIL–HDBK–103 (Department of Defense Handbook, List of Standard Microcircuit Drawings) Rev. C 04 Nov.–1996.



### АНО «ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»

приступает к обучению по теме:

### «Электронная компонентная база. Обеспечение надежности, технического контроля, управление качеством и анализ причин отказов»

с выдачей Удостоверения о повышении квалификации

Телефон для справки: +7(495)-583-06-32

[elsert@bk.ru](mailto:elsert@bk.ru)

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕПЛОвого СОПРОТИВЛЕНИЯ

**Прибор предназначен** для измерения теплового сопротивления полупроводниковых приборов и интегральных схем. Данный параметр характеризует степень разогрева активной области кристалла (р-п-перехода) относительно корпуса или окружающей среды в процессе эксплуатации объекта измерений и может быть использован для оценки качества его теплоотвода. Дополнительно прибор позволяет определить компоненты теплового сопротивления всех звеньев теплового пути: р-п-переход – кристаллодержатель – корпус – радиатор – окружающая среда.

**Объектами измерения** могут быть мощные диоды и транзисторы (биполярные, MOSFET, IGBT), тиристоры, силовые транзисторные модули, светодиоды, светодиодные матрицы, солнечные батареи, интегральные схемы.



**В состав измерителя** теплового сопротивления входит импульсный характериограф ИХПП (№70158-18 в Госреестре) или ИХИС (№74287-19 в Госреестре), компьютер и программное обеспечение, реализующее методы измерения теплового сопротивления, изложенные в ОСТ 110944-96 «Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы расчета, измерения и контроля теплового сопротивления».

Измеритель реализован в трех конструктивных вариантах, отличающихся основными техническими характеристиками и предназначенными для измерения теплового сопротивления разных объектов:

- **Rth Meter** – для диодов, транзисторов, тиристоров, силовых модулей;
- **IC Meter** – для интегральных схем;
- **LED Meter** – для светодиодов, светодиодных матриц и модулей, солнечных батарей.

### Технические характеристики измерителя

Измеряемая или устанавливаемая физическая величина	Диапазон измеряемой или устанавливаемой величины		
	Rth Meter	IC Meter	LED Meter
Диапазон измерения теплового сопротивления, К/Вт	0,02 – 100	0,1 – 100	0,01 – 100
Погрешность измерения теплового сопротивления, %	5	5	5
Амплитуда импульсов греющего тока, А	0,25 – 16	0,15 – 2,75	0,25 – 4
Максимальное напряжение на объекте, В	5	5	50
Частота модуляции греющей мощности, Гц	0,01 – 1000		
Потребляемая мощность, Вт	менее 300	менее 100	менее 300

**Наши партнеры:** ВЗПП-С (г. Воронеж), ПКК «Миландр» (г. Зеленоград), КрЗПП «Арсенал» (г. Краснознаменск), НПП «Завод Искра» (г. Ульяновск), Электрум АВ (г. Орел), НТЦ Микроэлектроники РАН (г. С.-Петербург), УМЗ (г. Ульяновск), JENOPTIK Polymer Systems GmbH (г. Берлин)

**Разработчик:** УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН; 432071, Ульяновск, ул. Гончарова, 48/2

**Производитель:** ООО «МИП УСТ»; 432073, г. Ульяновск, ул. Камышинская, д. 20/63, кв. 40

**Руководитель проекта:** Смирнов Виталий Иванович, E-mail: smirnov-vi@mail.ru

тел. (8422) 44-25-35; 8-902-589-5245

Подробную информацию можно получить на сайте <http://mipust.ru>



# Акционерное общество **ЭРКОН**

Научно-производственное объединение

ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА  
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ  
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ  
И ЧИП - ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- *Современная производственная база*
- *Высокое качество*
- *Индивидуальный подход к потребителю*

## НОВИНКИ

Аттенюаторы (поглотители) ПР1-25 500 Вт и 150 Вт (от 3 до 40 дБ)

Резисторы сверхвысокочастотные Р1-160 (до 40 ГГц)

Мощные резисторы Р1-170 (от 10 до 1000 Вт)



**Адрес:** 603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6

**Группа развития:**

тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61

E-mail: [gr@erkon-nn.com](mailto:gr@erkon-nn.com)

**Группа продаж:**

тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52

E-mail: [info@erkon-nn.ru](mailto:info@erkon-nn.ru)

[www.erkon-nn.ru](http://www.erkon-nn.ru)

