

Актуализация отечественных стандартов в области сборки и монтажа электронных модулей специального и ответственного применения

Подведены итоги актуализации отечественных стандартов в области сборки и монтажа электронных модулей специального и ответственного применения. Показано влияние стандартов МЭК и IPC в области сборки и монтажа электронных модулей на отечественное приборостроение. С использованием зарубежного и отечественного опыта в области сборки и монтажа электронных модулей разработан новый ГОСТ Р.

**Сергей Алексеев,
к. х. н.**

alexergey@ya.ru

В последнее десятилетие при производстве унифицированных электронных модулей (УЭМ) для жестких условий эксплуатации в приборостроении возникло множество нерешенных проблем в связи с отсутствием актуализированной нормативной технологической базы (ГОСТ, ОСТ), которая находится на уровне 90-х годов прошлого века и, соответственно, не гармонизирована с международными стандартами МЭК. Актуализация крайне устаревшей отечественной нормативной базы является необходимым условием для повышения конкурентоспособности отечественного приборостроения на внутреннем и внешних рынках. Известно, что электроника развивается быстрее других отраслей промышленности. Каждые три — пять лет обновляются технологии, а вслед за ними — производство электроники как коммерческого, так и специального назначения. По изделиям коммерческой (бытовой) электроники можно увидеть, что мы отстали на два-три поколения технологий, а отечественные стандарты отражают наш устаревший материальный уровень производства [1–2].

В принятой концепции, предусматривающей развитие национальной системы стандартизации Российской Федерации на период до 2020 года и направленной на гармонизацию национальных стандартов с международными стандартами, а также призванной повысить роль стандартизации, описан механизм постоянного обновления национальных стандартов на базе передовых международных стандартов ISO (Международная организация по стандартизации) и МЭК (Международная электротехническая комиссия) [3]. Но до сих пор нет анализа состояния вопросов стандартизации, нет консолидации усилий ведущих специалистов в разработке новых редакций стандартов. Время идет, предприятия пытаются самостоятельно решить свои проблемы, используя стандарты Международной ассоциации производителей электроники (IPC), что не является

легитимным для электроники ответственного назначения и носит рекомендательный характер. В результате изделия ответственного назначения изготавливаются на уровне товаров народного потребления.

Соблюдение рекомендаций стандартов МЭК к технологии сборки и монтажа печатных узлов и электронных модулей минимизирует технологические потери при производстве радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Стандарты МЭК используются в качестве нормативной базы при заключении международных контрактов, применение стандартов МЭК для сертификации на национальном уровне гарантирует, что сертифицированное изделие было изготовлено и испытано в соответствии с общепринятыми международными стандартами [4, 5].

Структура технических органов МЭК, непосредственно разрабатывающих международные стандарты, аналогична ИСО — это технические комитеты (ТК), подкомитеты (ПК) и рабочие группы (РГ). Деятельность комитета ТК-91 «Технология сборки электронных модулей» (Electronics assembly technology) направлена на подготовку международных стандартов по технологии сборки электронных модулей, в области сборки печатных узлов, включая требования к материалам, используемым для производства печатных плат и монтажа компонентов, а также по форматам данных в электронном виде для описания изделий и процессов их изготовления. Россию в МЭК/ТК-91 представляет технический комитет Росстандарта ТК-420 [4, 5].

Понимая высокую значимость применения нормативно-технической документации (НТД), отражающей современные тенденции развития технологии производства РЭА, ОАО «Авангард» активно участвует в работе международного технического комитета ТК-91.

Institute of Printed Circuits (IPC) — международная профессиональная ассоциация, чья деятельность направлена на усиление конкурентоспособ-

ности и финансового успеха ее членов — участников электронной промышленности. Преследуя эти цели, IPC предоставляет ресурсы для программ по повышению качества управления и уровня технологий, разработки необходимых стандартов, защиты окружающей среды и требуемых взаимоотношений с государственными структурами. В настоящее время ассоциация IPC, или, как теперь ее называют Association Connecting Electronics Industries, представляет собой международную ассоциацию, членами которой являются около 2700 компаний, представляющих практически все грани электронной промышленности [6, 7]. Структура IPC аналогична структуре МЭК.

Членами IPC становятся все компании, заинтересованные в получении качественных изделий электроники. Хотя исторически основную долю членов IPC составляют производители электронных изделий, все больше компаний, имеющих отношение и к другим этапам разработки, производства и эксплуатации электронной аппаратуры, вступает в ассоциацию, чтобы оказать большее влияние на развитие отрасли. Ведь совершенно очевидно, что качество изделия закладывается на ранних стадиях его разработки и напрямую влияет как на успех компаний-изготовителей, так и на удовлетворенность потребителей [6, 7].

Да, стандарты IPC получили широкое применение, они общепризнанны во всем мире. Однако они менее легитимны для международной общественности, чем стандарты МЭК, поскольку ассоциация IPC — некоммерческая организация, источником финансирования которой служат членские взносы компаний-членов и средства, вырученные при продаже стандартов, обучающих видеокурсов, а также при сертификации специалистов (CIS) и преподавателей (CIT), а МЭК финансируется странами-участницами. Поэтому ведущие мировые компании заинтересованы в переводе своих стандартов в МЭК, а Россия, как член МЭК, заинтересована в аутентичном переводе современных стандартов на русский язык. Почему же стандарты IPC больше распространены и известны, чем стандарты МЭК? Причина в большей коммерческой активности ассоциации IPC. Право продаж стандартов МЭК коммерческим структурам Госстандарт не дает, а сам их не продвигает на территории России. Получается, что распространение IPC идет с хорошей рекламной поддержкой, а про стандарты МЭК мало кто знает. Наша задача — активизировать создание русских аутентичных редакций и ввести их в круг повсеместного использования. Ведь по международному соглашению стандарты МЭК имеют право хождения на трех языках: английском, французском и русском. Поэтому наиболее быстрый путь создания современной национальной системы стандартизации — переход на русские аутентичные редакции стандартов МЭК с последующей переработкой ряда из них в национальные стандарты, связанные с обеспечением безопасности государства. Эта переработка связана с добавлением в ряд стандартов правил приемки — наших отечественных правил.

Характерной особенностью современного развития приборостроения является необходимость снижения массогабаритных характеристик УЭМ с одновременным повышением их эксплуатационной надежности, что связано с дальнейшей микроминиатюризацией электронной компонентной базы (ЭКБ) и, соответственно, с переходом от микросхем малой интеграции к большим и сверхбольшим интегральным микросхемам, количество выводов которых достигает 1000 и более, а шаг выводов уменьшается до 0,1 мм. Применение подобной ЭКБ предъявляет к технологии сборки и монтажа жесткие требования, которые не описаны в отечественной нормативно-технической документации (НТД), но нашли отражение в стандартах МЭК и IPC.

Для проведения актуализации отечественной НТД по электронным модулям необходим анализ требований международных стандартов. При этом, кроме стандартов МЭК, представляется целесообразным проведение анализа регламентов стандартов IPC. Нами был проведен анализ доступности изложения информации в стандартах IPC и МЭК на примере сравнения стандартов IPC-A-610E и IPC J-STD-001E со стандартами МЭК 61191-1, 61191-2, 61191-3, 61191-4, 61192-1, 61192-2, 61192-3, 61192-4. Анализ показал заметное превосходство стандартов IPC в наглядности, иллюстративном наполнении, разумной простоте и доступности формулировок. Проведенный ОАО «Авангард» сравнительный анализ действующей отечественной нормативной документации и зарубежных стандартов МЭК и IPC выявил существенное отставание отечественной НТД от современного уровня в части требований к сборке и монтажу печатных узлов и электронных модулей, электронной компонентной базе, специальному технологическому оборудованию. То есть по мере совершенствования приборов и технологии сборки и монтажа печатных узлов и УЭМ, за рубежом развивались производители ЭКБ, оборудования и других смежных областей. В России же этой модернизации не происходило, и многие предприятия радиоэлектронной отрасли до сих пор применяют технологию ручного монтажа при сборке УЭМ. Сравнительный анализ стандартов IPC и МЭК также показал, что требования стандартов во многом схожи, но широта и глубина охвата стандартов IPC выше, а отставание стандартов МЭК от IPC оценивается в 3–5 лет.

Нами рассмотрена деятельность МЭК и IPC по разработке стандартов по новым технологиям на примере стандартов по печатным платам со встроенными компонентами. Показано, что ассоциацией IPC стандарты по проектированию и технологии изготовления печатных плат со встроенными компонентами (IPC-2316, IPC-4811, IPC-4821, IPC-6017) были выпущены в 2006–2009 гг., в то время как МЭК только ведет разработку соответствующих стандартов.

В радиоэлектронной отрасли РФ существуют технологические проблемы, в том числе относящиеся к технической политике: доля импортной ЭКБ составляет до 100% в РЭА

бытового и промышленного назначения и доходит до 70% в военной технике, медленно решаются проблемы актуализации существующей отечественной НТД и импортозамещения зарубежных технологических материалов, чья доля достигает 90%. Технологическое оборудование для сборки и монтажа печатных узлов и электронных модулей также представлено исключительно установками зарубежного производства.

По анализу стандартов МЭК и ГОСТ установлено, что промышленное изготовление печатных плат за рубежом продолжает быстро совершенствоваться и развиваться, в то время как в России развиваются только 5–7 ведущих предприятий по производству печатных плат, причем за счет приобретения импортного оборудования, которое может работать только с импортными материалами.

В действующих отечественных отраслевых стандартах не учитываются современные направления в технологии сборки печатных узлов и электронных модулей, позволяющие решить задачу коммутации изделий электроники с высоким уровнем интеграции: поверхностный и внутренний монтаж, сборка с применением импортных комплектующих. Кроме того, в настоящее время невозможно оценить надежность (усталостную долговечность) паяных соединений поверхностного монтажа [8–10]. В нормативной документации заложены устаревшее технологическое оснащение и материалы. В условиях отсутствия актуальной нормативной документации технологи пользуются случайной несистематизированной информацией, что зачастую приводит к снижению качества продукции.

Результаты анализов причин отказов УЭМ показывают, что отказы, возникшие из-за производственно-технологических воздействий, составляют более 20% от общего числа отказов УЭМ и обусловлены отсутствием требований к технологическим процессам и несовершенством самих технологий, в частности неотрабатанностью операционной подготовки компонентов и сборки УЭМ.

Для обеспечения определенных гарантий качества сборки УЭМ необходимо в соответствующих НТД предусмотреть требования по сертификации ЭКБ, технологического оборудования для их производства и сборки УЭМ, а также по аттестации соответствующих производств и персонала.

Сегодня, в связи с отсутствием актуальной нормативно-технической документации, производители приборов и РЭА вынуждены пользоваться исключительно рекомендациями поставщиков оборудования, оборудование не всегда покупается соразмерно насущным потребностям производства, что приводит к его простоям.

Простой дорогостоящего оборудования увеличивает издержки и срок его окупаемости, снижает эффективность капитальных вложений и конкурентоспособность производимой продукции.

Опыт ОАО «Авангард» в области технологии производства РЭА, подкрепленный активным участием в работе МЭК, позволил

Таблица 1. Сравнительный анализ ГОСТов и стандартов МЭК и IPC

Параметр	ГОСТ	МЭК	IPC
Отражение современного уровня развития промышленных технологий	Не отражает	Не в полной мере отражает современный уровень	Отражает современный уровень
Периодичность обновления стандартов	Не обновляются	Периодически (3–5 лет)	1 раз в 2 года
Официальный статус стандартов в России	Есть	Есть, в зависимости от участия России в комитете как полноправного члена	Нет официального статуса
Количество проанализированных стандартов	153	121	37

частично решить задачу формирования НТД, соответствующей современным мировым достижениям, создав тем самым необходимые условия для вывода отечественных технологий производства РЭА на международный уровень.

Выполнен анализ актуальности сравниваемых стандартов IPC, МЭК и ГОСТ, в результате проведенной работы установлено, что стандарты IPC актуализируются чаще стандартов МЭК и полнее отражают современный уровень развития промышленных технологий. Требования отечественных стандартов существенно отстают от международных и не отражают уровень современной технологии монтажа и сборки УЭМ.

Результаты проведенной работы представлены в таблице 1.

Таким образом, в настоящий момент в России сложилась следующая ситуация: стандарты МЭК являются международными де-юре, а стандарты IPC — де-факто. В таких условиях фактическое становление стандартов IPC международными может объясниться лишь их качественным превосходством над стандартами МЭК.

С целью актуализации отечественной НТД, определяющей требования к технологии сборочно-монтажных работ, за последние три года нами проведена модернизация следующей НТД:

- ОСТ 107.460092.024-93 «Пайка электро-монтажных соединений радиоэлектронных средств. Общие требования к типовым технологическим операциям»;
- ОСТ 4Г 0.033.200 «Припой и флюсы для пайки, припойные пасты. Марки, состав, свойства и область применения»;
- ОСТ 4Г 0.029.233-84 «Аппаратура радио-электронная. Моющие средства. Состав, свойства и область применения»;
- ОСТ 107.460092.028-96 «Платы печатные. Технические требования к технологии изготовления».

Помимо этого, проведена разработка нового ГОСТ Р «Пайка электронных модулей радиоэлектронных средств. Автоматизированный смешанный и поверхностный монтаж с применением бессвинцовой и традиционной технологии. Технические требования к выполнению технологических операций» (вступил в действие с 01.09.2015 года под номером ГОСТ Р 56427-2015). Со вступлением в действие ГОСТ Р 56427-2015 у предприятий радиоэлектронной отрасли появился современный стандарт, в котором отражен мировой уровень технологии сборки и монтажа электронных модулей с учетом особенностей российской действительности, в том числе для

аппаратуры РЭА специального и ответственного применения.

Переходя к современным вопросам прогнозирования параметров надежности электронного модуля и в целом РЭА, необходимо отметить, что в действующем справочнике «Надежность электрорадиоизделий» 2006 года невозможно оценить надежность (усталостную долговечность) паяных соединений поверхностного монтажа (табл. 2) [11]. В действующем справочнике «Надежность электрорадиоизделий» при расчете паяного соединения учитывается только пайка ЭРИ волной, ручная пайка ЭРИ с накруткой и без нее. Из опыта известно, что потенциальная надежность аппаратуры в целом, в том числе и усталостная долговечность паяных соединений поверхностного монтажа, закладывается в процессе проектирования, а реализуется в процессе производства после отработки и полной оптимизации параметров технологии сборки и монтажа.

Поэтому актуальной проблемой в настоящее время является умение спрогнозировать работоспособность РЭА на заданный срок на этапе проектирования, в частности это относится и к паяным соединениям поверхностного монтажа. Решить указанную проблему можно проведением ускоренных испытаний на старение, эквивалентных заданному сроку эксплуатации, либо проведением математического моделирования с учетом указанных параметров. Проведение ускоренных испытаний на старение выполняют для проверки работоспособности блока в целом при заданном сроке эксплуатации. Однако после подобных испытаний использовать по назначению изделие уже не может. Для реального производства проводить испытания на старение, имитирующие срок службы всех изделий, невозможно. Требуется математическая модель, которая учитывает основные факторы, влияющие на формирование паяного соединения, и позволит дать оценку надежности такого соединения. Поэтому для актуализации отечественной НТД по прогнозированию и оценке усталостной долговечности паяных соединений поверхностного монтажа в плане 2016–2017 гг. предлагаются следующие мероприятия:

- актуализировать справочник «Надежность электрорадиоизделий» методиками расчета (прогнозирования) усталостной долговечности паяных соединений поверхностного монтажа;
- разработать методику расчета усталостной долговечности паяных соединений поверхностного монтажа для аддитивного вклада в общий расчет надежности ЭМ РЭА. ■■■

Таблица 2. Значение базовой интенсивности отказов различных видов соединений

Вид соединения	$\lambda \times 10^8, 1/ч$
Ручная пайка ЭРИ без накрутки	0,13
Ручная пайка ЭРИ с накруткой	0,007
Пайка ЭРИ волной	0,0069
Сварка	0,0015
Обжимка (опрессовка)	0,012
Беспаяное соединение накруткой	0,00068
Скрутка	0,026

Литература

1. Медведев А. М. Болезни отечественной стандартизации в электронике // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 3.
2. Поляков В. Конференция IPC в России: теория и практика // Технологии в электронной промышленности. 2014. № 7.
3. Концепция национальной стандартизации. Распоряжение Правительства РФ от 24 сентября 2012 г. № 1762-р.
4. Духовный Л. М., Иванин М. Б., Мороз В. Г. Стандартизация и сертификация: Учебное пособие. М.: МГИУ, 2008.
5. Ефремов А. А. Стандарт IPC-A-610D «Критерии приемки электронных сборок» // Информационный бюллетень «Поверхностный монтаж». 2008. № 3.
6. Ковалевский Ю. Стандарт IPC-7711/21B: восстановление, ремонт и модификация электронных сборок // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 8.
7. Технологическая дорожная карта IPC по электронике и радиоэлектронике. М.: Техносфера, 2014.
8. Иванов Н. Н., Ивин В. Д., Алексеев С. А. Исследование надежности бессвинцовых и комбинированных паяных соединений в условиях жестких воздействующих факторов. Часть 1. Цели, объекты, программа и методика сравнительных ускоренных испытаний. Анализ результатов испытаний // Вопросы радиоэлектроники, сер. ОТ. 2009. Вып. 4.
9. Иванов Н. Н., Ивин В. Д., Алексеев С. А. Исследование надежности бессвинцовых и комбинированных паяных соединений в условиях жестких воздействующих факторов. Часть 2. Анализ результатов испытаний, оценка надежности ПС по результатам сравнительных испытаний. Выводы и рекомендации // Вопросы радиоэлектроники, сер. ОТ. 2009. Вып. 4.
10. Шавловский И. В., Иванов Н. Н., Ивин В. Д., Алексеев С. А. Оценка показателей надежности паяных соединений при поверхностном монтаже / Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и студентов магистерской подготовки ОАО «Авангард». Вып. 3. СПб.: 2011.
11. РД В 319.01.20-98. Справочник «Надежность электрорадиоизделий», «Надежность ЭРИ ИП», разработанные 22 ЦНИИ МО при участии РНИИ «Электронстандарт» и АО «Стандартэлектро» (версия АСРН 2006).