

# СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕНДЕНЦИИ ЕЕ РАЗВИТИЯ

*А. Ю. Никифоров, В. А. Телец*

ОАО «ЭНПО СПЭЛС», г. Москва  
ФГУ «22 ЦНИИИ Минобороны России», г. Мытищи Моск. обл.

*Представлены основные положения действующей системы оценки и контроля радиационной стойкости современных изделий микроэлектроники на базе нормативных документов Минобороны России. Проанализированы основные тенденции и перспективы развития методических подходов для оценки радиационной стойкости сложно-функциональных изделий в субмикронном исполнении. Рассмотрены особенности оценки радиационной стойкости изделий межвидового и видового применений.*

Современная система оценки и контроля радиационной стойкости (РС) изделий микроэлектроники базируется на основополагающих нормативных документах (НД) Минобороны России, устанавливающих:

- общие технические требования, единые для всех классов изделий электронной техники межвидового применения, изложенные в комплексе государственных военных стандартов (КГВС) «Климат-7» (ГОСТ РВ 20.39.414.2, ГОСТ РВ 20.57.415 - в части требований стойкости к воздействиям факторов 7И, 7С, 7К и методов оценки их соответствия);
- общие технические условия на разработку, изготовление и хранение изделий электронной техники на группу однородной продукции «Микросхемы интегральные» (ОСТ 11 0998);
- единые методы испытаний изделий группы однородной продукции «Микросхемы интегральные» (ОСТ 11 073.13, ч. 10).

Кроме того, система оценки и контроля РС предполагает использование комплекса руководящих документов (РД) и решений Минобороны России, развивающих и уточняющих положения НД общих технических требований и условий, в части:

- конкретных классификационных подгрупп изделий микроэлектроники и воздействующих на них радиационных факторов;
- непрерывности и системности контроля и оценки РС на всех этапах жизненного цикла изделий (разработка, производство, эксплуатация);
- оценки РС изделий микроэлектроники по результатам испытаний и расчетно-экспериментальными методами преимущественно на ранних стадиях разработки и производства;
- выбора рационального состава и объема испытаний изделий микроэлектроники по доминирующим радиационным эффектам путем исключения малоинформативных и избыточных испытаний;
- рационального сочетания испытаний на моделирующих (эквивалентность по воздействию) и имитирующих (эквивалентность по эффекту) установках;
- выбора основных информативных параметров микросхем в качестве критериальных, обязательного функционального контроля при радиационных воздействиях (РВ);
- оценки РС преимущественно по результатам определительных испытаний в основных и критических схемах включения, режимах и условиях работы изделий микроэлектроники (в т.ч. в диапазоне температур);
- проведения испытаний в аттестованных испытательных центрах при научно-методическом сопровождении 22 ЦНИИИ МО.

Данная система оценки и контроля РС микросхем без малого десятилетие доказала свою эффективность, в том числе в условиях роста объемов разработок и производства изделий микроэлектроники военного назначения в последнее время. Сейчас практически все создаваемые КМОП микросхемы проходят унифицированные испытания на стойкость к воздействию как минимум факторов с характеристиками 7.И6 (7.И8), 7.И7 (7.С4), а биполярные схемы - еще 7.И1 (7.С1). В большинстве случаев полученные результаты позволяют получить расчетно-экспериментальную оценку соответствия требованиям стойкости по всей совокупности типовым образом заданных характеристик факторов 7.И, 7.С и 7.К (кроме характеристик 7.К9-7.К12) с приемлемым уровнем достоверности. Выпускаются десятки протоколов радиационных испытаний в месяц, доля отказов по результатам которых составляет -30 %.

Лидерами в области создания и испытаний изделий микроэлектроники военного назначения (микروпроцессоров и контроллеров, интерфейсов, схем памяти, аналоговых и логических схем,

преобразователей формы и вида информации, базовых матричных кристаллов) являются: ФГУП «НИИСИ РАН», ЗАО ПКК «Миландр», ОАО «Ангстрем», ОАО «НИИМЭ и Микрон», ФГУП «НИИЭТ», ФГУП «НИИИС», ОАО «СКТБ ЭС», ГУП НПЦ «ЭЛВИС», ЗАО «Светлана-ПП», ГНЦ «Технологический центр» МИЭТ, а также ЗПП НПО «Интеграл» (Беларусь). Также возрастает объем радиационных испытаний микросхем иностранного производства.

Наиболее сложными изделиями микроэлектроники при испытаниях на РВ (с точки зрения методического обеспечения, технической реализации и достижения достоверности определения значений параметров-критериев и контроля функционирования при радиационных испытаниях) являются субмикронные сложнофункциональные (СФ) СБИС и блоки (СФБ), испытания которых трудоемки и связаны с дополнительными затратами.

К особенностям СБИС и СФБ, усложняющим проведение радиационных испытаний, относятся:

- новые механизмы радиационных отказов, преобладание эффектов паразитных структур, параметры которых не обеспечиваются в процессе разработки и не контролируются в процессе производства;
- большое число степеней свободы режимов и условий работы, всю совокупность которых трудно учесть и «охватить» при испытаниях;
- необходимость разработки нового и (или) адаптации имеющегося испытательного оборудования и оснастки;
- трудности достоверного дистанционного контроля работоспособности в условиях наводок и помех при испытаниях на моделирующих установках (МУ);
- многослойная металлизация, многовыводные полимерные корпуса, затрудняющие применение имитаторов;
- невозможность контроля по параметрам РС технологического процесса в условиях иностранных производств.

Особенности СБИС и СФБ в ходе каждой их разработки требуют проведения, по сути, самостоятельно значимых исследований по:

- анализу видов и доминирующих механизмов радиационных отказов изделий по результатам моделирования и экспериментальных исследований прототипов или зарубежных аналогов, а также тестовых структур, библиотечных элементов, полуфабрикатов и оценочных схем;
- выбору рационального состава и объема испытаний, разработке программ-методик испытаний;
- разработки (адаптации) технических (аппаратных и программных) средств контроля работоспособности изделий в ходе испытаний.

Радиационные испытания каждого типа СБИС и СФБ требуют генерации и обработки 10..100 тысяч квантов экспериментальной информации, что реально обеспечивается в ходе проводимых испытаний!

Важно подчеркнуть, что СБИС и СФБ могут быть представимы не только унифицированными изделиями микроэлектроники для РЭА межвидового применения, но и изделиями для РЭА отраслевого и видового назначения, для которых при оценке РС характерны (на примере разработок космической аппаратуры):

- отсутствие в технических заданиях (ТЗ) на разработку изделий микроэлектроники четких и. полных требований по РС, необходимость перевода заданной модели воздействия на аппаратуру с «языка» радиационной обстановки на орбите к радиационным воздействиям на микросхемы (с учетом защиты, режимов и условий работы);
- преобладание радиационных испытаний конкретных узлов аппаратуры и попытка распространить эти результаты на комплектующие изделия микроэлектроники без учета специфики режимов и условий их работы;
- отсутствие информации о конкретных режимах и условиях работы комплектующих микросхем в аппаратуре;
- наличие выраженной «специфики» РВ, связанной с низкой интенсивностью дозовых воздействий и эффектов отдельных ядерных частиц (сбои, «тиристор»), а при решении оружейных задач - высокая интенсивность дозовых воздействий;
- малый опыт радиационных испытаний комплектующих у разработчиков аппаратуры, закрытость методических и технических вопросов испытаний для экспертизы и оппонирования;
- малая доступность и производительность испытательной базы МУ (например, по факторам космического пространства доступны только «электроны», поэтому основным методом является расчетно-экспериментальный).

Отраслевые заказчики часто либо недооценивают, либо переоценивают техническую сложность обеспечения и контроля уровня РС изделий микроэлектроники, как правило, игнорируя НД Минобороны России и опыт сложившейся инженерной практики и предпочитая работать «по понятиям».

Часто приходится сталкиваться с фактами абсолютизации разработчиками отраслевой РЭА собственных взглядов по проблемам РС и, как следствие, со следующими типичными заблуждениями в

области радиационных испытаний изделий микроэлектроники (на примере разработчиков космической аппаратуры):

- стойкость микросхем к космическим (или ядерным) воздействиям настолько специфична, что не может быть с приемлемой достоверностью оценена по результатам принятых «унифицированных» радиационных испытаний изделий по НД Минобороны России;
- для оценки уровня РС изделий, применяемых в видовой аппаратуре, не требуется проведения радиационных испытаний в их полном объеме, установленном НД Минобороны России;
- достоверность результатов испытаний определяется в основном точностью воспроизведения при испытаниях амплитудно-временных и спектральных характеристик реальных радиационных воздействий;
- стойкость изделий при реальной - низкой или высокой интенсивности дозового воздействия существенно ниже стойкости при средних интенсивностях, используемых при проведении стандартных испытаний;
- оценка стойкости к воздействию каждого конкретного радиационного фактора должна проводиться только на МУ этого фактора, а использование имитаторов (рентгеновских, лазерных) указывает на некомпетентность и непрофессионализм и, следовательно, нежелательно;
- изделия, стойкие к импульсным воздействиям (например, на структурах «кремний на изоляторе»), обладают «большой радиационной стойкостью» по совокупности факторов.

Вместе с тем очевидно, что особенности режимов и условий работы микросхем, особенно СФБ, в конкретной аппаратуре не могут быть в полной мере учтены в ходе их унифицированных радиационных испытаний, которые в большинстве случаев для условий конкретной аппаратуры приводят к заниженным результатам, так как ориентированы на «наихудший случай». То есть при отсутствии достаточного запаса по РС на унифицированных испытаниях изделие может быть забраковано, но при этом успешно пройдет испытания в конкретных выбранных режимах или по уточненным нормам на параметры или просто в составе аппаратуры. Обратная картина встречается, но существенно реже (например, при большом внешнем сопротивлении в цепи питания).

Для устранения возникающих противоречий по форме организации и виду испытаний в технически обоснованных случаях предлагается проводить оценку РС изделий в два этапа:

**1 этап:** «унифицированный» (обязательный) - по результатам определительных радиационных испытаний, которые проводятся в ходе разработки изделий по НД Минобороны России практически без учета специфики видового исполнения конкретного образца аппаратуры. Полученные результаты являются основой для базовой оценки соответствия изделия требованиям ТЗ и проекта технических условий при сдаче разработки государственной комиссии.

**2 этап:** «системно-ориентированный» (при необходимости) - по результатам анализа испытаний на этапе 1 и уточнения норм на параметры, дополнительных расчетно-экспериментальных оценок и радиационных испытаний в режимах и условиях конкретной видовой аппаратуры.

Эти дополнительные испытания за дополнительные средства проводят предприятия-разработчики комплектующих изделий с привлечением аттестованных испытательных центров и разработчиков РЭА по программам-методикам испытаний, учитывающих требования НД Минобороны России и заказывающей отрасли (при необходимости).

Полученные результаты позволяют принять обоснованное решение о возможности применения комплектующих изделий в конкретной видовой аппаратуре и (или) парировании отказа СБИС системными методами.

В целом для приемки СБИС необходимо обеспечить согласованные положительные результаты (консенсус) испытаний на обоих этапах. Примеры успешного применения такого подхода имеются (приемка разработок ФГУП «НИИИС», ОАО «Ангстрем», ЗПП НПО «Интеграл» по заказам Росатома).

Важнейшая роль в оценке РС изделий микроэлектроники отводится специальным испытательным центрам, аттестованным в установленном порядке и отвечающим требованиям:

- компетентности - наличия квалифицированных кадров и специального испытательного и измерительного оборудования;
- независимости - от предприятия-заказчика испытаний;
- открытости - в применяемых методических подходах и технических средствах для экспертизы и оппонирования;
- занятости - серийности (или) регулярности в проведении испытаний;
- развития - постоянного совершенствования методических основ и технической базы средств испытаний.

Центры радиационных испытаний, удовлетворяющие перечисленным требованиям хорошо известны специалистам, интенсивно работают и, в целом, справляются с поставленными задачами. Опыт работы центров указывает на отсутствие необходимости создания «альтернативных» отраслевых центров испытаний, руководствующихся при оценке РС изделий микроэлектроники военного назначения какими-либо иными основополагающими НД, кроме установленных Минобороны России.

Таким образом, очевидны следующие выводы:

1. Повышение функциональной сложности СБИС неизбежно усложняет их радиационные испытания, что объективно отражается в росте затрат на организацию и проведение испытаний, что должно учитываться при планировании разработок.

2. Унифицированные испытания комплектующих изделий, проводимые по НД Минобороны России, обеспечивают решение технических задач при создании межвидовой РЭА, являются базовыми и обязательными при создании РЭА видовой применения, которая комплектуется изделиями военного назначения.

3. Применение комплектующих изделий микроэлектроники в видовой или отраслевой РЭА, безусловно, имеет специфику с точки зрения обеспечения и оценки заданных требований по РС, которая в необходимых случаях может и должна учитываться в ходе дополнительных системно-ориентированных испытаний.

4. Положительное решение о возможности применения комплектующих изделий микроэлектроники в видовой или отраслевой РЭА, к которой предъявляются требования по РС, должно приниматься по согласованной совокупности результатов унифицированных и системно-ориентированных радиационных испытаний.