



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ НА СТОЙКОСТЬ К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ (ЭСР) И ОДИНОЧНЫМ ИМПУЛЬСАМ НАПРЯЖЕНИЯ (ОИН)

Тухас Вячеслав Анатольевич, д.т.н., ООО НПП «Прорыв»
Кривов Анатолий Сергеевич, д.т.н., АО НПФ «Диполь»

СЕРТИФИКАЦИЯ ЭКБ-2025, Санкт-Петербург, 2-4 апреля 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

- I. Новые требования стандартов по антистатической защите и защите от ОИН электронных устройств на этапах жизненного цикла продукции

- II. Особенности испытаний ЭКБ и ТС на ЭСР/ОИН

- III. Развитие испытаний ЭКБ на ЭСР/ОИН

I. Новые требования по антистатической защите электронных устройств и защите от ОИН на этапах жизненного цикла продукции

Стандарты по антистатической защите и защите от ОИН постоянно развиваются, отражая прогресс в электронике и новые угрозы.

Общие тенденции:

Ужесточение требований:

Миниатюризация компонентов и увеличение плотности монтажа делают электронные устройства более чувствительными к ЭСР и ОИН. Стандарты реагируют на это, ужесточая требования к защите.

Фокус на системном подходе:

Необходимость комплексного подхода к защите, охватывающего все этапы жизненного цикла изделия (проектирование, производство, транспортировка, эксплуатация, утилизация). Системная программа управления ЭСР (ESD Control Program).

Учет специфики изделий:

Стандарты становятся более специализированными (например, автомобильная электроника, медицинское оборудование, аэрокосмическая техника).

Испытания на уровне системы:

Испытания не только отдельных компонентов, но и готовых изделий в реальных условиях эксплуатации.

Управление рисками:

Внедрение риск-ориентированного подхода к организации зон, защищенных от электростатических разрядов.

Антистатическая защита электронных производств на основе новых стандартов серии IEC 61340

IEC 61340-5-1 (Электростатика. Часть 5-1. Защита электронных приборов от электростатических явлений. Общие требования). Это основополагающий международный стандарт для программ управления ЭСР.

Последняя редакция содержит требования к программе управления ЭСР, включая обучение персонала, заземление, использование антистатических материалов, контроль влажности, маркировку и упаковку.

Ключевые моменты:

- Акцент на комплексный подход и документирование программы управления ЭСР. Требования к сопротивлению заземления, антистатических материалов и т.д.
- Риск-ориентированный подход обязателен: классификация Зоны Защищенной от ЭСР строится на основе анализа рисков повреждения изделий.

Антистатическая защита электронных производств на основе новых стандартов серии IEC 61340 (продолжение)

- IEC 61340-5-3 (более строгие требования к упаковке, включая требования к экранированию и рассеиванию заряда).
- ГОСТ IEC TS 61340-5-4-2023 (периодические испытания систем заземления).
- ГОСТ IEC 61340-2-3-2023 (испытания материалов).

Новация:

Внедрение искусственной нейронной сети (ИНС) для анализа риска возникновения ЭСР и ОИН, оптимизации программ управления защитой.

Процессный подход к анализу и организации антистатической защиты по стандарту IEC TS 61340-5-6 Protection of electronic devices from electrostatic phenomena - Process Assessment Techniques

ГОСТ IEC TS 61340-5-6 посвящён методам оценки процессов защиты ЭКБ от ЭСР, он обеспечивает метрологическое сопровождение процессов, но не вводит новые виды испытаний ЭКБ.

Фокус стандарта — оценка эффективности процессов управления ЭСР на производстве:

- Методы аудита программ ЭСР-управления
- Критерии проверки соответствия инфраструктуры (заземление, антистатические материалы, контроль влажности)
- Оценка компетенции персонала

Выводы по современным требованиям и тенденциям стандартизации испытаний ЭКБ на ЭСР/ОИН

- - переход от испытаний ЭКБ к комплексному подходу к электростатической защите, охватывающей все этапы жизненного цикла изделия;
- - **снижение уровней напряжения**, при которых ЭКБ считаются устойчивыми к ЭСР, в связи с миниатюризацией и повышением чувствительности ЭКБ.
- То, что раньше считалось приемлемым уровнем защиты, теперь может оказаться недостаточным;
- - устойчивость ЭКБ к воздействию ЭСР/ОИН не гарантирует устойчивости всего изделия.

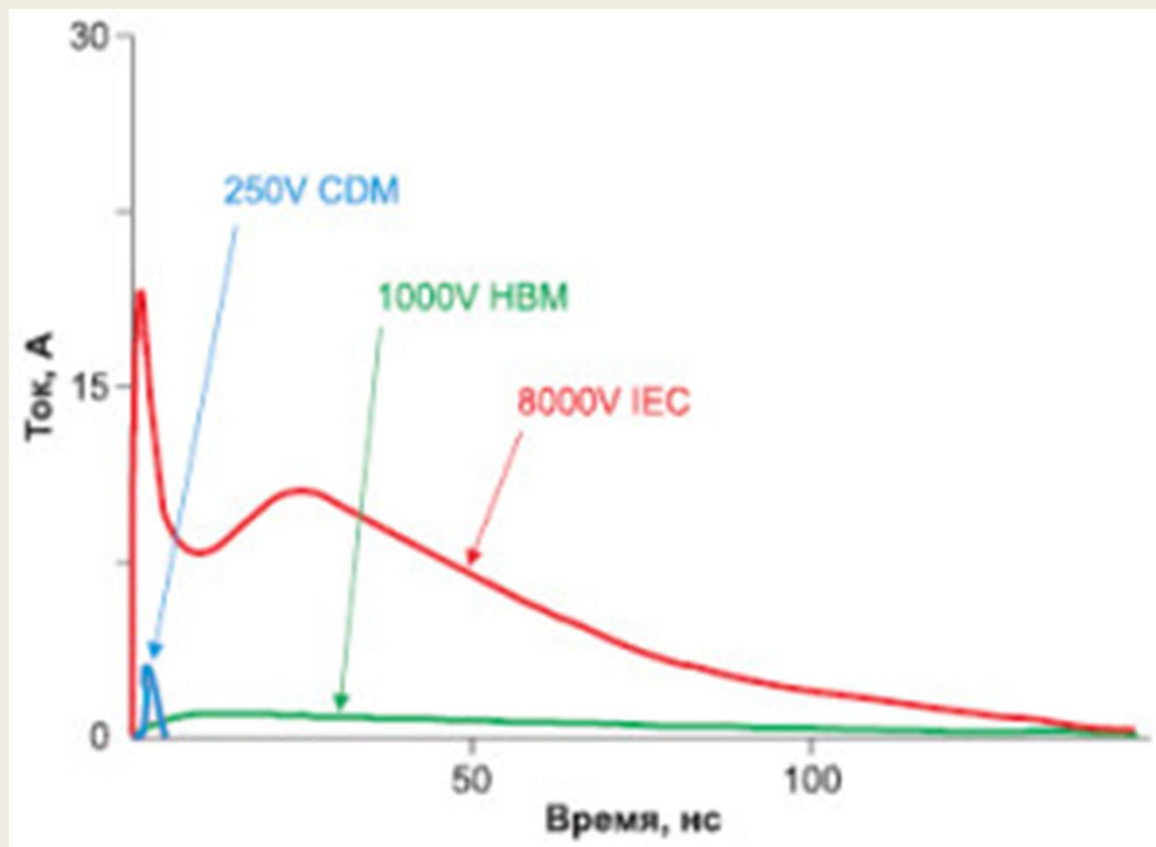
II. Различия целей и видов испытательных воздействий

Цель испытаний ТС - устойчивая работы ТС в условиях реальной электромагнитной обстановки;

Цель испытаний ЭКБ - сохранение целостности ЭКБ в процессе производства и монтажа (увеличение стойкости ЭКБ, например, для ИС - увеличивает токи утечки, уменьшает скорость переключений).

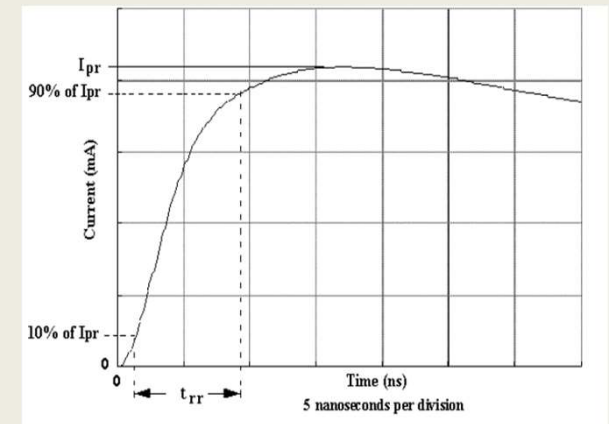
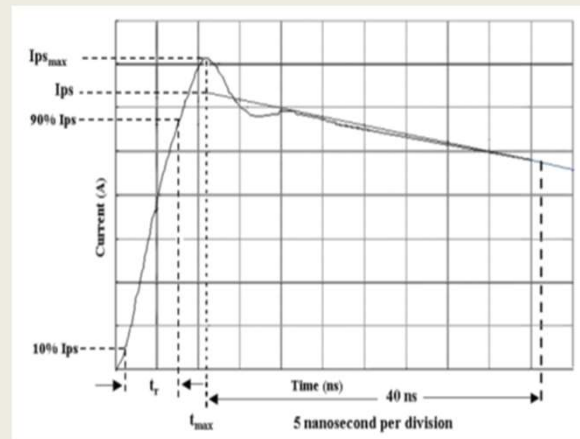
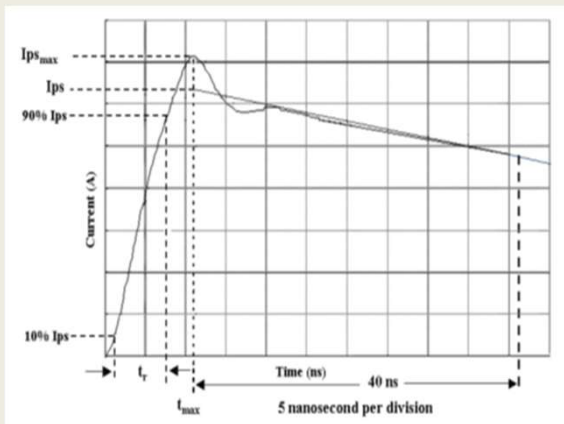
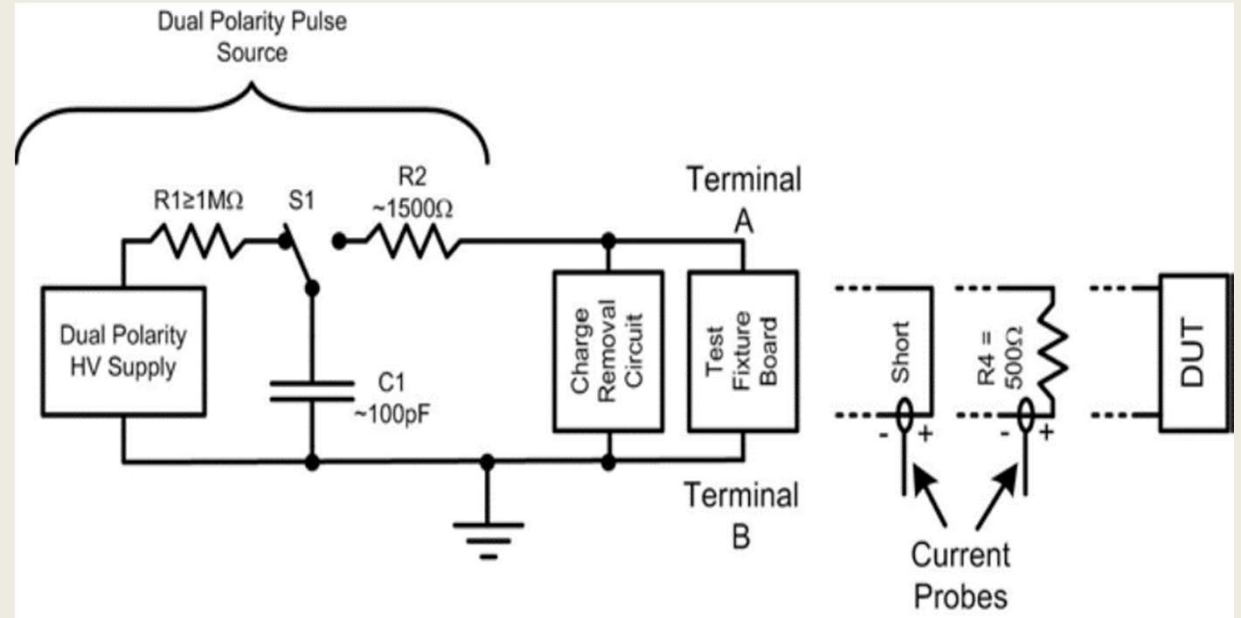
Испытательные воздействия ЭКБ и ЭУ на ОИН и ЭСР различаются по форме и амплитуде разрядных токов.

- **Красный**, ЭСР- воздействие на ТС
- **Синий**, ЭСР - воздействие на ЭКБ по модели заряженного устройства
- **Зеленый**, ЭСР - воздействие на ЭКБ по модели человеческого тела



IEC 60749-26: Испытание на ЭСР — модель человеческого тела. (самая распространенная модель, имитирующая разряд статического электричества с человеческого тела на ЭКБ)

Требования к методу испытаний и конструкции установлены в стандарте IEC 60749-26, им соответствуют испытательные генераторы ИГЭ 12М и ИГЭ 5 МС



IEC 60749-28: Испытание на ЭСР- модель заряженного устройства (МЗУ) (имитирует разряд когда ЭКБ скользит по поверхности и накапливает заряд, а затем разряжается при контакте с заземленным объектом).

Требования к методу испытаний и конструкции установлены в стандарте IEC 60749-28.

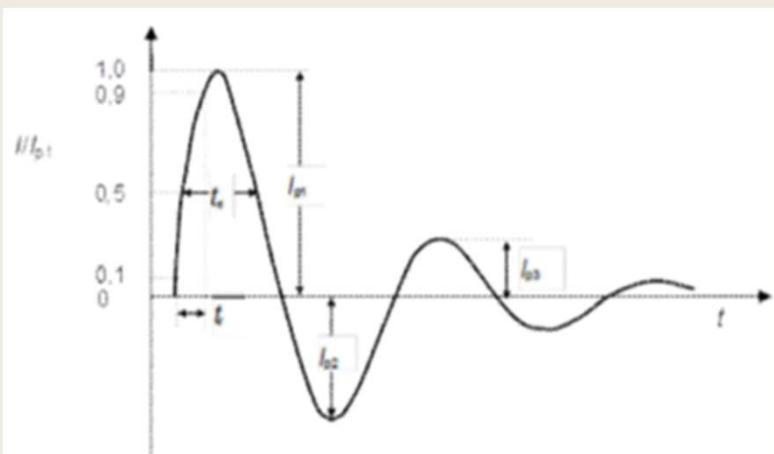
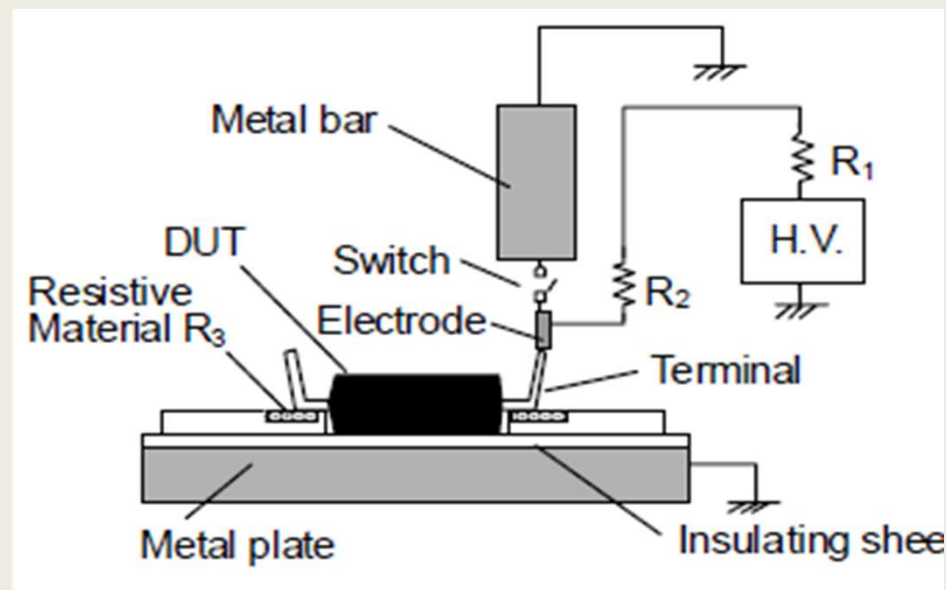


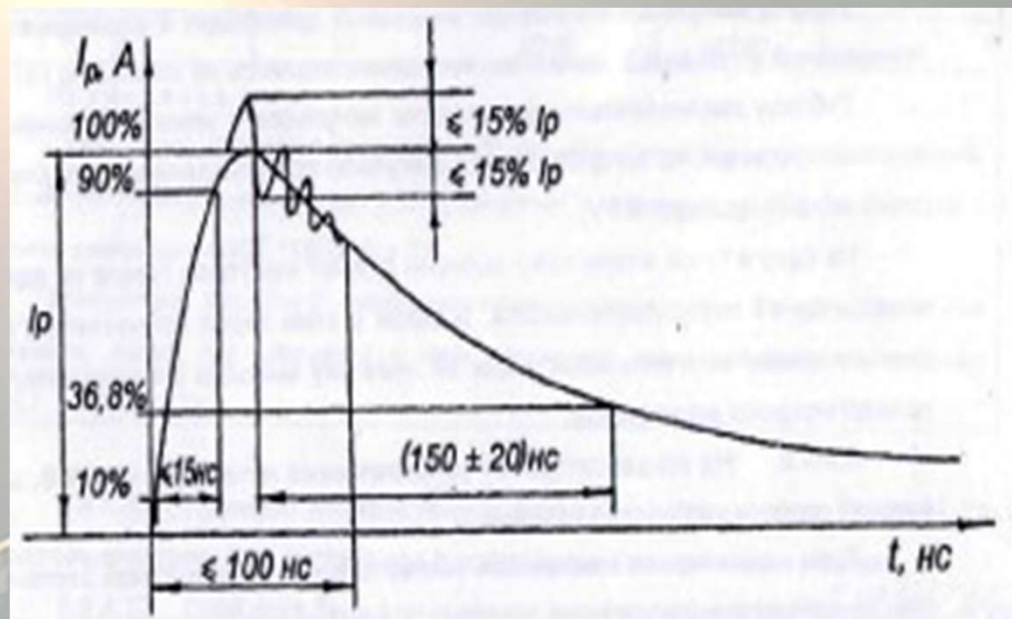
Figure 4 - Current waveform

Table 2 - Specified current waveform

Parameter	Unit	Symbol	Specified values	
			Small standard test module	Large standard test module
Rise time	ps	t_r	≤ 300	≤ 400
Pulse width	ps	t_p	≤ 600	≤ 800
Peak current	A	i_{p1}	(see Table 3)	(see Table 3)
Undershoot current	A	i_{p2}	$< 0,5 \times i_{p1}$	$< 0,5 \times i_{p1}$
Overshoot current	A	i_{p3}	$< 0,25 \times i_{p1}$	$< 0,25 \times i_{p1}$

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ ИГЭ 12М

ГОСТ Р 53734.3.1-2013
ГОСТ Р 53734.3.2-2013
ОСТ 11 073.013-2008 ч.7

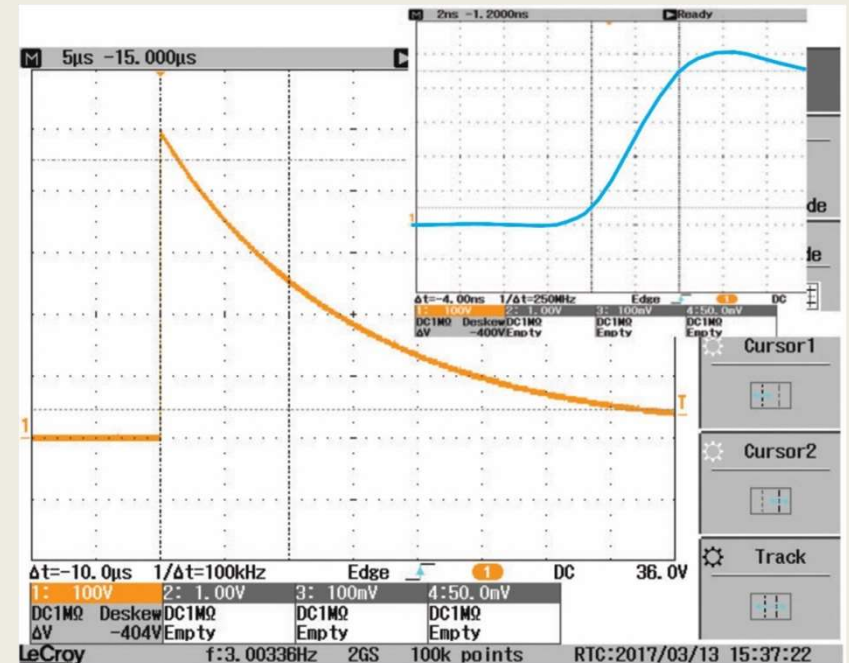


Форма импульса тока
ОСТ 11 073.013-2008 ч.7 метод 502-1а

- выходное напряжение до 12000 В
- разрядная цепь
100 пФ/ 1500 Ом (ОСТ 11 073.013-2008 ч.7)
200 пФ/1500 Ом (ГОСТ Р 53734.3.1-2013)
200 пФ/0 Ом (ГОСТ Р 53734.3.2-2013)

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ ИГМ 05.1

ГОСТ РВ 5962.004.10-2012
РД В 319.03.30-98
ОСТ 11 073.013-2008 ч.10



- импульсное выходное напряжение холостого хода
- шаг установки амплитуды импульса напряжения
- максимальный импульсный ток
- длительность импульса напряжения по уровню 0.5
- длительность переднего фронта импульса напряжения (по уровню 0.1 ÷ 0.9)
 - при длительности импульса 0,1 мкс
 - при длительности импульса 1,0 мкс
 - при длительности импульса 10,0 мкс

5 В ÷ 500 В

1 В

не менее 10 А

(0.1, 1.0, 10.0) мкс

не более 5 нс

не более 50 нс

не более 500 нс

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ ИГМ 5.1



ГОСТ РВ 5962.004.10-2012
РД В 319.03.30-98
ОСТ 11 073.013-2008 ч.10

- импульсное выходное напряжение холостого хода **50 В ÷ 5000 В**
- шаг установки амплитуды импульса напряжения
 - от 50 В до 100 В **5 В**
 - от 100 В до 500 В **10 В**
 - от 500 В до 1000 В **50 В**
 - от 1000 В до 5000 В **100 В**
- максимальный импульсный ток **не менее 100 А**
- длительность импульса напряжения по уровню 0.5 **(0.1, 1.0, 10.0) мкс**
- длительность переднего фронта импульса напряжения (по уровню 0.1 ÷ 0.9)
 - при длительности импульса 0,1 мкс **не более 5 нс**
 - при длительности импульса 1,0 мкс **не более 50 нс**
 - при длительности импульса 10,0 мкс **не более 500 нс**

Сведения об оснащённости предприятий отрасли испытательным оборудованием
 «СКТБ ЭС» (г. Воронеж), АО «НИИЭТ» (г. Воронеж), АО «НИИП» (г. Лыткарино), Филиал АО «ОРКК - НИИ КП»
 (г. Москва), АО «НПП «Исток им. Шокина» (г. Фрязино), АО НПП «Салют» (г. Нижний Новгород), ФГУП РФЯЦ
 ВНИИЭФ (г. Саров)

№	Виды испытаний ЭКБ	Стандарты на соответствие которым проводятся испытания	Тип оборудования НПП «Прорыв»
1	Стойкость микросхем к ОИН, подаваемым на внешние выводы	ГОСТ РВ 5962-004.10-2012 РД В 319.03.30-98 ОСТ 11 073.013-2008 (ч.10)	ИГМ 05.1 ИГМ 5.1
2	Стойкость микросхем к ЭСР	ГОСТ Р 53734.3.2-2013 ГОСТ Р 53734.3.1-2013 ОСТ 11 073.013-2008 ч.7 (IEC 60749-26)	ИГЭ 12М ИГЭ 5МС
3	Проверка качества экранировки космического аппарата (КА) при ЭСР на поверхности диэлектрика	По ТЗ	ИГЭ 20.1К
4	Стойкость источников вторичного электропитания (ИВЭП) к микросекундным импульсным помехам большой энергии	ГОСТ В 24425-90	ИГМ 2.1
5	Импульсные испытания прочности изоляции и реле	ГОСТ 31818.11-2012 п.7.3.2 ГОСТ IEC 60255-5-2014 п.6.1.3.2	ИГМ 8.1 ИГМ 5.5

III. Развитие испытаний ЭКБ

В связи с миниатюризацией и повышением чувствительности ЭКБ уровни напряжения, при которых компоненты считаются устойчивыми к ЭСР, снижаются. То, что раньше считалось приемлемым уровнем защиты, теперь может оказаться недостаточным.

3.1. Получение достоверных результатов испытаний по устойчивости к ЭСР/ОИН - испытания ЭКБ при прямоугольной форме прикладываемого напряжения

По действующей НД ЭКБ испытываются на линейно-нарастающем напряжении.

При этом разброс результатов испытаний велик (не менее 30%), поскольку рост напряжения ограничивается тепловым пробоем структуры ЭКБ.

В мировой практике проводят испытания ЭКБ при прямоугольной форме прикладываемого напряжения. Такие испытания дают хорошую повторяемость/воспроизводимость, так как проводятся до уровня теплового пробоя структуры ЭКБ.

3.2. Суперпозиция воздействий

Цель – испытания в условиях, присущих реальным условиям эксплуатации ЭКБ в составе изделий.

Одна выборка ЭКБ испытывается на одновременное воздействие нескольких факторов, например:

- ОИН/ЭСР + радиация
- ОИН/ЭСР + температура

Известно, что совместное воздействие ЭСР и температурных циклов вызывает кумулятивные повреждения оксидных слоёв: эксперименты с микросхемами показывают, что температурные циклы снижают порог пробоя затвора при одновременном воздействии импульсов.

3.3. Ускоренные испытания ЭКБ на надежность воздействиями ОИН/ЭСР

Циклические воздействия ЭСР/ОИН с амплитудой 70–90% от порога пробоя инициируют деградацию ЭКБ и могут служить инструментом для моделирования естественного старения ЭКБ, прогноза интенсивности отказов и оценки надёжность ЭКБ.

Структура ускоренных испытательных циклов:

1. Инициирование деградации
2. Мониторинг параметров
3. Количественная оценка

Современные методы ускоренных испытаний обеспечивают точность прогнозирования до 90%.

3.4. Применение ИНС при испытаниях ЭКБ

Цель:

- Повышение достоверности испытаний за счет исключения «человеческого фактора»;
- Выявление скрытых и потенциальных неисправностей, а также новых случаев повреждений.

К ЭКБ подключаются сенсорные датчики, которые регистрируют значимые параметры ЭКБ (напряжения, токи, временные характеристики и т. д.), например:

- для транзисторов - деградацию характеристик вследствие износа, пробой переходов;
- для конденсаторов - токи утечки или изменения емкости.

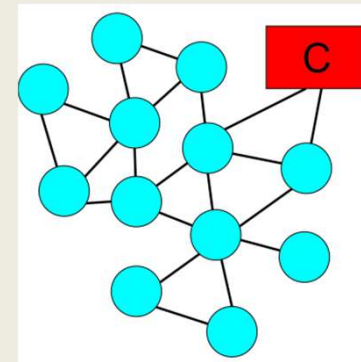
Обработка результатов ИНС:

- Кластеризация компонентов: выявление групп с похожими характеристиками
- Обнаружение аномалий: идентификация потенциально ненадежных компонентов
- Анализ границ отказов: определение предельных режимов функционирования

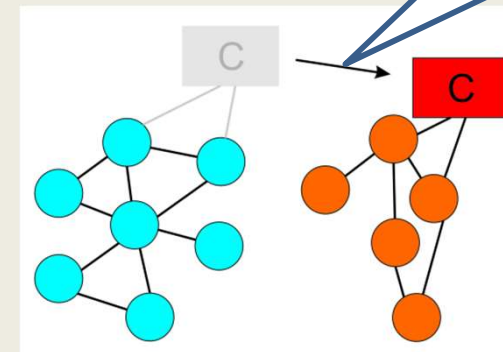
Результаты работы ИНС при испытаниях ЭКБ

1) ИНС обучается в процессе испытаний:

- если в результате сформируется один единственный кластер – аномалий не обнаружено;
- если образуются два и более кластеров – параметры ЭКБ изменяются при испытательных воздействиях.

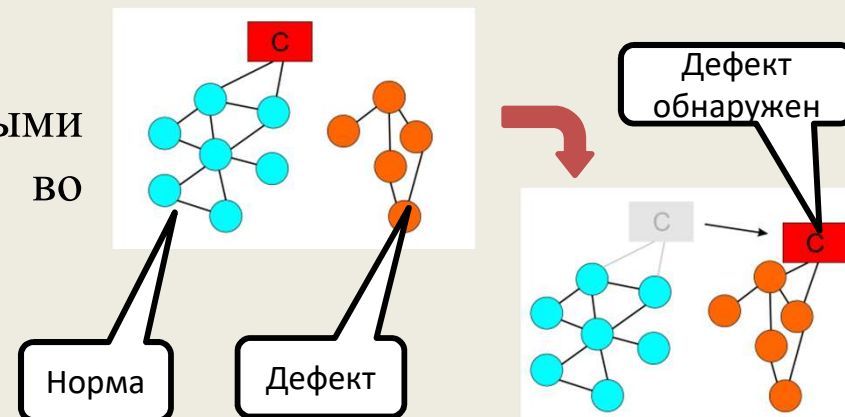


Контроль
изменения ёмкости
р-п переходов.
Контроль токов
утечки



2) ИНС с предустановленной базой знаний

- Переключение между заранее подготовленными кластерами характеризуют поведение ЭКБ во время испытаний

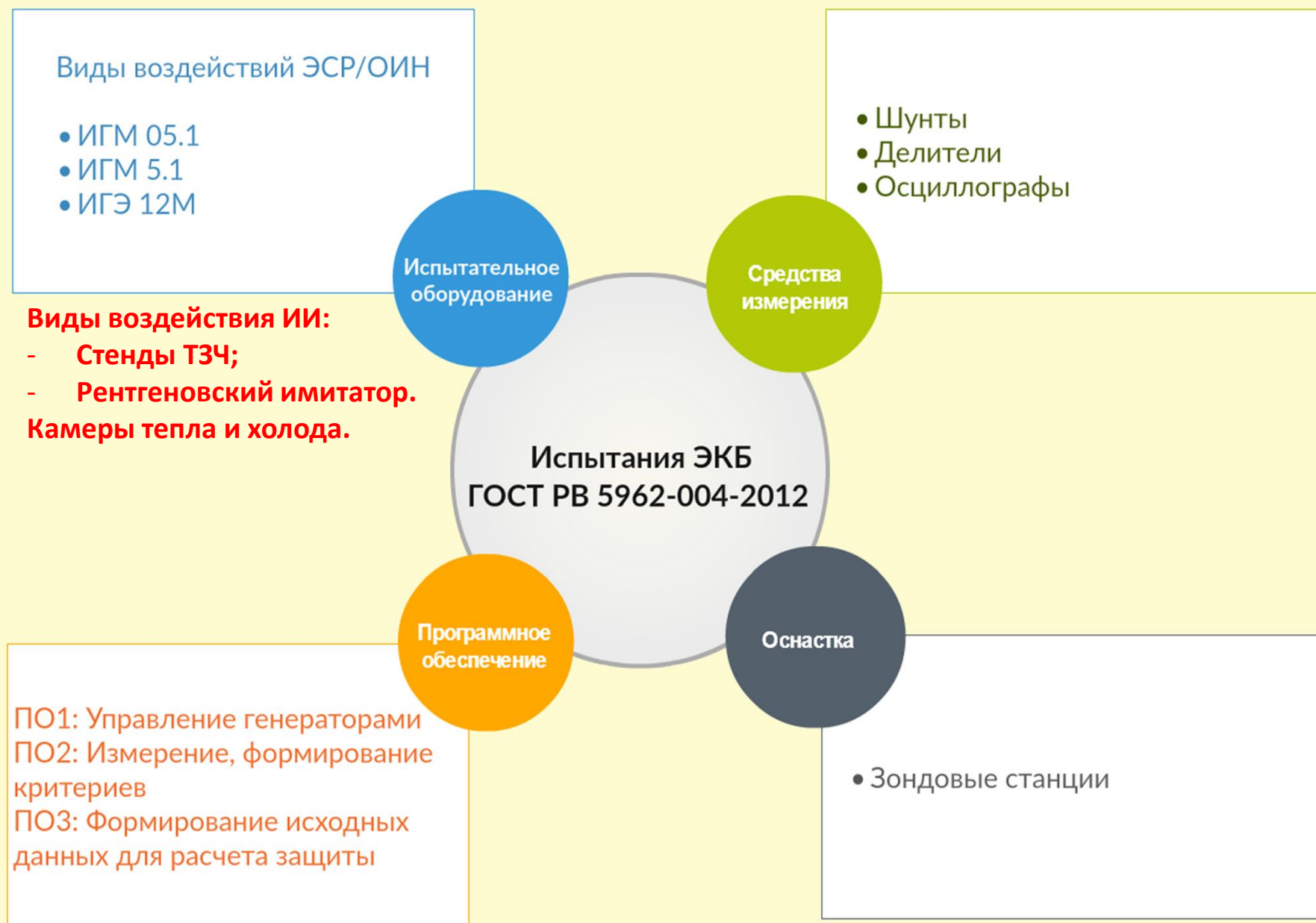


Норма

Дефект

Дефект
обнаружен

Программно-аппаратный комплекс для испытаний ЭКБ



Тухас Вячеслав Анатольевич
д.т.н., Генеральный директор
ООО НПП «Прорыв»
+7(8142) 55-93-80,
chief@proryvnpp.ru

Кривов Анатолий Сергеевич,
д.т.н., проф., Председатель ТК 72
«Электростатика»
зам. директора
АО НПФ «Диполь»
+7(916)6456248, marip@bk.ru

Спасибо за внимание!